

Валерий Иванович ГРИЦЫК
д-р техн. наук, проф.

РАСЧЕТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

(Проектирование. Возведение. Содержание. Ремонты)

Задачи и примеры решения

**Утверждено
в качестве учебного пособия
для вузов
железнодорожного
транспорта**

Москва 1998

Г85 *Грицык В. И. Расчеты земляного полотна железных дорог. Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: УМК МПС, 1998. -520 с.*

ISBN 5-89035-002-1

В книге (учебном пособии) на системотехнических принципах изложены практические задачи расчетов и проектирования, возведения, содержания и ремонтов земляного полотна железных дорог (в форме задач и примеров решения).

Рассмотрены структура, параметры, напряженное состояние объектов земляного полотна, факторы природно-климатической среды функционирования, параметры состояния грунтовой среды; прогнозные расчеты деформативности, проектирование оптимальных конструкций объектов, в том числе в сложных природных условиях. Рассмотрены вопросы проектирования организации земляных работ, технологические задачи оперативного управления и экологии при возведении земляного полотна. Приведены технические решения по содержанию земляного полотна, мониторингу, оценке технического состояния объектов, по их ремонту и усилению, технологии работ и технико-экономические расчеты, обширный справочный материал.

При решении задач, наряду с элементарной их постановкой, использовались статистические, вероятностные, экономико-математические методы, алгоритмическая интерпретация задач с реализацией в электронных таблицах и оптимальных решений программными средствами на компьютерах.

Книга предназначена для студентов транспортных и других вузов и техникумов, изучающих земляное полотно и грунтовые сооружения, а также для широкого контингента инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством, содержанием и ремонтами земляного полотна дорог, оснований и грунтовых сооружений.

Рис. 254, табл. 141, библи. 126, прил. 9.

УДК 625.12:625.122
ББК 39.211

Рецензенты: д.т.н., проф., ак. АТ Г. Л. Аккерман; к.т.н., доц. В. М. Янин (УрГАПС); проф. Ю. В. Ефремов (СамИИТ).

Заведующий редакцией К. Н. Антонова

ISBN 5-89035-002-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые основные обозначения	6
Предисловие	9
Раздел 1. Объекты земляного полотна	
1.1. Структура и параметры объектов	12
1.1.1. Общие положения	12
1.1.2. Размерные параметры. Структура насыпей и выемок	16
1.1.3. Определение напряженного состояния	27
1.2. Информационный анализ, программные средства	45
1.2.1. Общие принципы	45
1.2.2. Статистический анализ информации	48
1.2.3. Анализ производственных ситуаций	52
1.2.4. Программные средства	56
Раздел 2. Параметры природных условий, грунтовой среды	
2.1. Параметры природно-климатической среды	66
2.1.1. Общие положения	66
2.1.2. Параметры температурного, ветрового режимов	70
2.1.3. Параметры дождевого стока, урвненного режима рек	75
2.1.4. Расчеты параметров волновых воздействий	83
2.2. Параметры грунтовой среды объектов земляного полотна	95
2.2.1. Общие положения	95
2.2.2. Определение расчетных характеристик грунтов	97
2.2.3. Определение параметров состояний грунтовой среды	111
Раздел 3. Прогнозные расчеты стабильности земляного полотна	
3.1. Общие положения	120
3.2. Деформативность и деформации земляного полотна	123
3.3. Прогнозные расчеты устойчивости откосов, склонов	131
3.4. Прогнозные расчеты напряжений в основании насыпей	140
3.5. Прогнозные расчеты возможных осадок насыпей	156
3.6. Прогнозные расчеты устойчивости основания насыпей	164
Расчет 4. Расчеты и проектирование объектов земляного полотна	
4.1. Общие положения	174
4.2. Расчеты необходимой плотности грунтов насыпей	177

4.3. Расчеты и проектирование объектов по условиям устойчивости от смещения	193
4.4. Проектирование объектов по условиям возможных осадок	201
4.5. Проектирование объектов по условиям устойчивости от пластических деформаций (выпираания)	209

Раздел 5. Регулирование влияния факторов природной среды

5.1. Общие положения	221
5.2. Расчеты конструкций укрепления, защитных покрытий	225
5.3. Регулирование поверхностного стока воды	235
5.3.1. Расчеты водоотводных канав	235
5.3.2. Расчеты перепадов и быстротокос	252
5.4. Расчеты и проектирование дренажей	259
5.4.1. Определение эффективности, расхода воды в дренаж	259
5.4.2. Расчеты конструкции дренажа	268

Раздел 6. Расчеты земляного полотна в сложных природных условиях

6.1. Общие положения	281
6.2. Расчеты конструкций насыпей и выемок	283
6.3. Расчеты и проектирование пойменных насыпей	298
6.4. Расчеты и проектирование насыпей на слабых основаниях	311
6.5. Расчеты объектов в условиях водотоков и водоемов	331
6.6. Расчеты объектов в горных условиях	

Раздел 7. Расчеты организации работ при сооружении земляного полотна

7.1. Общие положения	340
7.2. Проектирование организации земляных работ	343
7.2.1. Определение объемов земляных работ	343
7.2.2. Распределение земляных масс	351
7.2.3. Определение способов и сроков производства работ	359
7.3. Технологические задачи оперативного управления	369

Раздел 8. Содержание и ремонт земляного полотна

8.1. Общие положения	396
8.2. Содержание земляного полотна, мониторинг	402
8.3. Проектирование противопучинных конструкций	418
8.3.1. Расчеты конструкций	418
8.3.2. Техничко-экономические расчеты	435
8.4. Ремонт и усиление земляного полотна	444
8.4.1. Оздоровление земляного полотна	444
8.4.2. Расчеты противодеформационных конструкций	455

Приложения

1.1. Формы основной площадки земляного полотна	470
1.2. Ширина основной площадки однопутных линий	471
1.3. Параметры погонных нагрузок на основную площадку земляного полотна	472
1.4. Таблица значений $I_p(x/b, y/b)$ для прямоугольной полосовой нагрузки	473

1.5. Таблица значений $I_p(x/b, y/b)$ для треугольной полосовой нагрузки	473
1.6. F -распределение (для уровня значимости $\alpha = 0,05$)	474
1.7. Параметры эмпирических кривых обеспеченности	475
1.8. Таблица коэффициентов Φ_p (ординат кривых обеспеченности)	475
1.9. Значение функции $\Phi(U)$ (интеграл вероятности Лапласа)	476
1.10. Функция (нормального) распределения для закона Гаусса	477
1.11. Значения χ^2 в зависимости от p и k	478
2.1. Классификация грунтов	479
2.2. Классификация глинистых грунтов	480
2.3. Показатели состояния песчаных грунтов	480
2.4. Нормативные значения удельного сцепления c , кПа, углов внутреннего трения φ , град., модуля деформации E , МПа	481
2.5. Наименования величин для характеристики физических свойств грунтов ..	482
2.6. Параметры грунтов (бытового состояния)	483
2.7. Характеристики глинистых грунтов по влажности	484
2.8. Коэффициент t_p для определения показателя точности оценки среднего значения характеристик грунта	484
2.9. Степень морозной пучинистости грунтов	485
2.10. Теплофизические характеристики грунтов	485
3.1. Комплексная классификация деформаций земляного полотна железнодорожного пути	486
3.2. Типы пучин	489
3.3. График $I_p(a/y, b/y)$ для определения напряжений в земляном полотне (график Остерберга)	490
4.1. Нормативные показатели уплотнения грунтов	491
4.2. Крутизна откосов насыпей	492
4.3. Крутизна откосов выемок	493
5.1. Допустимые скорости течения воды (средние)	494
5.2. Значения гиперболических функций Shx, thx	495
5.3. График допускаемых значений неразмывающихся донных скоростей $v_{b,adm} = f(d_{10})$	496
5.4. Коэффициенты гидравлической шероховатости $K_{ш}$	496
5.5. Значения коэффициентов затопления $K_{зт}(h_{п}/H_{10})$	497
5.6. Характеристики бетонных, железобетонных, асфальтобетонных плит	498
5.7. Размеры трубофильтров (конструкции ВНИИЖТа)	499
5.8. Характеристики элементов смотровых железобетонных колодцев	499
6.1. Продольный профиль пойменной насыпи	500
6.2. Параметры фильтрующих насыпей	501
7.1. Объемы земляных работ (по типовым поперечным профилям)	502
7.2. Продольный профиль земляного полотна (вторые пути)	503
7.3. Технические характеристики машин для земляных работ	503
7.4. Значения нормально распределенных (нормированных) случайных чисел (НРСЧ)	507
8. Теплофизические характеристики материалов	508
9. Единицы физических величин СИ	509
Литература	512
Коротко об авторе	519

ПРИНЯТЫЕ ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ВСМ — высокоскоростная магистраль;

ОЗП, ОП — объект земляного полотна, основная площадка;

ПКС, ГС — природно-климатическая среда, грунтовая среда;

ПП, пк — поперечный профиль объекта земляного полотна; пикет;

ПК — персональный компьютер;

ЭТ — электронная таблица;

$H_n, H_{от}, H_v$ — высота насыпи, откоса, глубина выемки, м;

$H_m, H_{ст}, H_n, H_{гв}, H_{нк}$ — уровень воды межени, статический, подпора, грунтовых вод, наката волны, м;

$O_{зм}, O_{бр}$ — отметки земли, бровки, м;

$B_{оп}, B_m, B_б$ — ширина основной площадки, междупутья, бермы, м;

b_i — толщина балластного слоя, м;

b_i, h_i — ширина, глубина водоотвода; ширина, высота элемента, толщина слоя, м;

$m_{от}, n_m$ — показатели крутизны откоса, местности;

i_j, i_d — продольный уклон, допустимый;

F_i — площадь поперечного профиля, м²; водосборного бассейна, км²;

$b_p, b_{вс}$ — ширина полосовой нагрузки поездной, верхнего строения пути, м;

b_j, a_j — ширина прямоугольного, треугольного элементов j -ой полосовой нагрузки, м;

$p_p, p_{вс}, p_j, p$ — интенсивность полосовой нагрузки поездной, верхнего строения пути, j -го элемента ОЗП, распределенной, кПа;

x_i, y_i — координаты точек в поперечном профиле (сечении) земляного полотна, м;

I_j, I_d — вертикальная составляющая напряжений от единичной j -ой нагрузки, кПа; средний уклон кривой депрессии;

$\sigma_p, \sigma_{вс}, \sigma_\gamma$ — напряжения от нагрузок поездной, верхнего строения, собственного веса грунта, кПа;

$\sigma_{\text{пр}}, \sigma_0$ — напряжения при состояниях грунта: природном, нагруженном, кПа;

σ_{ji} — напряжения от j -х элементарных (прямоугольных, треугольных, трапециевидных) нагрузок в i -х точках, кПа;

$\rho_{\text{г}}, \rho_{\text{д}}, \rho_{\text{с}}$ — плотность грунта, сухого, частиц грунта, г/см³ (т/м³);

$\gamma_{\text{г}}, \gamma_{\text{д}}, \gamma_{\text{с}}, \gamma_{\text{гв}}$ — удельный вес грунта, сухого, частиц грунта, увлажненного, кН/м³;

$\gamma_{\text{к}}, \gamma_{\text{п}}, \gamma_{\text{в}}$ — удельный вес камня, бетона (плиты), воды, кН/м³;

$W_{\text{г}}, W_{\text{р}}, W_{\text{л}}, W_{\text{м}}, W_{\text{гв}}$ — влажность грунта, на границах раскатывания, текучести, молекулярная, увлажненного грунта, %;

$I_{\text{р}}, I_{\text{л}}$ — число пластичности, показатель текучести;

$n_{\text{г}}, m_{\text{в}}$ — пористость грунта, водоотдача;

$e_{\text{г}}, e_{\text{пр}}, e_0$ — коэффициент пористости грунта, в состояниях природном, нагруженном;

$c_{\text{г}}, c_{\text{гв}}$ — удельное сцепление грунта, увлажненного грунта, кПа;

$\phi_{\text{г}}, \phi_{\text{гв}}$ — угол внутреннего трения грунта, увлажненного грунта, град.;

$f_{\text{г}}, f_{\text{гв}}$ — коэффициент трения грунта, увлажненного грунта ($f_i = \text{tg}(\phi_i)$);

ω_i — площадь поперечного сечения отсека, блока грунтового массива, водоотвода (живого сечения), других элементов, м²;

$l_j, l_{\text{п}}, l_0, L_y$ — длина элемента, основания отсека, пучины, отвода, участка, м;

α_i, β_i — угол центральный, видимости; угол наклона луча направления, плоскости смещения, град.;

Q_i, N_i, T_i — сила (вес) части (отсека, блока) грунтового массива, ее нормальная, тангенциальная составляющие, кН;

$K_{\text{ф}}, K_{\text{у}}, K_{\text{пр}}, K_{\text{из}}, K_{\text{ш}}$ — коэффициенты фильтрации, уплотнения, промерзаемости, избыточности, шероховатости;

$K_{\text{ус}}, K_{\text{ув}}$ — коэффициенты устойчивости от смещения, выпирания (пластических деформаций);

$T_{\text{с}}, T_{\text{м}}, T_{\text{г}}$ — температуры воздуха: среднесуточная, среднемесячная, температура грунта, град.;

$U_{\text{в}}, U_{\text{вт}}, U_{\text{п}}$ — скорости течения воды, ветра, м/с; движения поезда, км/ч;

R_i, χ_i — гидравлический радиус, смоченный периметр водоотвода, м;

$\lambda_{\text{в}}, h_{\text{в}}, T_{\text{в}}$ — параметры волны: длина, высота, м; период, м/с;

$M_{\text{г}}, M_{\text{к}}, Q_{\text{г}}, Q_{\text{к}}$ — масса грунта, камня, т; вес грунта, камня, кН/м³;

g — ускорение (гравитационное) свободного падения, м/с²;

$\delta_{\text{п}}, \delta_{\text{к}}, \delta_{\text{ф}}$ — толщина покрытия плитного, камнем, обратного фильтра, м;

d_i, g_i — линейный размер частиц, мм; содержание фракций, %

$q_{\text{п}}, Q_0$ — расход воды погонный, полный, м³/с;

$S_i, S_{0\text{с}}, S_{0\text{п}}$ — величины осадок слоя, основания, основной площадки, м;

$Z_{\text{пр}}, Z_{0\text{т}}, Z_{\text{д}}$ — глубина промерзания, оттаивания, допустимая, м;

$h_{\text{п}}, h_{\text{р}}, h_{\text{н}}, h_{\text{из}}, h_{\text{г}}, h_{\text{в}}$ — величина пучения полного, равномерного, неравномерного, избыточного, горба, впадины, мм (м);

$P_{\text{в}}, P_{\text{н}}, P_{\text{пв}}$ — толщина противопучинных (противодеформационных) подушек: врезной, накладной, полуврезной, м;

$D_{\text{п}}, D_{\text{с}}$ — длина подушки, сопряжения, м;

$V_{ji}, S_{ji}, M_{ji}, t_{ji}$ — объем, трудоемкость, машиноемкость, продолжительность j -го вида (работы) на i -м участке;

$P_j, T_{\text{ц}}$ — производительность машины (ведущей), м³/см.; цикл оборота (автомобиля), час.;

c_{ji} — стоимость транспортировки, выполнения j -ой работы на i -м участке, тыс. руб.;

D, σ — дисперсия, среднее квадратическое отклонение;

Ст — стабильность земляного полотна;

Кк — критерий качества.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие транспортных коммуникаций для освоения природных богатств России, строительство новых, в том числе высокоскоростных железных дорог (ВСМ, Трансконтиненталь и др.), необходимость ремонтов и усиления железнодорожного пути требуют решения сложных многопараметрических инженерных задач по обеспечению стабильности земляного полотна, которая оценивается по многим критериям. Согласно ПТЭ железных дорог земляное полотно, все элементы железнодорожного пути по прочности, устойчивости и состоянию должны обеспечивать безопасное и плавное движение поездов с наибольшими установленными скоростями. Земляное полотно должно обеспечивать долговременную стабильность при пуске перспективного подвижного состава с максимальными скоростями, расчетной грузонапряженностью, должно быть равнонадежным и ремонтпригодным при малой ресурсоемкости.

Земляное полотно железных дорог представляет собой сложный комплекс грунтовых объектов, функционирующих в условиях природно-климатической среды и динамических поездных нагрузок, которые, изменяя состояние грунтовой среды, влияют на уровень надежности земляного полотна. Особенности земляного полотна железных дорог являются значительные рабочие отметки, наличие верхнего строения, поездных нагрузок. Причем допустимые напряжения на основную площадку земляного полотна (до 0,08 МПа) в сотни и тысячи раз меньше, чем на элементы верхнего строения пути (например, в рельсах 240 МПа). Сложность объектов земляного полотна (ОЗП), случайный характер проявления факторов природной среды функционирования существенно влияют на темпы строительства, долговременную стабильность земляного полотна и эксплуатационную надежность движения поездов, что наглядно проявилось на Байкало-Амурской магистрали.

Стабильность и надежность ОЗП зависят от управляющих инженерных воздействий, технических решений, начиная от изысканий и проектирования до содержания и ремонтов. Практическая инженерная деятельность связана с непрерывным решением многих технических задач либо по расчетам

и проектированию конструкций, либо по планированию, организации работ и оперативному управлению. Принятие решения предусматривает анализ условий проектирования, производственных ситуаций, прогнозных оценок, разработку вариантов, выбор оптимального (при ограничениях технических, природных, ресурсных), удовлетворяющего целевым потребностям. Поэтому в учебном пособии рассматривается широкий комплекс проблем инженерной деятельности, связанных с проектированием, организацией работ, содержанием и ремонтами земляного полотна (с учетом работок вузов, научно-исследовательских и проектных институтов).

В каждом разделе пособия материал излагается в форме конкретных задач с методикой получения преимущественно оптимальных результатов и примерами решений. Приводятся расчетные (масштабные) схемы и графики, которые способствуют наглядности постановки и решения задач. Символьная интерпретация (со строчным написанием формул) упрощает математическое моделирование при программировании и алгоритмизацию для получения оптимальных решений. Используются преимущественно табличные формы инженерных расчетов.

В первом разделе рассматриваются структура, параметры, напряженное состояние ОЗП, вопросы информационного анализа и программного обеспечения расчетов земляного полотна. Во втором разделе рассматриваются факторы природно-климатической среды (ПКС) функционирования земляного полотна (с учетом их стохастичности) и зависящие от них параметры состояния грунтовой среды, которые определяют стабильность (и деформативность) ОЗП. В третьем разделе даны прогнозные расчеты деформативности ОЗП: смещений откосов и склонов, осадок насыпей и деформаций их оснований (и классификация деформаций). В четвертом разделе изложены расчеты оптимальных конструкций и задачи проектирования ОЗП: необходимой плотности грунтов насыпей, устойчивости откосов, оснований насыпей от осадок и выпирания. В пятом разделе рассматриваются решения по регулированию влияния ПКС: расчеты защитных покрытий, водоотводов. В шестом — решения по проектированию конструкций земляного полотна в сложных природных условиях: насыпей на слабом основании, пойменных насыпей, выемок в горных районах и другие. В седьмом разделе рассмотрены задачи проектирования организации земляных работ: определение объемов, распределения земляных масс, выбор способа производства работ и т. д. и оперативного управления с использованием сетевого планирования, экспертных оценок и других методов. В восьмом разделе рассмотрены задачи содержания земляного полотна и мониторинга: надзор, содержание основной площадки, откосов, водоотводов, пути на пучинах, оценка технического состояния ОЗП; ремонтов и усиления ОЗП: оздоровление основной площадки, усиление откосов, проектирование и устройство противопучинных и других противодеформационных конструкций, технология работ и технико-экономические оценки.

При разработке учебного пособия учитывался все возрастающий уровень компьютеризации проектных и производственных организаций. Применение ПК позволяет на системотехнических принципах решать практические задачи с использованием численных, экономико-математических, вероятностных и других методов. В НИИ транспортного строительства, ВНИИЖТе, МГУПС, СПГУПС, РГУПС, других транспортных вузах, в Мос-Лен-Сибгипротрансах, Мосжелдорпроекте, других проектных институтах разрабатывается программное обеспечение, направленное на интенсификацию и совершенствование проектирования земляного полотна на основе математических методов и средств вычислительной техники, на автоматизированную обработку информации и использование методов оптимизации (САПР, АСУ-Путь).

Соответственно в учебном пособии практические задачи рассматриваются в начальной (элементарной) их постановке, раскрывающей целевой смысл и логику (методику) решения с числовыми примерами и вычислениями на микрокалькуляторах; затем в табличной (матричной) интерпретации с решением примеров на электронных таблицах (ЭТ); в алгоритмической интерпретации со структурными схемами (блок-схемами) для программной их реализации на ПК, блоками (модулями) в программных комплексах. Используются материалы сб. метод. указаний автора: «Расчеты земляного полотна» РИИЖТ, 1980. — 359 с; «Проектирование земляного полотна на ЭВМ» РИИЖТ, 1988. — 163 с. Пособие содержит справочные и классификационные материалы. В библиографии приведена обширная литература по земляному полотну.

Учебное пособие предназначено для студентов транспортных и других вузов и техникумов, в учебных программах которых предусмотрено изучение земляного полотна и грунтовых сооружений. Пособие может быть полезным широкому контингенту инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством, содержанием и ремонтами земляного полотна железных, автомобильных дорог, основаниями и грунтовыми сооружениями.

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам и УМК МПС России, а также научно-исследовательским, проектным институтам, кафедрам вузов, предоставившим расчетные материалы.

Поскольку учебное пособие включает широкий тематический материал по земляному полотну (в форме задач и примеров решения), все замечания и пожелания будут приняты с искренней благодарностью (344038, Ростов-на-Дону, пл. Н. Ополчения, 2, Ростовский государственный университет путей сообщения).

Раздел 1

ОБЪЕКТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

1.1. Структура и параметры объектов

1.1.1. Общие положения

Земляное полотно, как техническая система (СЗП), представляет собой комплекс инженерных грунтовых объектов, которые, функционируя в условиях внешней среды, обеспечивают выровненность земной поверхности по трассе и в плане, служат основанием для верхнего строения пути и воспринимают от него поездную нагрузку.

В зависимости от величин отметок бровок $O_{бр}$ основной площадки (ОП) и земли $O_{зм}$ объекты земляного полотна (ОЗП) могут быть насыпями (НС), нулевыми местами (НМ), выемками (ВМ)

$$СЗП = \{НС \rightarrow (O_{бр} > O_{зм}), НМ \rightarrow (O_{бр} = O_{зм}), ВМ \rightarrow (O_{бр} < O_{зм})\},$$

а также полунасыпями (ПН), полувыемками (ПВ), полунасыпями-полувыемками (ПН-ПВ). Соответственно, структура земляного полотна определяется комплексом объектов (рис. 1.1). В региональных условиях природно-климатической среды (ПКС) ОЗП могут иметь разную конструкцию, характеризующуюся поперечными профилями (рис. 1.2), множеством структурных компонентов — функциональных зон (подсистем ПС), имеющих свои конструктивные элементы: подбалластной (ПБЗ) на глубину промерзания и затухания вибро-колебательного процесса от поездных нагрузок; откосных (ОТЗ); опорной (ОПЗ) основания (ядра) насыпи; надоткосной (НОТ) с банкетом, кавальером, водоотводами в выемке; заоткосной (ЗОТ) с водоотводами, резервами на насыпи; нагорной (НГЗ) с защитными, улавливающими и другими сооружениями; подгорной (ПГЗ) с удерживающими, регуляционными и другими сооружениями и устройствами. Структурная модель (St)

системы земляного полотна характеризуется иерархическими связями объектов, подсистем (зон), элементов (ЭЗП), размерных параметров (Рп)

$$St_{\text{сзп}} \leftarrow St_{\text{озп}} \leftarrow St_{\text{пс}} \leftarrow \text{ЭЗП} \leftarrow \text{Рп}.$$

Структура определяется устойчивыми связями, объединяющими компоненты в объекты, взаимодействующие с внешней средой. Структура и конструкция ОЗП должны быть гибкими, адаптивными к местным природным условиям.

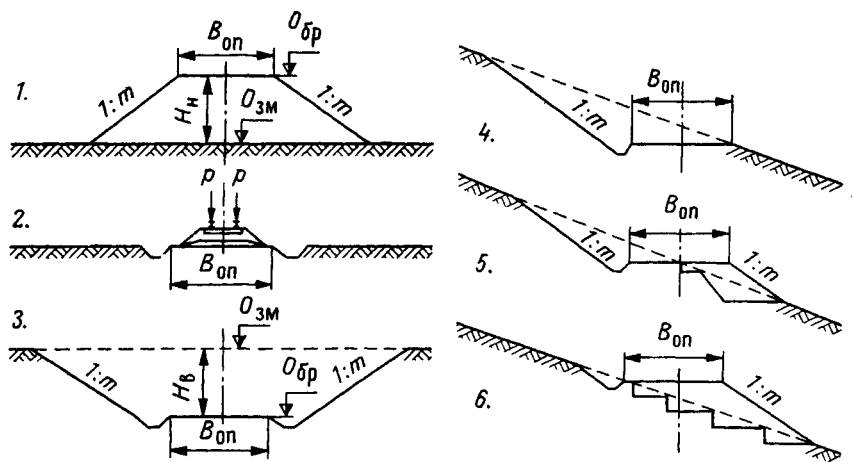


Рис. 1.1. Объекты земляного полотна: 1 — насыпь; 2 — нулевое место; 3 — выемка; 4 — полувыемка; 5 — полунасыпь-полувыемка; 6 — полунасыпь

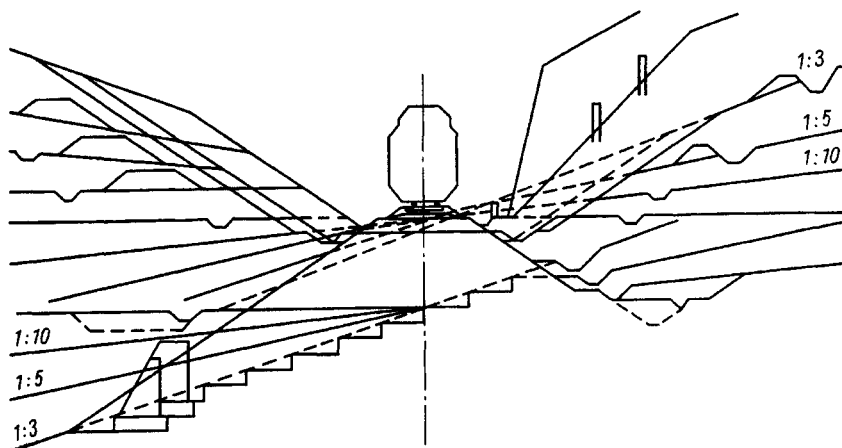


Рис. 1.2. Структурные схемы земляного полотна (в региональных условиях)

Функционирование земляного полотна при постоянстве местоположения, геометрических форм, размерных параметров представляет собой сложный процесс непрерывной изменчивости во времени состояния внутренней грунтовой среды ($S_{ГС}$) и соответственно объектов земляного полотна ($R_{ОЗП}$) под влиянием факторов внешней природно-климатической среды ($S_{ПКС}$), а также силовых воздействий ($P_{СВ}$) динамической поездной нагрузки. Состояние $E_{ОЗП}$ в каждый момент t можно описать уравнением

$$E_{ОЗП} = F(S_{ПКС}, P_{СВ}, U) \Rightarrow ZI = \{R_{ОЗП}, Kк, Пн\} \equiv Ст(ОЗП),$$

где оператором является ОЗП $F_{ОЗП} = \langle St, R_{ОЗП}, S_{ГС} \rangle$;

компонентами цели ZI служат нормативные размерные параметры ОЗП $R_{ОЗП}$, критерии качества $Kк$, показатели надежности $Пн$;

U — вектор-функция управления, инженерных мер, решений, принимаемых для обеспечения стабильности земляного полотна $Ст(ОЗП)$.

Состояние объектов земляного полотна во времени характеризуется некоторыми пределами изменчивости параметров состояния, как под воздействием поездных нагрузок, так и природных факторов при сезонных циклах влияния их на грунтовую среду и в многолетнем периоде, когда развиваются процессы реологические, ползучести, структурных нарушений. Изменяется состояние ОЗП, условия стабильности, влияющие на движение поездов. Сохраняя параметры работоспособности, система реализует возможности своей устойчивости. Для обеспечения устойчивости в условиях функционирования необходимы управляющие воздействия.

Для всякого состояния (ситуации) $E_{ОЗП}$ существует управляющее воздействие U (техническое решение, из области возможных), такое, которое в конкретных условиях среды функционирования переводит ОЗП в состояние (на траекторию) стабильности $Ст(ОЗП)$

$$\forall E_{ОЗП} = \{E_{ОЗП}\} \exists U = \{U\}: E_{ОЗП} \{S_{ПКС}, P_{СВ}, S_{ГС}\} \Rightarrow Ст(ОЗП).$$

Можно выделить следующие периоды функционирования ОЗП: предпостроечный (природное состояние), строительный (технологическое состояние), послепостроечный (адаптивное состояние консолидации ОЗП), длительной эксплуатации, текущего содержания (бытовое состояние, релаксация стабильности), ремонтно-реконструктивный (состояние усиления).

Во все периоды параметры состояний должны соответствовать условиям целевого назначения земляного полотна, которое состоит в обеспечении координатного положения во времени (t) и пространстве (x, y, z) основной площадки, как основания, на котором размещается верхнее строение пути и реализуется движение поездов

$$ОП(x, y, z, t) \rightarrow const = ZI \equiv Ст.$$

Другие элементы насыпей, выемок, их размерные параметры определяются свойствами и состоянием грунта как материала ОЗП: необходимостью откосов с крутизной m , соответствующей углу естественного откоса грунта, водоотводов (в зависимости от расхода воды и скорости течения), защитных покрытий и т. п. При другом материале, например, железобетоне, конструкцией основания для проезжей части пути могла быть, например, эстакада.

Пространственное положение ОЗП определяется планом, продольным и поперечными профилями.

Целевое назначение ОЗП соответствует состоянию стабильности, регламентируемой нормативными значениями критериев качества земляного полотна. Стабильность характеризуется совокупностью критериев состояния (критериев качества) в некоторых нормативных пределах (inf—sup) изменчивости бытового состояния.

Поскольку факторы внешней среды ($S_{\text{ПКС}}$) влияют на состояние внутренней грунтовой ($S_{\text{Гс}}$) и существует доминирование

$$S_{\text{ПКС}} \gg S_{\text{Гс}} \gg (St_{\text{ОЗП}}, R_{\text{ОЗП}}),$$

то стабильность можно выразить опосредованной зависимостью

$$St = \{(St_{\text{ОЗП}}, R_{\text{ОЗП}}) [S_{\text{Гс}} (S_{\text{ПКС}})]\}.$$

Стабильность определяется некоторым множеством размерных параметров, показателей напряженного состояния, устойчивости от смещений, осадок (под влиянием гравитационного поля ПКС) и других, которые являются метрическими (количественными) характеристиками технического состояния ОЗП (их формы, размеров и т.д.). Для обеспечения стабильности St необходимы технические решения (управляющие воздействия U)

$$St(t) = < S_{\text{ПКС}}, R_{\text{СВ}}, U (St_{\text{ОЗП}}, R_{\text{ОЗП}}, S_{\text{Гс}}) > \forall t \in T.$$

Эти технические решения должны обеспечивать St (морфологию) объектов, размерные параметры $R_{\text{ОЗП}}$, параметры $S_{\text{Гс}}$, соответствующими условиям $S_{\text{ПКС}}$, силовых воздействий $R_{\text{СВ}}$, что достигается проектированием соответствующих конструкций ОЗП, мерами по регулированию состояния $S_{\text{Гс}}$ (в пределах бытовых значений), по ограничению влияния факторов ПКС.

Все технические решения по проектированию конструкций, организации строительства, содержанию и ремонтам земляного полотна связаны с необходимостью решения многопараметрических, многокритериальных задач. Причем необходимо получение оптимальных результатов (наилучших в смысле $extr$), обеспечивающих максимальный эффект, реализующий ресурсосберегающие конструкции и технологии. Решение таких задач следует начинать с формирования структуры ОЗП, поперечных профилей, определения размерных параметров, расчетных схем силового воздействия, напряженного состояния ОЗП. Проектируемое земляное полотно, как техническое сооружение, должно обеспечивать целевое назначение (основания для верхнего строения пути и подвижного состава), долговременную стабильность (недеформируемость), эксплуатационную надежность (безотказность), нормальное функционирование (в пределах норм текущего содержания), экономичность (содержания и ремонтов), экологичность [65, 75, 126].

Вместе с тем, при расчетах и проектировании земляного полотна следует учитывать, что ОЗП являются сооружениями, сложенными дисперсными анизотропными грунтами, а воздействия поездные и ПКС, которые вызывают изменения состояния грунтовой среды, приводящие к деформациям, имеют случайный характер. Поэтому необходимы достоверные

характеристики факторов ПКС, параметрической обусловленности свойств и состояний ГС, напряженного состояния ОЗП, прогнозные оценки возможной их деформативности. Необходимы формирование, синтез структуры ОЗП, адекватной ПКС, параметрическая оптимизация конструкций ОЗП на принципах системного проектирования с использованием электронных таблиц и программных средств, реализуемых на ПК, формирование модульной основы САПР ОЗП. Необходимо применение методов математического программирования для получения оптимальных технических решений, обеспечивающих стабильность ОЗП при экономном расходовании ресурсов (ресурсосберегающие конструкции и технологии), что особенно актуально в условиях рыночных отношений [46, 83, 123].

Расчеты и проектирование земляного полотна выполняются на двух этапах: первый при изысканиях и проектировании новых железнодорожных линий, вторых путей, с учетом природных и экологических условий, когда нарушаются водосборные бассейны, формируются пойменные насыпи, нарушаются лесные, грунтовые массивы в карьерах и т. п.; второй — после длительных многократных циклов сезонного воздействия ПКС при разработке проектов ремонта, реконструкции, усиления (при увеличении силовых нагрузок) по данным обследования ОЗП и состояния их ГС. Возможны аварийные ситуации, когда необходимы срочные проектные решения. Целесообразно сочетание автономных расчетов элементов (по частным методикам) и системного проектирования ОЗП (программными средствами) на основе системного анализа.

Технические решения, как мера управления нормальным функционированием и стабильностью ОЗП, реализуемые на системотехнических принципах структурного синтеза, параметрического анализа и оптимизации с использованием экономико-математических методов и САПР, являются перспективными.

1.1.2. Размерные параметры. Структура насыпей и выемок

Задача 1.1. Запроектировать в глинистых грунтах насыпь на пк 2160 на надежном основании и выемку на пк 2167.

Исходные данные: высота насыпи $H_n = 6,9$ м; глубина выемки $H_b = 5,4$ м; поперечный уклон местности 1:25.

Решение. С учетом исходных данных насыпь и выемку будем проектировать типовых очертаний. Конструкции линейчатых объектов, какими являются насыпи и выемки, определяются продольным и поперечными профилями. Поскольку, согласно продольному профилю, известны высота насыпи и глубина выемки, то достаточно запроектировать поперечные профили объектов.

Пример. Пользуясь типовыми решениями в Альбоме типовых поперечных профилей земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм [70], вычерчиваем поперечные профили насыпи и выемки, показанные на рис. 1.3.

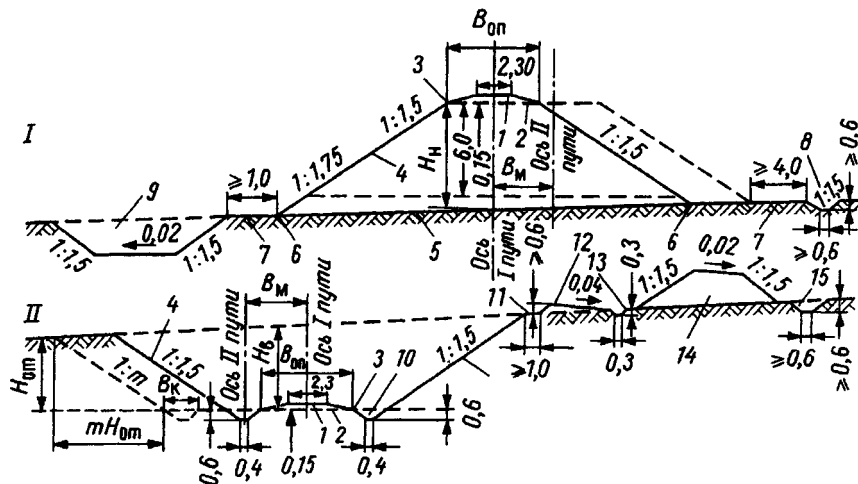


Рис. 1.3. Поперечные профили:

I — насыпь; II — выемка; 1 — основная площадка, 2 — сливная призма; 3 — бровка; 4 — откос; 5 — основание; 6 — подошва откоса; 7 — берма; 8 — водоотводная канава; 9 — резерв; 10 — кювет; 11 — откосная бровка; 12 — банкет; 13 — забанкетная канава; 14 — кавальер; 15 — нагорная канава; $B_{оп}$ — ширина основной площадки; B_m — ширина междупутья. (Размеры в м)

Размерные параметры водоотводов уточняются по результатам гидравлических расчетов (см. раздел 5). Размерные параметры резерва насыпи, кавальера выемки уточняются по результатам распределения земляных масс (см. раздел 7).

Задача 1.2. Рассмотреть (графически) возможные варианты форм и размерных параметров основной площадки на насыпях из глинистых и песчаных грунтов, на участках прямых и кривых, на новых линиях и вторых путях, на однопутном, двухпутном участках, станционных площадках.

Решение. С учетом форм основной площадки земляного полотна, приведенных в прил. 1.1 согласно СН [115], предусматривая сливную призму для ОП в глинистых грунтах, уширение ОП в кривых ($b_{уш}$), возможное размещение балластной призмы на ОП, необходимость стока воды с ОП второго пути (возможно с дренгрунтом) и на станционных площадках, вычерчиваем поперечные профили ОП различных форм с указанием размерных параметров.

Пример. На рис. 1.4 показаны поперечные профили ОП насыпей в глинистых грунтах однопутного участка на прямой и в кривой; второго пути на прямой; в песчаных грунтах однопутного участка на прямой и в кривой, двухпутного участка на прямой и в кривой, в глинистых грунтах на станционной площадке.

Ширина обочины $b_{об} = (B_{оп} - b_{бн})/2$.

Задача 1.3. Сформировать возможные структуры ОЗП: насыпи и выемки и отобразить их графически.

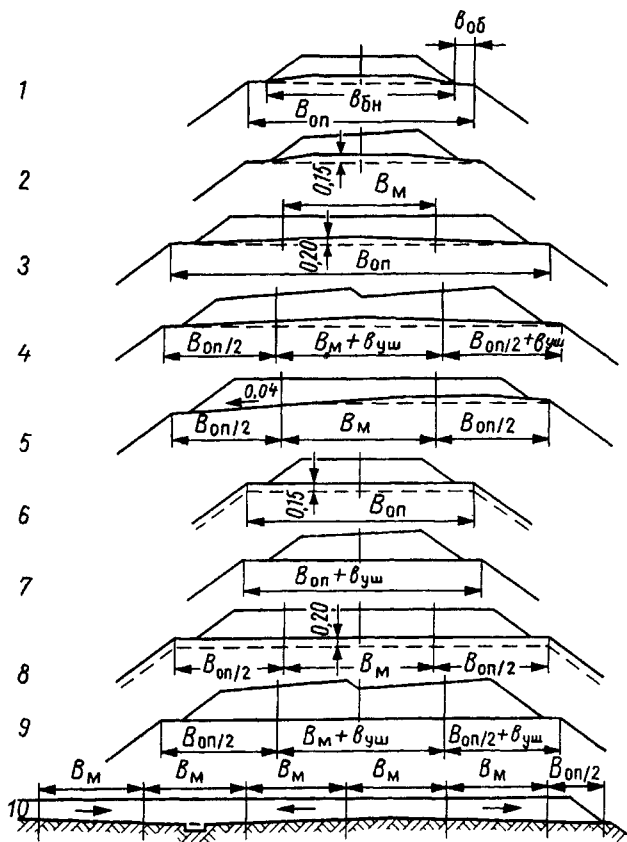


Рис. 1.4. Формы и размерные параметры ОП — в глинистых грунтах на участках: 1 — однопутном на прямой; 2 — в кривой; 3 — двухпутном на прямой; 4 — в кривой; 5 — второго пути; в песчаных грунтах на участках: 6 — однопутном на прямой; 7 — в кривой; 8 — двухпутном на прямой; 9 — в кривой; 10 — в глинистых грунтах на станционных площадках

Решение. Пользуясь типовыми поперечными профилями, нормальными для обычных условий и глинистых грунтов и специальными для региональных условий [70], сформируем из конструктивных элементов структурные варианты насыпи и выемки и отобразим их графически (на иерархических принципах).

Пример 1. Возможные структурные варианты насыпи показаны на рис. 1.5; включают подбалластную зону с ОП, противодеформационной подушкой, покрытием; откосные зоны, опорную, заоткосные, нагорную и подгорную с соответствующими конструктивными элементами для разных условий ПКС.

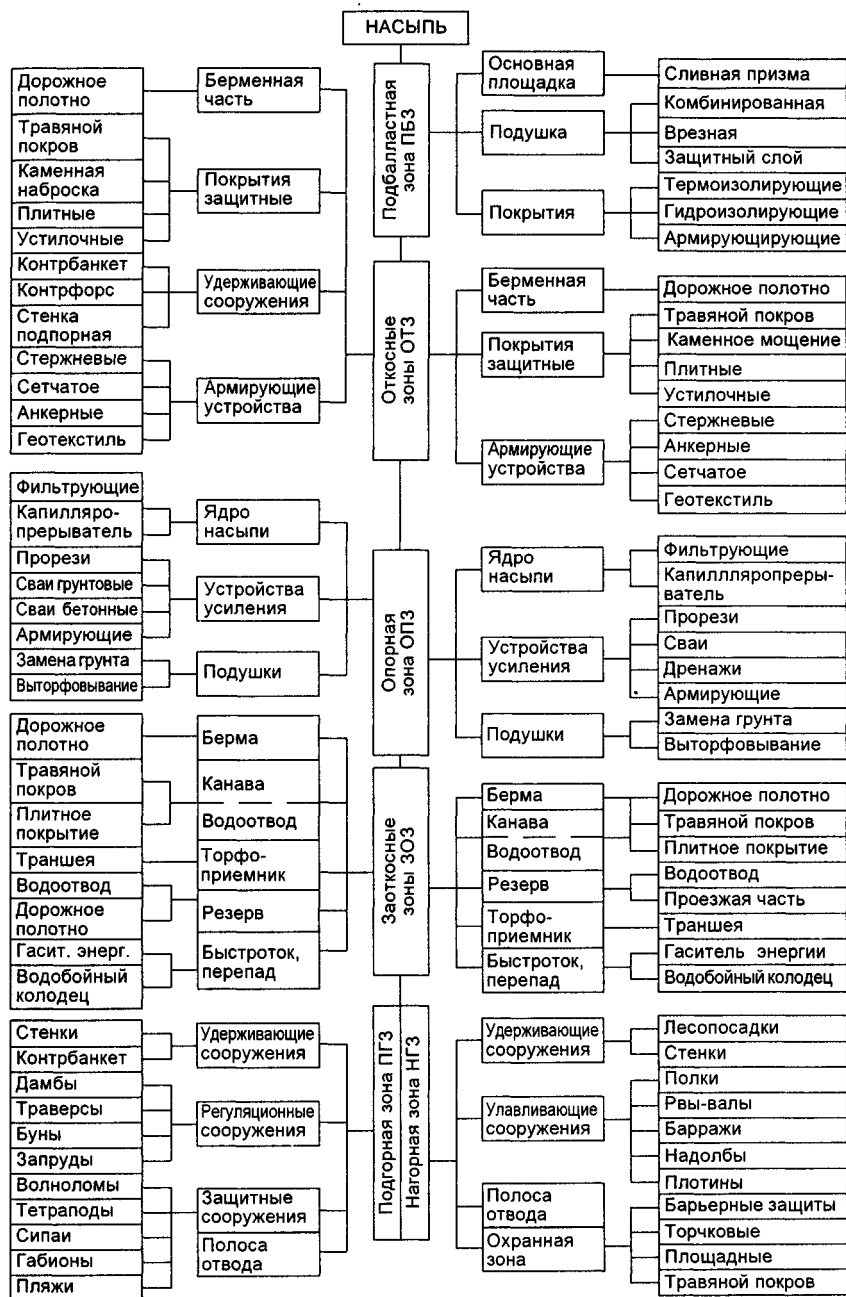


Рис. 1.5. Структура насыпи

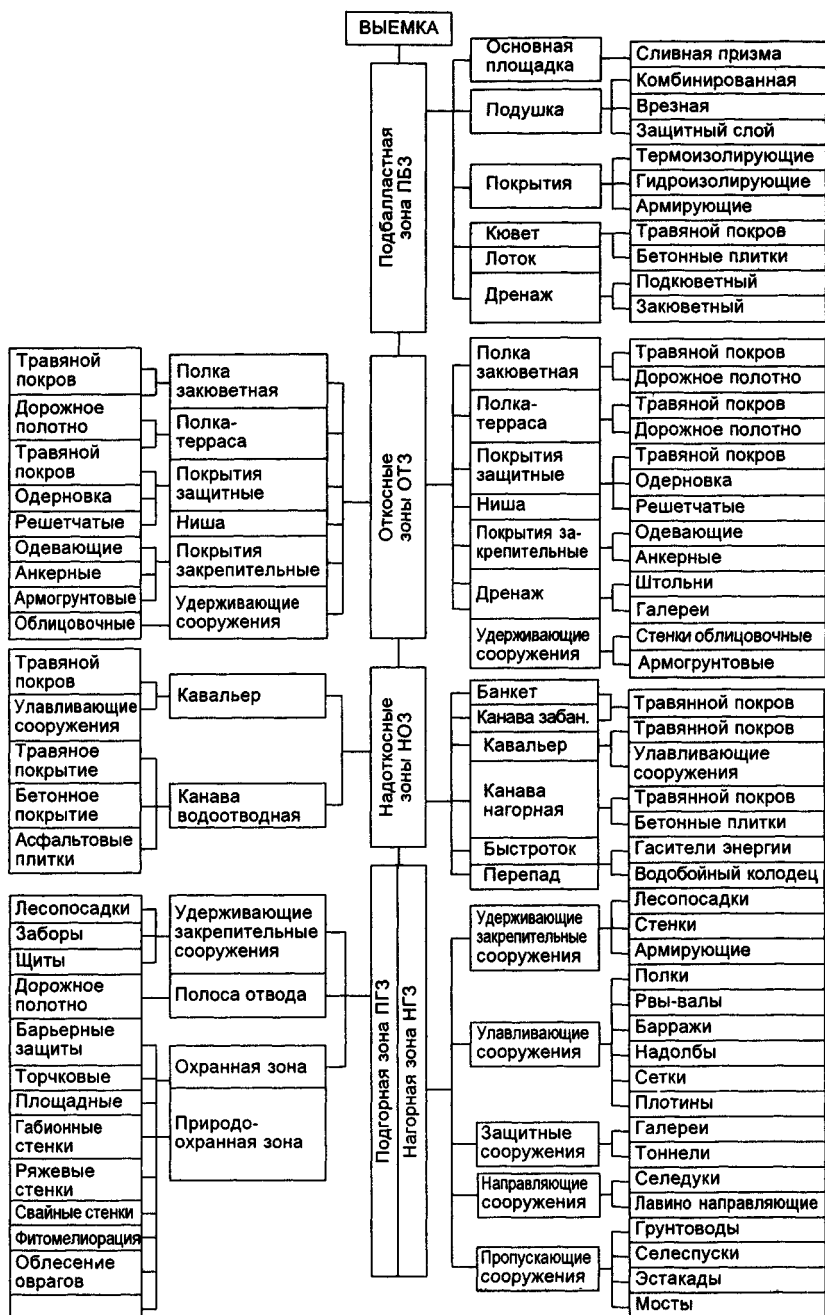


Рис 1 6 Структура выемки

Пример 2. Возможные структурные варианты выемки показаны на рис. 1.6; включают подбалластную зону с ОП, противодеформационной подушкой, покрытием, кюветом или лотком, возможно дренажем; откосные зоны, надоткосные, нагорную и подгорную с соответствующими конструктивными элементами для разных условий ПКС

При проектировании ОЗП для реальных условий ПКС структуру ОЗП обычно синтезируют, включая и добавляя необходимые элементы. Пользуясь избыточной структурой, варианты которой приведены на рис. 1.5, 1.6, при формировании структуры ОЗП следует исключать излишние элементы, оставляя необходимые для конкретных условий ПКС. Целесообразно формирование типовых структур ОЗП для различных регионов, например, горных, со слабыми основаниями, вечномерзлыми грунтами и т. п. с учетом требований экологии.

Задача 1.4. Определить и описать структуру St функциональных зон ОЗП

$$St_{\text{озп}} = \{\text{ПБЗ, ОТЗ, ОПЗ, НОТ, ЗОТ, НГЗ, ПГЗ}\}.$$

Решение. Примем обозначения конструктивных элементов: основная площадка ОП, сливная призма Сп, покрытие Пк, противодеформационная подушка Пд, кювет Кв, полка закюветная Пз, лоток Лт, дренаж Др, откос От, берма Бр, полка-терраса ПТ, ниша Нш, стенка облицовочная Со, стенка подпорная Сп, водоотвод Вд, дорожное (автодорожное) полотно Дп, основание Ос, подушка-капиллярпрерыватель Пл, конструкция усиления, армирования, свайная Ус, прорезь дренажная, поперечная Пр, торфоприемник Тп, быстроток Бт, перепад Пп, полоса отвода По, банкет Бк, кавальер Кл, канава-вал Ккв, канава Кн, нагорная Кнг, забанкетная Кзб, зона охранный Зо, резерв Рз, стенка защитная, одевающая Зщ; сооружения, устройства (обустройства), конструкции: Ул — улавливающие (полки, стенки, сетки, барражи, рвы, котлованы и др.); Нп — направляющие (лотки, грунтоводы и др.); Пс — пропускающие (эстакады, мосты и др.); Зк — закрепляющие (анкерные, лесопосадки и др.); Уд — удерживающие (контрбанкеты Кб, контрфорсы Кф, стенки, шпоны и др.); Рг — регуляционные (дамбы, траверсы, буны и др.); Аг — армогрунтовые.

Пользуясь структурными схемами ОЗП на рис. 1.5, 1.6 опишем возможную структуру функциональных зон символично в дизъюнктивно-конъюнктивной форме (знаки: дизъюнкции \vee «или»; конъюнкции \wedge : «и»; отрицания — «не»; импликации \Rightarrow «следует», «если..., то...»; эквиваленции \Leftrightarrow «эквивалентно», «тогда, когда»).

Примеры. Подбалластная зона выемки:

$$St_{\text{пбз}} \Rightarrow \{\text{ОП} \wedge (\text{Сп} \vee \overline{\text{Сп}}) \wedge (\text{Пк} \vee \overline{\text{Пк}}) \wedge (\text{Пд} \vee \overline{\text{Пд}}) \wedge (\text{Кв} \vee \overline{\text{Лт}}) \wedge (\text{Др} \vee \overline{\text{Др}}) \wedge (\text{Пз} \vee \overline{\text{Пз}})\}.$$

Откосная зона выемки:

$$St_{\text{отз}} \Rightarrow \{\text{От} \{(\text{Бр} \vee \overline{\text{Бр}}) \wedge (\text{ПТ} \vee \overline{\text{ПТ}}) \wedge (\text{Нш} \vee \text{Со} \vee \text{Сп} \vee \text{Пк}) \wedge (\text{Др} \vee \overline{\text{Др}})\} \wedge (\text{Пз} \vee \overline{\text{Пз}}) \wedge (\text{Вд} \vee \overline{\text{Вд}}) \wedge (\text{Дп} \vee \overline{\text{Дп}}) \wedge (\text{Уд} \vee \overline{\text{Уд}})\}.$$

Опорная зона насыпи:

$$St_{\text{опз}} \Rightarrow \{\text{Ос} \wedge (\text{Пд} \vee \overline{\text{Пд}}) \wedge (\text{Пл} \vee \overline{\text{Пл}}) \wedge (\text{Др} \vee \overline{\text{Др}}) \wedge (\text{Вд} \vee \overline{\text{Вд}}) \wedge (\text{Ус} \vee \overline{\text{Ус}}) \wedge (\text{Пк} \vee \text{Аг}) \wedge (\text{Пр} \vee \overline{\text{Тп}}) \wedge (\overline{\text{Пр}} \vee \overline{\text{Тп}})\}.$$

Надоткосная зона:

$$St_{\text{нот}} \Rightarrow \{ \text{По} \wedge \text{Бр} \wedge (\text{Бк} \vee \text{Кзб}) \wedge (\overline{\text{Бк}} \vee \overline{\text{Кзб}}) \wedge (\text{Кл} \vee \overline{\text{Кл}}) \wedge \\ \wedge (\text{Ккв} \vee \overline{\text{Ккв}}) \wedge (\text{Пп} \vee \text{Бт}) \wedge (\text{Зо} \vee \overline{\text{Зо}}) \}.$$

Заоткосная зона:

$$St_{\text{зот}} \Rightarrow \{ \text{По} \wedge \text{Бр} \wedge (\text{Дп} \vee \overline{\text{Дп}}) \wedge (\text{Рз} \wedge (\text{Дп} \vee \overline{\text{Дп}}) \vee \overline{\text{Рз}}) \wedge \\ \wedge [(\text{Кн} \wedge (\text{Бт} \vee \overline{\text{Пп}}) \vee (\overline{\text{Бт}} \vee \overline{\text{Пп}})) \vee \overline{\text{Кн}}] \wedge (\text{Зо} \vee \overline{\text{Зо}}) \}.$$

Нагорная зона:

$$St_{\text{нгз}} \Rightarrow \{ \text{По} \wedge (\text{Зщ} \vee \overline{\text{Зщ}}) \wedge (\text{Зк} \vee \overline{\text{Зк}}) \wedge (\text{Ул} \vee \overline{\text{Ул}}) \wedge \\ \wedge [(\text{Нп} \vee \overline{\text{Пс}}) \wedge (\text{Нп} \vee \overline{\text{Пс}})] \wedge (\text{Пк} \vee \overline{\text{Пк}}) \wedge (\text{Вд} \vee \overline{\text{Вд}}) \wedge (\text{Зо} \vee \overline{\text{Зо}}) \}.$$

Подгорная зона:

$$St_{\text{пгз}} \Rightarrow \{ \text{По} \wedge (\text{Уд} \vee \overline{\text{Уд}}) \wedge (\text{Зщ} \vee \overline{\text{Зщ}}) \wedge (\text{Рг} \vee \overline{\text{Рг}}) \wedge (\text{Пк} \vee \overline{\text{Пк}}) \wedge \\ \wedge (\text{Вд} \vee \overline{\text{Вд}}) \wedge (\text{Аг} \vee \overline{\text{Аг}}) \wedge (\text{Зо} \vee \overline{\text{Зо}}) \}.$$

Символьное описание St упрощает идентификацию модельной интерпретации ОЗП при программировании на ПК.

Задача 1.5. Определить площадь поперечного профиля и объем насыпи и ее элементов на перегоне.

Исходные данные: насыпь из глинистых грунтов; $6,0 < H_H < 12,0$ м.

Расчетная схема: конструкция насыпи (рис. 1.7) согласно типовому поперечному профилю [70, 84].

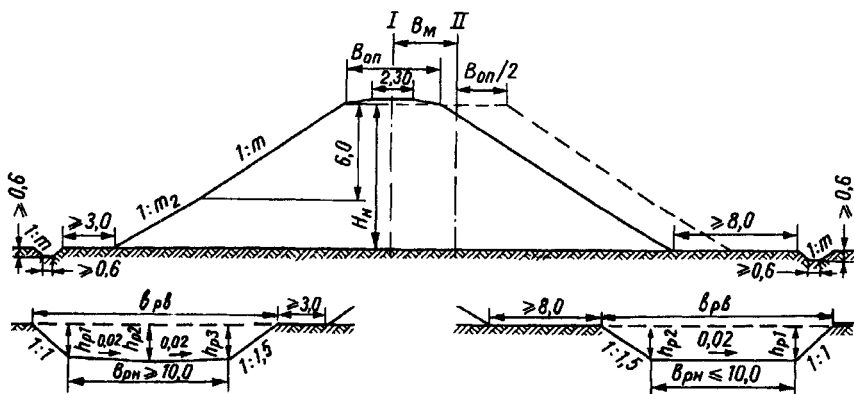


Рис. 1.7. Типовой поперечный профиль насыпи. (Размеры в м)

Решение. Объем насыпи $V_H = \Sigma[(F_1 + F_2)/2 - m(H_{H2} - H_{H1})/6]l_{H1}$, м³.

Площадь поперечного сечения насыпи

при $H_H < 6,0$ м $F_H = B_{\text{оп}}H_H + mH_H^2$;

при $6 < H_H < 12$ $F_H = B6 + m_16^2 + (B + 2m_16)(H_H - 6) + m_2(H_H - 6)^2 + \omega_{\text{сп}} =$
 $= (B + 12m_1)H_H - 36m_1 + m_2(H_H - 6)^2 + \omega_{\text{сп}}$, м²,

где B на однопутном участке $B = B_{\text{оп}}$ (по прил. 1.2);

на двухпутном $B = B_{\text{оп}} + B_{\text{м}}$; ширина междупутья $B_{\text{м}} = 4,1 + b_{\text{уш}}$,

где $b_{\text{уш}}$ — величина уширения в кривых (по прил. 1.2).

Площадь сливной призмы на однопутном участке

$$\omega_{\text{сп1}} = 0,5(2,3 + B_{\text{оп}})h_{\text{сп1}} = 0,075(2,3 + B_{\text{оп}}), \text{ м}^2;$$

на двухпутном $\omega_{\text{сп2}} = 0,5B_{\text{оп}}h_{\text{сп2}} = 0,1B_{\text{оп}}, \text{ м}^2$.

При песчаных грунтах и $H_{\text{н}} < 6,0 \text{ м}$ $F_{\text{н}} = B(H_{\text{н}} + h_{\text{сп}}) + m(H_{\text{н}} + h_{\text{сп}})^2$.

Объем резерва $V_{\text{р}} = F_{\text{р}}l_{\text{р}}$,

где площадь двухскатного резерва (при $b_{\text{рн}} > 10,0 \text{ м}$)

$$F_{\text{рдв}} = (b_{\text{рн}} + 1,25h_{\text{сп}})h_{\text{сп}}; \quad h_{\text{сп}} = 0,5(h_{\text{р1}} + h_{\text{р2}});$$

$$h_{\text{р1}} = h_{\text{р3}} = h_{\text{сп}} - 0,005b_{\text{р1}}; \quad h_{\text{р2}} = h_{\text{сп}} + 0,005b_{\text{рн}};$$

односкатного (при $b_{\text{рн}} < 10,0 \text{ м}$)

$$F_{\text{род}} = (b_{\text{рн}} + 1,25h_{\text{сп}})h_{\text{сп}}; \quad h_{\text{сп}} = 0,5(h_{\text{р1}} + h_{\text{р2}});$$

$$h_{\text{р1}} = h_{\text{сп}} + 0,01b_{\text{рн}}; \quad h_{\text{р2}} = h_{\text{сп}} - 0,01b_{\text{рн}}.$$

Задача 1.6. Определить площадь поперечного профиля и объем выемки и ее элементов на перегоне.

Исходные данные: выемка из глинистых грунтов; $H_{\text{в}} < 12 \text{ м}$.

Расчетная схема: конструкция выемки (рис. 1.8) согласно типовому поперечному профилю [70, 84].

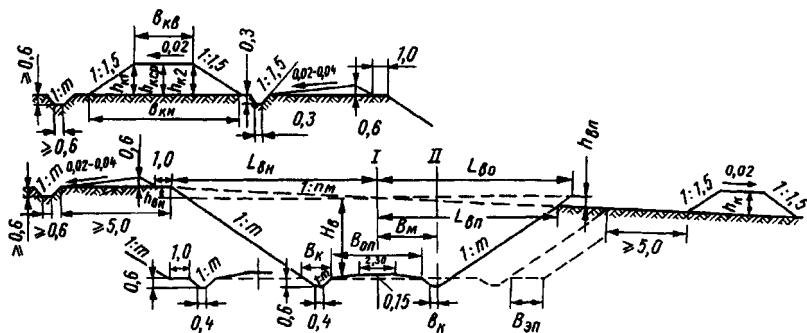


Рис. 1.8. Типовой поперечный профиль выемки (размеры, м)

Решение. Объем выемки при небольшой косогорности

$$V_{\text{в}} = \Sigma[(F_{\text{в1}} + F_{\text{в2}})L_{\text{в}}/2].$$

Площадь поперечного сечения

$$F_{\text{в}} = (B_{\text{оп}} + 2B_{\text{к}} + 2B_{\text{зп}})H_{\text{в}} + mH_{\text{в}}^2 + 2\omega_{\text{к}} - \omega_{\text{сп}}.$$

Ширина основной площадки выемки $B_{\text{оп}}$ — по прил. 1.2;

ширина закуветной полки $B_{\text{зп}} = 0,0 \dots 2,0 \text{ м}$.

Ширина кювета поверху $B_{\text{к}} = m_1h_{\text{к}} + b_{\text{к}} + m_2h_{\text{к}}$;

при $m_1 = m_2$ $B_{\text{к}} = b_{\text{к}}h_{\text{к}} + m_{\text{к}}h_{\text{к}}^2$;

площадь кювета (при $m_1 = m_2 = 1,5$)

$$\omega_{\text{к}} = (b_{\text{к}} + m_{\text{к}}h_{\text{к}})h_{\text{к}} = (0,4 + 0,9)0,6 = 0,78 \text{ м}^2.$$

Площадь сливной призмы на однопутном участке

$$\omega_{\text{сп1}} = 0,075(2,3 + B_{\text{оп}}), \text{ м}^2; \text{ на двухпутном } \omega_{\text{сп2}} = 0,1B_{\text{оп}}.$$

Площадь канавы забанкетной $\omega_{зк} = (B_{зк} + m_{зк}h_{зк})h_{зк}$;

$$\omega_{зк} = (0,3 + 1,5 \cdot 0,3)0,3 = 0,225 \text{ м}^2;$$

канавы нагорной $\omega_{нк} = 0,5(2b_{нк} + 3H_{нк})H_{нк}$;

$$\text{минимальная } \omega_{нк} = 0,5(2 \cdot 0,6 + 3 \cdot 0,6)0,6 = 0,9 \text{ м}^2.$$

Минимальная площадь банкета $\omega_6 = 0,5(m_6h_6 + 0,04h_6)h_6$.

Объем кавальера $V_{кв} = F_{кв}l_{кв}$,

где $F_{кв}$ — площадь кавальера $F_{кв} = (b_{кв} + 1,5h_{ксп})h_{ксп}$;

$$h_{к1} = h_{ксп} - 0,01b_{ке}; \quad h_{к2} = h_{ксп} + 0,01b_{кв}.$$

Если известна необходимая площадь ПП кавальера $F_{кв}$,

$$\text{то } b_{квв} = F_{кв}/h_{ксп} - 1,5h_{ксп}; \quad b_{квн} = F_{кв}/h_{ксп} + 1,5h_{ксп}.$$

Задача 1.7. Определить площадь ПП насыпи, выемки при однообразном поперечном уклоне местности.

Исходные данные: очертания насыпи, выемки согласно типовым ПП; превышения границ откосов ПП относительно осевой точки насыпи (по данным измерений, рис. 7.8—I, II; 7.9—I, II; [60]) в подгорную сторону $h_{пн}$; в нагорную $h_{нн}$; выемки в нагорную сторону $h_{вн}$, в подгорную $h_{вп}$; $H_n < 6,0$ м; H_v .

Решение. Для насыпи $F_n = B_{оп}H_n + mH_n^2 + F_{пп} - F_{нн} + \omega_{сп}$;

$$F_{пп} = 0,5h_{пп}L_{но}; \quad F_{нн} = 0,5h_{нн}L_{но}, \quad \text{где } L_{но} = B_{оп}/2 + mH_n.$$

Для выемки (расчетная схема на рис. 1.8)

$$F_v = (B_{оп} + 2B_k + 2B_{зп})H_v + mH_v^2 + F_{вн} - F_{вп} + 2\omega_k - \omega_{сп};$$

$$F_{вн} = 0,5h_{вн}L_{во}; \quad F_{вп} = 0,5h_{вп}L_{во}, \quad \text{где } L_{во} = B_{оп}/2 + B_k + mH_v + B_{зп}.$$

Расстояния от оси пути до границ откосов, (подошвы насыпи, откосных бровок, выемок) и превышения при наличии (и отсутствии) косогорности определяются по формулам

для нагорной стороны насыпи ($H_n < 6,0$ м)

$$L_{нн} = L_{но}n_m/(n_m + m); \quad h_{нн} = L_{но}/(n_m + m);$$

для подгорной стороны $L_{пп} = L_{но}n_m/(n_m - m); \quad h_{пп} = L_{но}/(n_m - m);$

для нагорной стороны выемки $L_{вн} = L_{во}n_m/(n_m - m); \quad h_{вн} = L_{во}/(n_m - m);$

для подгорной стороны $L_{вп} = L_{во}n_m/(n_m + m); \quad h_{вп} = L_{во}/(n_m + m).$

Площадь, необходимая для размещения объектов земляного полотна (площадь полосы отвода) определяется по формуле

$$F_{по} = [L_n \vee L_v + 2b_{по}]L_{пп}; \quad L_n = L_{нн} + L_{пп}; \quad L_v = L_{вн} + L_{вп},$$

где $b_{по}$ — уширение полосы отвода для размещения резервов, кавальеров, водоотводов; $L_{пп}$ — расстояние между смежными ПП.

Задача 1.8. Показать графически схемы внешних нагрузок силового воздействия на основную площадку ОЗП для однопутного и двухпутного участков.

Решение. На основную площадку оказывается силовое воздействие: динамическое — экипажами поездов, статическое — верхним строением пути. Для линейчатых ОЗП эти нагрузки принимаются полосовыми прямоугольной или трапециевидальной формы.

Интенсивность поездной нагрузки p_{Π} принимается

— при известных параметрах подвижного состава и скоростей движения поездов $p_{\Pi} = P_{\Pi}/l_{\text{ш}}$, где $l_{\text{ш}}$ — ширина поездной нагрузки, равная длине шпалы; P_{Π} — расчетная линейная нагрузка, распределенная вдоль пути

$$P_{\Pi} = (P_1 + P_{1\text{max}} + P_{\text{к}} + P_{\text{кmax}} + 2\sum P_i + 2\sum P_{i\text{max}})/(2l_{\text{гр}}),$$

где $P_1, P_{\text{к}}, P_i$ — средние значения вертикальных сил, передаваемые от колес первой, последней и промежуточных осей в группе (тележек локомотивов, вагонов), $P_{1\text{max}}, P_{\text{кmax}}, P_{i\text{max}}$ — тоже, максимальные значения вертикальных сил, $l_{\text{гр}}$ — расстояния между крайними осями в группе;

— для перспективных условий $p_{\Pi} = [p_{\Pi}]$,

где $[p_{\Pi}]$ — допустимые напряжения на ОП для поездной нагрузки (80 кПа для песчаных, глинистых грунтов) [67].

Интенсивность и размерные параметры эпюры вертикальных составляющих нормальных (сжимающих) напряжений зависят от веса элементов верхнего строения, материала шпал и приведены в прил. 1.3.

В соответствии с параметрами погонных нагрузок вычерчиваем расчетные схемы (эпюры) нагрузок p_{Π} и $p_{\text{вс}}$ для ОП однопутного и двухпутного участков (рис. 1.9).

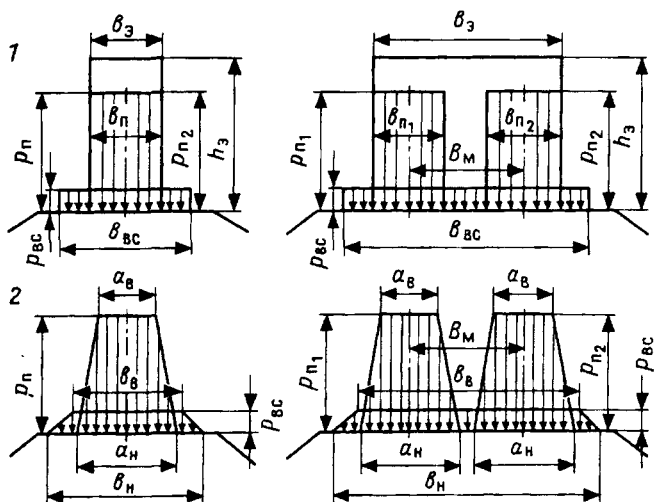


Рис. 1.9. Эпюры нагрузок на ОП: 1 — прямоугольные;

2 — трапецидальной формы (для однопутного и двухпутного участков)

Задача 1.9. Определить размеры (ширину b_3 , высоту h_3) грунтовой нагрузки (фиктивного столбика грунта), эквивалентной нагрузкам временной поездной p_{Π} и верхнего строения пути $p_{\text{вс}}$ для однопутного и двухпутного участков.

Исходные данные: локомотив (серия); тип верхнего строения пути, $p_{\text{вс}}$, $\gamma_{\text{г}}$.

Расчетная схема на рис. 1.9-1 для однопутного и двухпутного участков.

Решение. Определяются сцепной вес локомотива (на одну тележку) ΣP_j , длина жесткой базы $l_{жб}$ [67]; $p_{вс}$, $b_{вс}$ (по прил. 1.3) $p_{п} = \Sigma P_j / (l_{жб} l_{ш})$.

Для однопутного участка $b_{з1} = b_{п}$; $h_{з1} = (p_{п} + p_{вс} b_{вс} / b_{п}) / \gamma_{г}$;

для двухпутного участка $b_{з2} = b_{п} + B_{м}$; $h_{з2} = (2p_{п} b_{п} + p_{вс} b_{вс}) / [(b_{п} + B_{м}) \gamma_{г}]$;

Пример. Дано: участок однопутный; поездная нагрузка — тепловоз ТЭП10, верхнее строение легкого типа, шпалы деревянные; $\gamma_{г} = 19,3$ кН/м³.

Расчетная схема на рис. 1.9

Решение. $\Sigma P_j = 107,5 \times 6 = 645$ кН; $l_{жб} = 4,2$ м;
 $b_{п} = 2,75$ м; $p_{п} = 645 / (4,2 \cdot 2,75) = 55,8$ кПа;
 $p_{вс} = 15,0$ кПа; $b_{вс} = 4,25$ м (прил. 1.3);
 $h_{з} = (55,8 + 15,0 \cdot 4,25 / 2,75) / 19,3 = 4,09$ м.

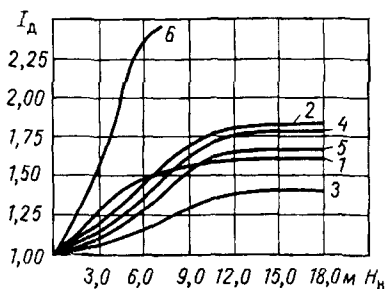
Задача 1.10. Определить интенсивность поездной нагрузки с учетом динамического состояния насыпи.

Решение. Динамическое состояние характеризуется проявлением в насыпи сложного колебательного процесса, при котором возникают инерционные силы грунтовой среды, диссипативные силы, снижаются прочностные параметры ($c_{г}$, $\varphi_{г}$).

Динамическое состояние насыпи можно учесть интегрально, приняв вместо поездной $p_{п}$ приведенную нагрузку на ОП

$$p_{пр} = p_{п} I_{д},$$

где $I_{д}$ — интегральный параметр, учитывающий динамическое состояние насыпи, принимается по табл. 1.1 (получен методом центробежного моделирования), по графикам рис. 1.10 [67].



1 — супесь	$I_L \leq 0,00$;	$K_y = 0,97 \dots 1,00$
2 — супесь	$I_L \leq 0,25$;	$K_y = 0,90 \dots 1,00$
3 — суглинок легкий	$I_L \leq 0,00$;	$K_y = 0,90 \dots 0,95$
4 — суглинок легкий	$I_L \leq 0,25$;	$K_y = 0,90 \dots 1,00$
5 — суглинок тяжелый	$I_L \leq 0,50$;	$K_y = 0,90 \dots 1,00$
6 — песок пылеватый		$K_y = 0,90 \dots 1,00$

Рис. 1.10. Графики $I_{д}$ для различных условий (по H_n , I_L , K_y)

Пример. Дано: насыпь высотой $H_n = 6,8$ м из тяжелых суглинков на прочном основании; поездная нагрузка — тепловоз ТЭП 10; $p_{п} = 55,8$ кПа.

Решение. Определяем параметр $I_{д}$ по табл. 1.1 интерполированием

$$I_{д} = 1,3 + [(1,55 - 1,30) / (9,0 - 6,0)] \cdot (6,8 - 6,0) = 1,37.$$

Тогда приведенная нагрузка на ОП

$$p_{пр} = 55,8 \cdot 1,37 = 76,45 \text{ кПа.}$$

Таблица 1.1

Динамические параметры насыпей (по МГУПС)

Вид грунта	Характеристики состояния грунта		Основание насыпи	Величины I_d при H_n , м				
	Коэффициент консистенции I_L	Коэффициент уплотнения K_y		0—3	3—6	6—9	9—12	12
Супесь	< -0,50	0,97—1,00	Прочное	1,00—1,50		1,55	1,60	
	< -0,50 + + 0,25	0,90—1,00	То же	1,00— —1,20	1,20— —1,45	1,45— —1,70	1,70— —1,80	1,80
Легкий суглинок	< 0,00	0,90—0,95	То же	1,00—1,30			1,40	
	0 + 0,25	0,90—1,00	То же	1,00— —1,15	1,15— —1,35	1,35— —1,65	1,65— —1,75	1,75
Тяжелый суглинок	0 + 0,50	0,90—1,00	То же	1,00— —1,10	1,10— —1,30	1,30— —1,55	1,55— —1,65	1,65
Пылеватый песок	—	0,90—1,00	То же	1,00— —1,60	1,60— —2,40	—		
	—	0,90—1,00	Торфяное	1,00—2,40			—	
Мелкий песок	—	0,90—1,00	Прочное	—		—		

В таблице I_L — показатель текучести (консистенции) грунта; K_y — коэффициент уплотнения грунта.

1.1.3. Определение напряженного состояния

Задача 1.11. Определить напряжения в ОЗП от поездной нагрузки, верхнего строения пути, собственного веса, общие (суммарные) — в точках горизонтального, вертикального сечений.

Исходные данные: ОЗП, $H_{н,в}$, $B_{оп}$, $\gamma_{г}$; серия локомотива и осевые нагрузки, тип верхнего строения пути; x_i , y_i .

Расчетные схемы на рис. 1.11, 1.12.

Решение. Расчеты напряжений σ_0 в точках M_i насыпи можно выполнить по схеме упругого полупространства, загруженного полосовыми нагрузками: временной поездной $p_{п}$, от верхнего строения пути $p_{вс}$; от собственного веса полупространства p_{γ}

$$\sigma_0 = \sigma_p + \sigma_{вс} + \sigma_{\gamma}.$$

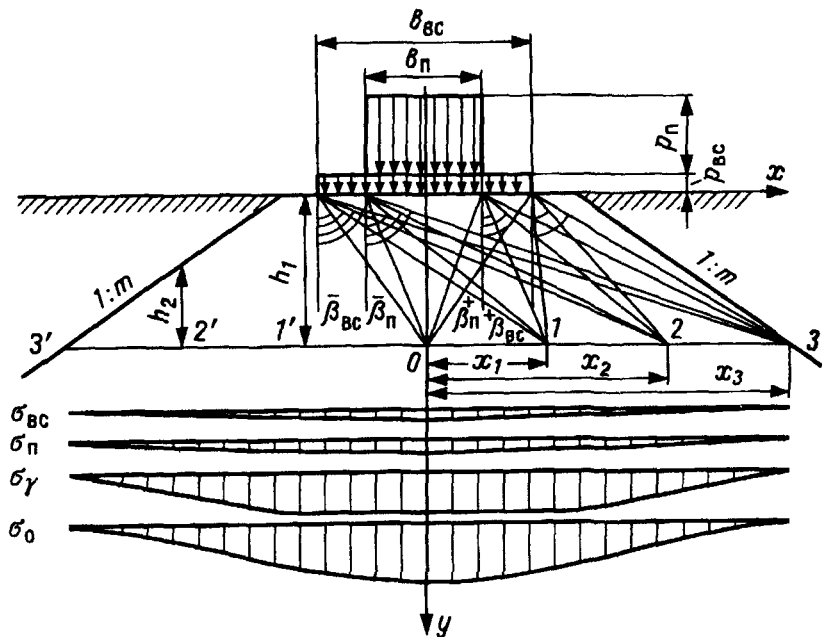


Рис. 1.11. Расчетная схема для определения σ_i в горизонтальном уровне

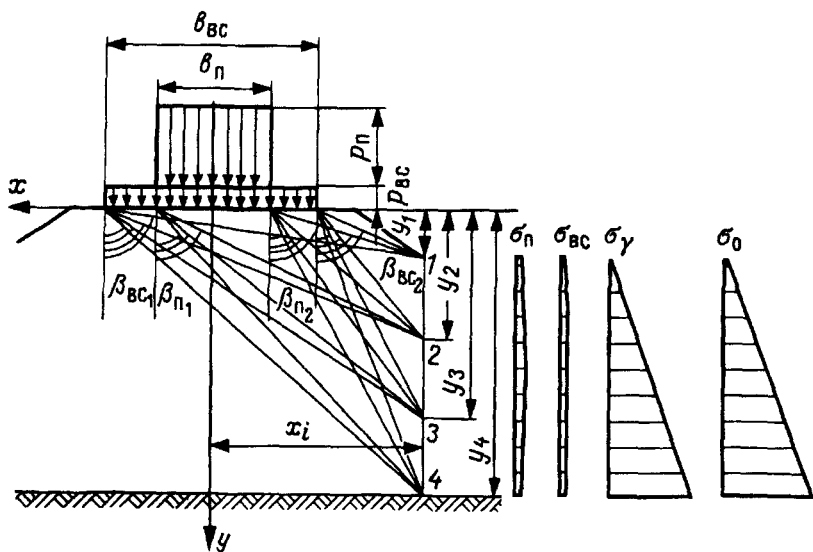


Рис. 1.12. Расчетная схема для определения σ_i по вертикали

Напряжения от полосовой равномерной нагрузки, приложенной к полу-пространству

$$\sigma = (p/\pi)(\beta_1 + 0,5\sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5\sin 2\beta_2) = I_p.$$

Интенсивность поездной нагрузки $p_{\Pi} = \Sigma P_j / (l_{жб} b_{\Pi})$;

$b_{\text{вс}}, p_{\text{вс}}$ в зависимости от типа верхнего строения принимаются по прил. 1.3.

Напряжения от собственного веса грунта $\sigma_{\gamma}(\sigma_{\text{ГД}})$

$$\sigma_{\gamma} = \Sigma(h_i \gamma_i); \quad h_i = y_i - y_{i-1}; \quad \Sigma h_i = H_{\text{Н}};$$

$$\sigma_{\gamma} = \gamma_{\text{ср}} H_{\text{Н}}; \quad \gamma_{\text{ср}} = \frac{\Sigma \gamma_i}{n},$$

где n — количество слоев в насыпи.

В точках по вертикали и горизонтали

$$\beta_{1,2} = \pm \arctg[(x_i \pm b_j/2)/y_i].$$

Пример. Определить σ_{oi} в точках горизонтального уровня однопутной насыпи.

Дано: локомотив — тепловоз ТЭ10; верхнее строение пути среднего типа; $b_{\Pi} = 2,75$ м; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $m = 1,5$; $\gamma_{\Gamma} = 19,7$ кН/м³; горизонталь на уровне $y = 4,0$ м.

Расчетная схема на рис. 1.11.

Принимаем $x_0 = 0,0$; $x_1 = 3,0$; $x_2 = 6,0$; $x_3 = 9,0$ м.

$h_0 = h_1 = 4,0$; $h_2 = 4,0 - (1,0/1,5)(6,0 - 3,0) = 2,0$ м; $h_3 = 0,0$ м.

Решение. $P_{\Pi} = 112$ кН; $p_{\Pi} = 112/2,75 = 40,7$ кПа;

$p_{\text{вс}} = 15,0$ кПа; $b_{\text{вс}} = 4,70$ м (по прил. 1.3).

В точке 0 $\beta_{1,2\Pi 0} = \pm \arctg[2,75/(2 \cdot 4,0)] = \pm 0,3310$;

$\beta_{1,2\text{вс}0} = \pm \arctg[4,70/(2 \cdot 4,0)] = \pm 0,5312$;

$\sigma_{\Pi 0} = (40,7/3,14)[0,3310 + 0,5\sin 2 \cdot 0,3310 - (-0,33310) - 0,5\sin 2(-0,3310)] =$
 $= 16,9$ кПа;

$\sigma_{\text{вс}0} = (15,0/3,14)[0,5312 + 0,5\sin 2 \cdot 0,5312 - (-0,5312) - 0,5\sin 2(-0,5312)] =$
 $= 9,3$ кПа;

напряжения от собственного веса грунта насыпи $\sigma_{\gamma 0} = 19,7 \cdot 4,0 = 78,8$ кПа;

общие (суммарно) $\sigma_{o0} = 16,9 + 9,3 + 78,8 = 105,0$ кПа.

Расчетами напряжения в других точках получены

$$\sigma_{o1} = 89,9; \quad \sigma_{o2} = 42,7; \quad \sigma_{o3} = 0,6 \text{ кПа.}$$

Пример 2. Определить σ_{oi} в точках по вертикали однопутной насыпи.

Дано: локомотив ТЭ10; верхнее строение пути среднего типа; $b_{\Pi} = 2,75$ м; $H_{\text{Н}} = 10,0$ м; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $\gamma_{\Gamma} = 19,7$ кН/м³; вертикаль на расстоянии от оси $x_i = 4,5$ м.

Расчетная схема на рис. 1.12.

Определяем $y_1 = (4,5 - 3,0)/1,5 = 1,0$ м.

Принимаем $y_2 = 4,0$; $y_3 = 7,0$; $y_4 = 10,0$ м;

тогда $h_1 = 0,0$; $h_2 = 3,0$; $h_3 = 6,0$; $h_4 = 9,0$ м.

Решение. $p_{\Pi} = 40,7$ кПа (по решению примера 1);

$p_{\text{вс}} = 15,0$ кПа; $b_{\text{вс}} = 4,70$ м.

В точке 1. $\beta_{1п1} = \arctg[(2 \cdot 4,5 + 2,75)/(2 \cdot 1)] = 1,4022$;

$\beta_{2п} = \arctg[(2 \cdot 4,5 - 2,75)/(2 \cdot 1)] = 1,2610$;

$\beta_{1вс1} = \arctg[(2 \cdot 4,5 + 4,70)/(2 \cdot 1)] = 1,4258$;

$\beta_{2вс1} = \arctg[(2 \cdot 4,5 - 4,70)/(2 \cdot 1)] = 1,1354$;

$\sigma_{п1} = (40,7/3,14)(1,4022 + 0,5\sin 2 \cdot 1,4022 - 1,2610 - 0,5\sin 2 \cdot 1,2610) = 0,21$ кПа;

$\sigma_{вс1} = (15,0/3,14)(1,4258 + 0,5\sin 2 \cdot 1,4258 - 1,1354 - 0,5\sin 2 \cdot 1,1354) = 0,24$ кПа;

$\sigma_{\gamma 1} = 0,0$; $\sigma_{o1} = 0,45$ кПа;

В других точках $\sigma_{o2} = 65,6$ кПа; $\sigma_{o3} = 126,8$ кПа; $\sigma_{o4} = 185,4$ кПа.

Эпюры напряжений приведены на рис. 1.11 и 1.12.

Задача 1.12. Определить напряжения в точках по всей площади поперечного сечения насыпи (однопутной, двухпутной).

Дано: H_n , $V_{оп}$, m ; γ_r ; серия локомотива, тип верхнего строения пути.

Решение. Площадь поперечного строения насыпи разбивается по высоте и ширине горизонтальными и вертикальными сечениями (начиная с осевого, достаточно в одну сторону для симметричной насыпи),

Для всех точек (регулярной сетки) с координатами (x_i, y_i) напряжения σ_{oi} определяются в соответствии с методикой вычислений в задаче 1.11.

Задача 1.13. Определить напряжения по оси пути насыпи однопутного участка.

Исходные данные: H_n , γ_r ; p_n , b_n , тип верхнего строения пути; y_i .

Расчетная схема на рис. 1.13. $x_i = 0,0$ м.

Решение. Принимаются $p_{вс}$, $b_{вс}$ по прил. 1.3.

Определяются отношения x_i/b_n ; y_i/b_n и $x_i/b_{вс}$; $y_i/b_{вс}$.

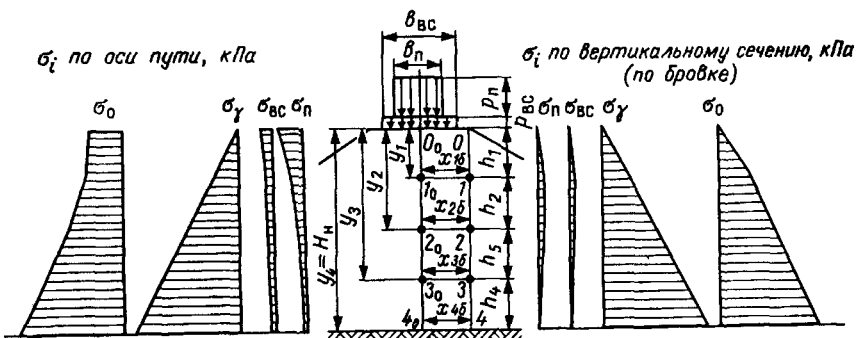


Рис. 1.13. Расчетные схемы для определения σ_j по оси и вертикали (бровке) однопутной насыпи

Затем, пользуясь вспомогательными (табулированными) значениями удельных величин напряжений $I_{pi} = \sigma_{ij}p_j = f(x_i/b_j; y_i/b_j)$; определяют $I_{\pi i} = f(x_i/b_{\pi}; y_i/b_{\pi})$; $I_{вс i} = f(x_i/b_{вс}; y_i/b_{вс})$.

Удельные значения напряжений I_{pi} в i -х точках принимаются по таблице прил. 1.4

Вычисляются напряжения от нагрузок $\sigma_{\pi i} = I_{pi}p_{\pi}$; $\sigma_{вс i} = I_{вс i}p_{вс}$; от собственного веса грунта насыпи $\sigma_{\gamma i} = \gamma_{г}h_i$; статические $\sigma_{с i} = \sigma_{вс i} + \sigma_{\gamma i}$; полные в i -х точках $\sigma_{о i} = \sigma_{с i} + \sigma_{\pi i}$.

Пример. Дано: $H_{н} = 16,0$ м, участок однопутный; $p_{\pi} = 80$ кПа, $b_{\pi} = 2,75$ м; верхнее строение легкого типа; грунт глинистый, удельный вес $\gamma_{гср} = 19,0 - 19,8$ кН/м³.

Расчетная схема на рис. 1.13.

Решение. Определяем $p_{вс} = 15$ кПа, $b_{вс} = 4,3$ м (прил. 1.3).

Принимаем $y_0 = 0,0$; $y_1 = 4,0$; $y_2 = 8,0$; $y_3 = 12,0$; $y_4 = 16,0$ м.

В точке 0 ($x_0 = 0,0$; $y_0 = 0,0$); $h_0 = 0,0$ м.

$$I_{\pi 0} = f(0,0/2,75; 0,0/2,75) = f(0,0; 0,0) = 1,0;$$

$$I_{вс 0} = f(0,0/4,3; 0,0/4,3) = 1,0.$$

Тогда $\sigma_{\pi 0} = 80$; $\sigma_{вс 0} = 15$; $\sigma_{\gamma} = 0,0$ кПа; $\sigma_{о 0} = 80 + 15 = 95$ кПа.

В точке 1 ($x_0 = 0,0$; $y_0 = 4,0$); $h_0 = 4,0$ м.

$$I_{\pi 1} = f(0,0/2,75; 4,0/2,75) = f(0,0; 1,45);$$

линейно интерполируя, вычисляем

$$I_{\pi 1} = 0,540 - [(0,540 - 0,397)/(1,50 - 1,00)] \cdot (1,45 - 1,00) = 0,411.$$

$$\sigma_{\pi 1} = 0,411 \cdot 80 = 32,88 \text{ кПа.}$$

$$I_{вс 1} = f(0,0/4,3; 4,0/4,3) = f(0,0; 0,93);$$

линейно интерполируя, вычисляем

$$I_{вс 1} = 0,670 - [(0,670 - 0,540)/(1,00 - 0,75)] \cdot (0,93 - 0,67) = 0,602.$$

$$\sigma_{вс 1} = 0,602 \cdot 15 = 9,03 \text{ кПа.}$$

$$\gamma_{г 1} = 19,2 \text{ кН/м}^3; \sigma_{\gamma 1} = 0,5(19,0 + 19,2) \cdot 4,0 = 76,40 \text{ кПа.}$$

Тогда напряжения статические $\sigma_{с 1} = 9,03 + 76,40 = 85,43$ кПа;

полные в 1-й точке $\sigma_{о 1} = 85,43 + 32,88 = 118,31$ кПа.

Расчеты для других точек выполнены в табличной форме (табл. 1.2, а).

Задача 1.14. Определить напряжения в насыпи по вертикали на расстоянии x_i от оси (по бровке), по горизонтали на уровне y_i от основной площадки.

Пример 1. Определение напряжений в точках по вертикали.

Дано: $H_{н} = 16,0$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; другие данные по условию примера в задаче 1.13.

Расчетная схема на рис. 1.13. Вертикаль для определения σ_i по бровке, на расстоянии $x_i = 0,5B_{оп} = 3,0$ м.

Принимаем $y_0 = 0,0$; $y_1 = 4,0$; $y_2 = 8,0$; $y_3 = 12,0$; $y_4 = 16,0$ м.

Решение. Порядок расчета в соответствии с решением, приведенным в задаче 1.13. Результаты вычислений записываем в табличной форме (табл. 1.2, б).

Таблица 1.2

Определение напряжений в насыпи однопутного участка

Точ ки	Расчетные напряжения													
	от поездной нагрузки и верх. строен. пути							от собств. веса			общие			
	p_j	y_i м	x_i м	b_j м	y_i/b_j	x_i/b_j	I_{ji}	p_j кПа	σ_{pi} кПа	h_i м	γ_i кН/м ³	$\sigma_{\gamma i}$ кПа	σ_{oi} кПа	
а) по оси пути														
0.	$R_{по}$	0,0	0,0	2,75	0,00	0,00	1,00	8 0	80,0					
	$R_{вс}$	0,0	0,0	4,30	0,00	0,00	1,00	1 5	15,0					
1.	R_0	0,0	0,0							0,0	19,0	0,0	95,0	
	$R_{п1}$	4,0	0,0	2,75	1,45	0,00	0,41	8 0	32,9					
2.	$R_{вс1}$	4,0	0,0	4,30	0,93	0,00	0,60	1 5	9,0					
	R_1	4,0	0,0						41,9	4,0	19,2	76,4	118,3	
3.	$R_{п2}$	8,0	0,0	2,75	2,31	0,00	0,22	8 0	17,6					
	$R_{вс2}$	8,0	0,0	4,30	1,86	0,00	0,36	1 5	5,4					
4.	R_2	8,0	0,0						22,0	8,0	19,4	155,2	177,2	
	$R_{п3}$	12,0	0,0	2,75	4,36	0,00	0,15	8 0	12,0					
5.	$R_{вс3}$	12,0	0,0	4,30	2,80	0,00	0,22	1 5	3,3					
	R_3	12,0	0,0						15,3	12,0	19,6	235,2	250,5	
6.	$R_{п4}$	16,0	0,0	2,75	5,80	0,00	0,13	8 0	10,4					
	$R_{вс4}$	16,0	0,0	4,30	3,72	0,00	0,18	1 5	2,7					
	R_4	16,0	0,0						13,1	16,0	19,8	316,8	329,9	
б) по вертикальному сечению (по бровке)														
0	$R_{по}$	0,0	3,0	2,75	0,0	1,09	0,00	8 0	0,0					
	$R_{всо}$	0,0	3,0	4,30	0,0	0,7	0,30	1 5	4,5					
1	R_0	0,0	3,0						4,5	0,0	18,4	0,0	4,5	
	R_1	4,0	3,0						20,2	4,0	19,0	76,0	96,2	
2	R_2	8,0	3,0						18,2	8,0	19,3	154,4	172,6	
	R_3	12,0	3,0						13,5	12,0	19,6	235,2	248,7	
3	R_4	16,0	3,0						10,8	16,0	19,8	316,8	327,6	
в) по горизонтальному сечению														
0	$R_{по}$	2,0	0,0	2,75	0,73	0,00	0,68	8 0	54,6					
	$R_{всо}$	2,0	0,0	4,30	0,44	0,00	0,85	1 5	12,8					
1'	R_0	2,0	0,0						67,4	2,0	19,0	38,0	105,4	
	R_1	2,0	3,0						16,5	2,0	18,8	37,6	54,1	
2'	R_2	2,0	6,0						1,7	0,0	18,4	0,0	1,7	

Пример 2. Определение напряжений в точках по горизонтали.

Исходные данные по примеру 1; $m = 1,5$; $y_i = 2,0$ м.

Выбираем точки по горизонтали: на оси пути $x_0 = 0,0$ м; $x_1 = 3,0$; на откосе $x_2 = 6,0$ м. Расчетная схема на рис. 1.14-1.

Решение. Порядок расчета в соответствии с решением, приведенным в задаче 1.13. Результаты вычисления записываем в табличной форме (табл. 1.2, в).

Пример 3. При исходных данных примера 1 выполнены (аналогично примерам 1, 2) расчеты напряжений от поездной нагрузки и верхнего строения пути по оси пути, оси междупутья, в вертикальном сечении (по бровке) и на горизонтальном уровне насыпи двухпутного участка.

Расчетные схемы и результирующие эпюры напряжений приведены на рис. 1.14-11.

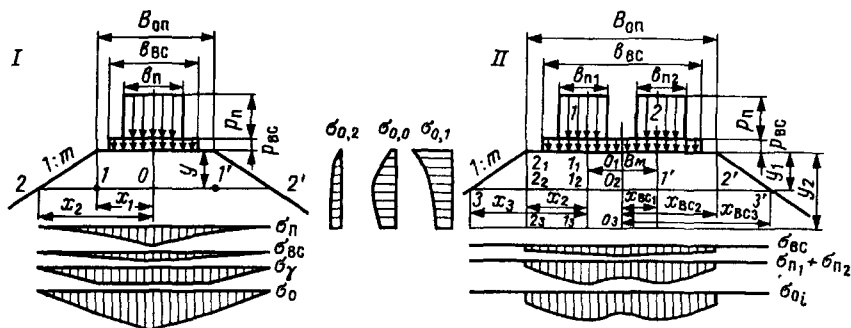


Рис. 1.14. Расчетные схемы для определения σ_i по горизонтали однопутной (I), двухпутной (II) насыпей

Задача 1.15. Определить напряженное состояние выемки.

Решение. В соответствии с расчетной схемой на рис. 1.15 напряжения в точках призмы грунта ($h_{пр}$) выше уровня дна кюветов (линии условного основания выемки) $\sigma = \sigma_{п} + \sigma_{вс} + \sigma_{\gamma}$; в точках ниже уровня дна кюветов $\sigma = \sigma_{п} + \sigma_{вс} + \sigma_{\gamma} + \Sigma\sigma_j$, где $\Sigma\sigma_j$ — напряжения от грунта насыпи в виде полосовых прямоугольных и треугольных j -х нагрузок.

При треугольной нагрузке напряжения на глубине y_i (уровне полупространства) вычисляются по формуле

$$\sigma_i = [p_j y_i / (\pi b_j)] \cdot [\sin^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2 - \text{tg} \beta_2 (\beta_1 + 0,5 \sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5 \sin 2\beta_2)] = I_{ji} p_j$$

$$\text{или } \sigma_i = p_j y_i (\sin^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2) - x_i (\beta_1 + 0,5 \sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5 \sin 2\beta_2) / (\pi b_j) = I_{ji} p_j$$

В формулах $p_j / b_j = \Delta p / \Delta b = i_m$ — интенсивность нарастания треугольной нагрузки.

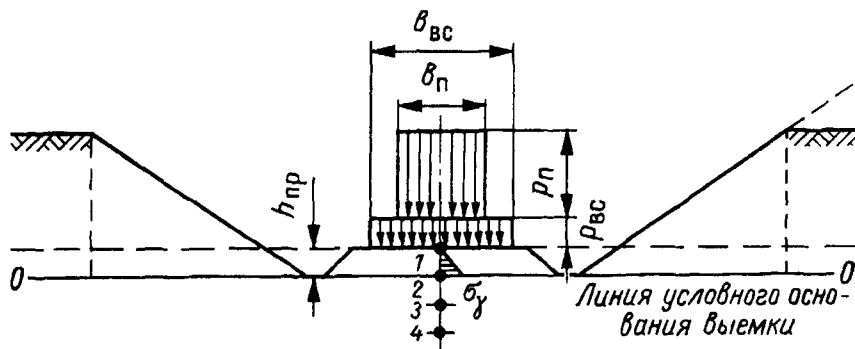


Рис. 1.15. Расчетная схема нагрузок в выемке

При нагрузках, уходящих в бесконечность (в одну сторону):

прямоугольной $\sigma_i = (p_j/\pi)(\pi/2 - \beta_2 - 0,5\sin 2\beta_2)$;

треугольной $\sigma_i = [p_j y_j / (\pi b_j)] \cdot [1 - \sin \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_2 (\pi/2 - \beta_2 - 0,5\sin 2\beta_2)]$.

Табулированные значения I_{ji} для прямоугольной нагрузки приведены в прил. 1.4, для треугольной в прил. 1.5.

Напряжение от j -ой нагрузки $\sigma_i = I_{ji} p_j$,

где интенсивность нагрузки $p_j = \gamma_r h_j$.

Напряжения от собственного веса грунта $\sigma_{\gamma_i} = \Sigma(\gamma_{срi} h_i)$.

Условное основание выемки может быть в уровне ОП (на рис. 1.15 показано пунктиром).

Задача 1.16. Определить напряжения в точках по оси выемки (выше уровня дна кюветов) в подбалластной зоне.

Дано: количество путей $n_{\text{п}}$; $h_{\text{пр}}$; γ_r ; тип верхнего строения пути; поездная (временная) нагрузка (тип локомотива).

Расчетная схема на рис. 1.15.

Решение. Определяется $p_{\text{п}} = \Sigma P_j / (l_{\text{жб}} b_{\text{п}})$; $p_{\text{вс}}$, $b_{\text{вс}}$ (по прил. 1.3)

Напряжения в точке 1 $\sigma_1 = p_{\text{п}} + p_{\text{вс}}$; в точке 2 $\sigma_2 = p_{\text{п}} + p_{\text{вс}} + \gamma_r h_{\text{пр}}$.

Пример. Дано: $n_{\text{п}} = 1$; $h_{\text{пр}} = 0,6$ м; $\gamma_r = 20,6$ кН/м³; верхнее строение тяжелого типа, шпалы деревянные, локомотив ВЛ8.

Решение. $\Sigma P_j = 460$ кН; $l_{\text{жб}} = 3,2$ м; $b_{\text{п}} = 2,75$ м.

$p_{\text{п}} = 460 / (3,2 \cdot 2,75) = 52,3$ кПа; $p_{\text{вс}} = 16,0$ м (прил. 1.3).

Тогда $\sigma_1 = 52,3 + 16,0 = 68,3$ кПа; $\sigma_2 = 68,3 + 20,6 \cdot 0,6 = 80,6$ кПа.

Задача 1.17. Определить напряжения в земляном полотне по оси выемки.

Пример. Дано: $H_{\text{в}} = 11,8$ м; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; количество путей $n_{\text{п}} = 1$; грунт — суглинок легкий, $\gamma_r = 20,6$ кН/м³; локомотив — электровоз ВЛ8; верхнее строение тяжелого типа.

Расчетная схема на рис 1.16.

Поперечный профиль выемки разбиваем на элементарные (прямоугольные, треугольные) фигуры-нагрузки.

Для каждой нагрузки определяем h_j , x_j , b_j :

$h_3 = h_4 = 14,2$; $h_5 = h_6 = 7,8$ м;

$b_1 = b_{\text{п}} = 2,75$; $b_2 = B_{\text{оп}} = 6,0$; $b_3 = 21,3$; $b_5 = 11,7$; $b_4 = b_6 = 30,0$ м (∞);

$x_1 = x_2 = 0,0$; $x_3 = x_5 = 4,3$; $x_4 = 25,6 + 15,0 = 40,6$; $x_6 = 31,0$ м.

Принимаем $y_0 = 0,0$; $y_1 = 1,0$; $y_2 = 3,0$; $y_3 = 6,0$; $y_4 = 10,0$ м.

Решение. $p_1 = p_{\text{п}} = 52,3$ кПа (по примеру задачи 1.16).

$p_{\text{вс}} = 16,0$ кПа; $b_{\text{вс}} = 4,6$ м (прил. 1.3);

$p_2 = (16,0 \cdot 4,6 + 20,6 \cdot 0,6 \cdot 6,9) / 6,0 = 26,48$ кПа;

$p_3 = p_4 = 20,6 \cdot 14,2 = 292,52$ кПа;

$p_5 = p_6 = 20,6 \cdot 7,8 = 160,68$ кПа.

Все нагрузки принимаются приложенными в уровне линии условного основания выемки. Для нагрузок, уходящих в бесконечность, приняты большими b_j ($\geq 30,0$ м).

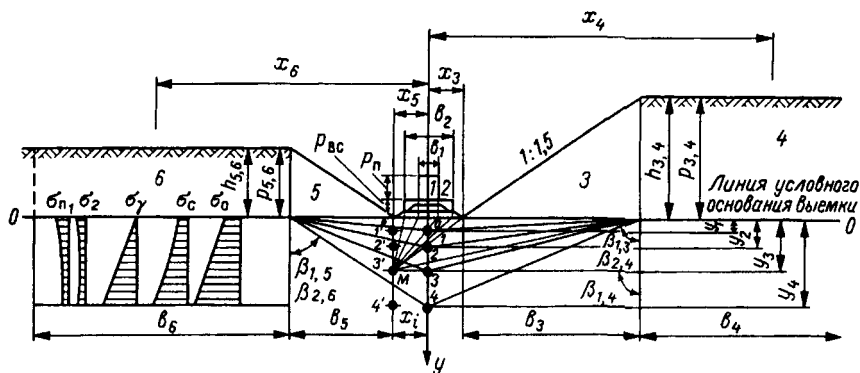


Рис. 1.16. Расчетная схема для определения напряжений в выемке

По известным x_j , b_j , y_i , p_j определяем $I_{ji} = f(x_j/b_j; y_i/b_j)$, а затем $\sigma_j = I_{ji} p_j$; $\Sigma \sigma_j$; $\sigma_{\gamma i} = \gamma_{\Gamma} y_i$; $\sigma_0 = \Sigma \sigma_j + \Sigma \sigma_{\gamma i}$.

Напряжения от собственного веса грунта

$$\sigma_{\gamma 1} = 20,6 \cdot 1,0 = 20,6 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{\gamma 2} = 20,6 \cdot 3,0 = 61,8 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{\gamma 3} = 20,6 \cdot 6,0 = 123,6 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{\gamma 4} = 20,6 \cdot 10,0 = 206,0 \text{ кПа}.$$

Результаты расчетов записываем в табличной форме (табл. 1.3)

Задача 1.18. Определить напряжения в точке $M(x_i, y_i)$ в подбалластной зоне выемки.

Расчетная схема на рис. 1.16.

Решение. $\sigma_M = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6 + \sigma_{\gamma}$;

$$\sigma_{1,2} = 0,318 p_{1,2} (\beta_1 + 0,5 \sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5 \sin 2\beta_2);$$

$$\sigma_3 = 0,318 y_i (p_3/b_3) [\sin^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_2 (\beta_1 + 0,5 \sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5 \sin 2\beta_2)];$$

$$\sigma_4 = 0,318 p_4 (0,5\pi - \beta_2 - 0,5 \sin 2\beta_2);$$

$$\sigma_5 = 0,318 y_i (p_5/b_5) [\sin^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_2 (\beta_1 - 0,5 \sin 2\beta_1 + \beta_2 + 0,5 \sin 2\beta_2)];$$

$$\sigma_6 = 0,318 p_6 (0,5\pi - \beta_1 - 0,5 \sin 2\beta_1).$$

Пример. Исходные данные по задаче 1.16.

Расчетная схема на рис. 1.16. Точка $M(-3,9; 6,0) - 3'$.

Решение. $\beta_{11} = \operatorname{arctg}(5,25/6,0) = 0,719$; $\beta_{21} = \operatorname{arctg}(2,55/6,0) = 0,425$;

$$\sigma_1 = 0,318 \cdot 52,3 (0,719 + 0,5 \cdot 0,991 - 0,401 - 0,5 \cdot 0,719) = 7,60 \text{ кПа};$$

$$\beta_{12} = \operatorname{arctg}(6,9/6,0) = 0,855; \quad \beta_{22} = \operatorname{arctg}(0,9/6,0) = 0,149;$$

$$\sigma_2 = 0,318 \cdot 26,5 (0,855 + 0,5 \cdot 0,990 - 0,149 - 0,5 \cdot 0,294) = 8,88 \text{ кПа};$$

$$\beta_{13} = \operatorname{arctg}(29,5/6,0) = 1,370; \quad \beta_{23} = \operatorname{arctg}(8,2/6,0) = 0,939;$$

$$\sigma_3 = 0,318 \cdot 6,0 (292,5/21,30) [0,960 - 0,651 - 1,36 (1,37 + 0,5 \cdot 0,390 - 0,939 - 0,5 \cdot 0,953)] = 2,77 \text{ кПа};$$

$$\beta_{14} = \pi/2; \quad \beta_{24} = \operatorname{arctg}(29,1/6,0) = 1,367;$$

$$\sigma_4 = 0,318 \cdot 292,5 (1,57 - 1,367 - 0,5 \cdot 0,396) = 5,58 \text{ кПа};$$

Таблица 1.3

Определение напряжений по оси выемки однопутного участка

Точки по оси выемки	Расчетные величины	Значения расчетных величин для нагрузок						Напряжение, кПа		
		1	2	3	4	5	6	$\Sigma\sigma_j$	$\sigma_{\gamma i}$	σ_{oi}
$\frac{N_T}{y_{iM}}$	h_j , м	0,00	0,60	14,20	14,20	7,80	7,80			
	p_j , кПа	52,30	26,48	292,52	292,52	160,68	160,68			
	x_j , м	0,00	0,00	-4,30	40,60	-4,30	31,00			
	b_j , м	2,75	6,00	21,30	30,00	11,70	30,00			
	x_j/b_j	0,00	0,00	-0,20	1,35	-0,37	1,03			
$\frac{0}{0,0}$	y_0/b_j	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	I_{j0}	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	σ_{j0} , кПа	52,30	26,48	0,00	0,00	0,00	0,00	78,78	0,00	78,78
$\frac{1}{1,0}$	y_1/b_j	0,36	0,17	0,05	0,03	0,09	0,03			
	I_{j1}	0,900	0,986	0,009	0,000	0,010	0,000			
	σ_{j1} , кПа	47,09	26,11	2,63	0,00	1,61	0,00	77,44	20,60	98,04
$\frac{2}{3,0}$	y_2/b_j	1,09	0,50	0,14	0,10	0,26	0,10			
	I_{j2}	0,514	0,822	0,025	0,002	0,028	0,003			
	σ_{j2} , кПа	26,88	21,77	7,31	0,58	4,66	0,45	61,65	61,80	123,45
$\frac{3}{6,0}$	y_3/b_j	2,18	1,00	0,28	0,20	0,51	0,19			
	I_{j3}	0,283	0,540	0,050	0,004	0,052	0,012			
	σ_{j3} , кПа	14,80	14,30	14,63	1,23	8,36	1,93	55,25	123,60	178,85
$\frac{4}{10,0}$	y_4/b_j	3,64	1,67	0,47	0,33	0,85	0,33			
	I_{j4}	0,178	0,366	0,080	0,015	0,087	0,037			
	σ_{j4} , кПа	9,41	9,69	23,40	4,39	13,98	5,95	66,82	206,00	272,82

Примечание. $b_{4,6} \rightarrow \infty$, приняты равными большой величине ($b_{4,6} \geq 30,0$ м).

$$\beta_{15} = \text{arctg}(11,7/6,0) = 1,097; \quad \beta_{25} = 0,0^\circ;$$

$$\sigma_5 = 0,318 \cdot 6,0(160,7/11,70)(0,792 - 0,000) = 20,76 \text{ кПа};$$

$$\beta_{16} = \pi/2; \quad \beta_{26} = \beta_{15};$$

$$\sigma_6 = 0,318 \cdot 160,7(1,57 - 1,097 - 0,406) = 3,47 \text{ кПа}.$$

Напряжения от собственного веса грунта $\sigma_\gamma = 20,6 \cdot 6,0 = 123,6$ кПа.

Общее (полное) напряжение в точке M выемки

$$\sigma_3' = 7,60 + 8,88 + 2,77 + 5,58 + 20,76 + 3,47 + 123,60 = 172,66 \text{ кПа}.$$

Задача 1.19. Составить расчетные схемы для определения напряжений в земляном полотне от верхнего строения пути σ_{vci} и от поездной нагрузки σ_{pi} для аналитических расчетов по формулам

— на однопутных участках с угловыми координатами точек $M_i(\beta_1, \beta_2)$ от оси пути, оси междупутья, на расстоянии $x_i = B_{оп}/2$ от оси пути;

для аналитических расчетов по табулированным значениям удельных напряжений I_{ji} (прил. 1.4)

— на однопутных участках при расположении точек M_i на осевом сечении и на расстоянии $x_i = B_{\text{оп}}/2$ от оси пути;

— на двухпутных участках при расположении точек M_i по оси пути, оси междупутья, на расстоянии $x_i = B_{\text{оп}}/2$ от оси пути.

Решение. Расчетные нагрузки: поездную и верхнего строения пути принимаем полосовыми прямоугольными соответственно показанным на рис. 1.9. По заданным условиям составляем расчетные схемы, которые приведены в таблицах:

1.4. — для определения напряжений $\sigma_{\text{п}i}$, $\sigma_{\text{вс}i}$ в точках M_i от нагрузок $p_{\text{п}i}$, $p_{\text{вс}i}$ на однопутном участке по формулам и табличным значениям удельных напряжений $I_{ji}(x_i/b_j, y_i/b_j)$;

1.5. — для определения напряжений $\sigma_{\text{п}i}$, $\sigma_{\text{вс}i}$ в точках M_i от нагрузок $p_{\text{п}i}$, $p_{\text{вс}i}$ на двухпутном участке по табличным значениям удельных напряжений $I_{ji}(x_i/b_j, y_i/b_j)$.

Задача 1.20 Определить напряжения в точках поперечного профиля насыпи.

Решение. Расчеты напряжений выполняются с использованием ЭТ, которые обладают универсальными возможностями аналитического расчета напряжений, исключая необходимость пользования вспомогательными таблицами и графиками (паллиативными средствами).

Пример. Расчет напряжений в насыпи, например, по программе ЭТ — NAPP.

Напряжения в любом сечении и уровне определяются по методике аналитических вычислений в задачах 1.11, 1.18 и расчетных схем в табл. 1.6 (по угловым координатам точек).

Структура ЭТ (табл. 1.7-1). Блок исходной информации (в верхней части ЭТ) содержит размерные параметры насыпи: H_n , $B_{\text{оп}}$, B_m ; параметры нагрузок: $p_{\text{п}1}$, $b_{\text{п}1}$, $p_{\text{п}2}$, $b_{\text{п}2}$, $p_{\text{вс}}$, $b_{\text{вс}}$; грунта: γ_r ; управляющие параметры: координату сечения x_i и количество точек N_i по сечению.

В расчетном блоке в столбцах А и В указываются координаты точек. Расчетные параметры для каждой точки размещаются в двух строках: в первой вычисляются координатные углы β_1 и β_2 , для всех полосовых нагрузок $p_{\text{п}1i}$, $p_{\text{п}2i}$, $p_{\text{вс}i}$, во второй вычисляются напряжения от всех j -х нагрузок $\sigma_{\text{п}1i}$, $\sigma_{\text{п}2i}$, $\sigma_{\text{вс}i}$, $\sigma_{\gamma i}$ и общие σ_{oi} в i -ой точке. Структурные обозначения параметров даны в строках 13 и 15.

Вычислительные формулы размещаются в ячейках таблицы, на экране дисплея отображаются результаты вычислений по формулам.

Фрагмент содержимого ЭТ (блок A11:H17) приведен в табл. 1.7-2

При использовании ЭТ, перемещая курсор в ячейках блока исходной информации, следует ввести соответствующие исходные данные и дать команду на вычисление (например, F7). Результат на экране появится немедленно.

Изменяя координату x_i и количество точек N_i по этому сечению можно с любой полнотой получить показатели напряженного состояния от всех нагрузок в ПП насыпи.

Таблица 1.4

Определение напряжений $\sigma_{\Pi i}$, $\sigma_{BC i}$ в точках $M_i(\beta_1, \beta_2)$, $M_i(x_i, y_i)$ на однопутном участке по угловым координатам и $I_{ji}(x_i/b_j; y_i/l_j)$

	$\beta_1, \beta_2, I_{\Pi}, I_{BC}$	σ_i
	$\beta_1 = \arctg \frac{b_{BC}}{2y_1}$ $\beta_2 = -\arctg \frac{b_{BC}}{2y_1}$	σ_{BC1}
	$\beta_1 = -\arctg \frac{2x_2 - b_{\Pi}}{2y_2}$ $\beta_2 = -\arctg \frac{2x_2 + b_{\Pi}}{2y_2}$	$\sigma_{\Pi 2}$
	$\beta_1 = -\arctg \frac{2x_2 - b_{BC}}{2y_2}$ $\beta_2 = -\arctg \frac{2x_2 + b_{BC}}{2y_2}$	σ_{BC2}
	$x_{\Pi} = 0$ $I_{\Pi} = f\left(\frac{0}{b_{\Pi}}; \frac{y_1}{b_{\Pi}}\right)$	$\sigma_{\Pi 1} = p_{\Pi} I_{\Pi}$
	$x_{BC} = 0$ $I_{BC} = f\left(\frac{0}{b_{BC}}; \frac{y_1}{b_{BC}}\right)$	$\sigma_{BC1} = p_{BC} I_{BC}$
	$x_2 = B_{\text{он}}/2$ $I_{\Pi} = f\left(\frac{x_2}{b_{\Pi}}; \frac{y_2}{b_{\Pi}}\right)$	$\sigma_{\Pi 2} = p_{\Pi} I_{\Pi}$
	$x_2 = B_{\text{он}}/2$ $I_{BC} = f\left(\frac{x_2}{b_{BC}}; \frac{y_2}{b_{BC}}\right)$	$\sigma_{BC2} = p_{BC} I_{BC}$

Таблица 1.5

Определение напряжений $\sigma_{\text{пн}}$, $\sigma_{\text{вс}i}$ в точках $M_i(x_i, y_i)$
на двухпутном участке по $I_{ji}(x_i/b_j; y_i/b_j)$

	I_{ji} $x'_{\text{пн}1} = 0$ $I'_{\text{пн}1} = f\left(\frac{0}{b_{\text{п}}}; \frac{y_1}{b_{\text{п}}}\right)$	σ_i $\sigma'_{\text{пн}1} = p_{\text{п}} I'_{\text{пн}1}$
	$x''_{\text{пн}1} = B_M$ $I''_{\text{пн}1} = f\left(\frac{x_1}{b_{\text{п}}}; \frac{y_1}{b_{\text{п}}}\right)$	$\sigma''_{\text{пн}1} = p_{\text{п}} I''_{\text{пн}1}$
	$x_{\text{вс}1} = \frac{B_M}{2}$ $I_{\text{вс}1} = f\left(\frac{x_{\text{вс}}}{b_{\text{вс}}}; \frac{y_1}{b_{\text{вс}}}\right)$	$\sigma_{\text{вс}1} = p_{\text{вс}} I_{\text{вс}1}$
	$x_{\text{пн}1} = x_{\text{пн}2} = \frac{B_M}{2}$ $I'_{\text{пн}2} = f\left(\frac{x_1}{b_{\text{п}}}; \frac{y_2}{b_{\text{п}}}\right)$	$\sigma'_{\text{пн}2} = p_{\text{п}} I'_{\text{пн}2}$ $\sigma''_{\text{пн}2} = \sigma'_{\text{пн}2}$
	$x_{\text{вс}} = 0$ $I_{\text{вс}2} = f\left(\frac{0}{b_{\text{вс}}}; \frac{y_2}{b_{\text{вс}}}\right)$	$\sigma_{\text{вс}2} = p_{\text{вс}} I_{\text{вс}2}$
	$x_{\text{пн}1} = B_{\text{оп}} / 2$ $I'_{\text{пн}3} = f\left(\frac{x_{\text{пн}1}}{b_{\text{п}}}; \frac{y_3}{b_3}\right)$	$\sigma'_{\text{пн}3} = p_{\text{вс}} I'_{\text{вс}2}$
	$x_{\text{пн}2} = x_{\text{пн}1} + B_M$ $I''_{\text{пн}2} = f\left(\frac{x_{\text{пн}2}}{b_{\text{п}}}; \frac{y_3}{b_{\text{п}}}\right)$	$\sigma''_{\text{пн}3} = p_{\text{п}} I''_{\text{пн}3}$
	$x_{\text{вс}} = x_{\text{пн}1} + \frac{B_M}{2}$ $I_{\text{вс}3} = f\left(\frac{x_{\text{вс}}}{b_{\text{вс}}}; \frac{y_3}{b_{\text{вс}}}\right)$	$\sigma_{\text{вс}3} = p_{\text{вс}} I_{\text{вс}3}$

Таблица 1.6

Определение напряжений $\sigma_{\text{пi}}$, $\sigma_{\text{всi}}$ в точках $M_i(x_i, y_i)$ на двухпутном участке (по угловым координатам точек)

1	Углы β_1, β_2	σ_i
2	$\beta_1 = \arctg \frac{b_{\text{п}}}{2y_i}$ $\beta_2 = -\arctg \frac{b_{\text{п}}}{2y_i}$	$\sigma'_{\text{п1}}$
3	$\beta_1 = \arctg \frac{2B_{\text{М}} - b_{\text{п}}}{2y_i}$ $\beta_2 = \arctg \frac{2B_{\text{М}} + b_{\text{п}}}{2y_i}$	$\sigma''_{\text{п1}}$
4	$\beta_1 = \arctg \frac{b_{\text{вс}} - B_{\text{М}}}{2y_i}$ $\beta_2 = -\arctg \frac{b_{\text{вс}} + B_{\text{М}}}{2y_i}$	$\sigma_{\text{вс1}}$
5	$\beta_1 = \arctg \frac{B_{\text{М}} + b_{\text{п}}}{2y_i}$ $\beta_2 = \arctg \frac{B_{\text{М}}}{2y_i}$	$\sigma''_{\text{п2}}$
6	$\beta_1 = \arctg \frac{b_{\text{вс}}}{2y_i}$ $\beta_2 = -\arctg \frac{b_{\text{вс}}}{2y_i}$	$\sigma_{\text{вс2}}$
7	$\beta_1 = \arctg \frac{2x_i + b_{\text{п}}}{2y_i}$ $\beta_2 = \arctg \frac{2x_i - b_{\text{п}}}{2y_i}$	$\sigma'_{\text{п3}}$
8	$\beta_1 = \arctg \frac{2x_i + 2B_{\text{М}} + b_{\text{п}}}{2y_i}$ $\beta_2 = \arctg \frac{2x_i + 2B_{\text{М}} - b_{\text{п}}}{2y_i}$	$\sigma''_{\text{п3}}$
9	$\beta_1 = \arctg \frac{2x_i + B_{\text{М}} + b_{\text{вс}}}{2y_i}$ $\beta_2 = \arctg \frac{2x_i + B_{\text{М}} - b_{\text{вс}}}{2y_i}$	$\sigma_{\text{вс3}}$

Задача 1.21. Определить напряжения от поездной динамической нагрузки на основной площадке земляного полотна.

Решение. На основной площадке напряжения определяются средние из наибольших от совокупного максимального воздействия всех колес расчетного поезда. Учитывается влияние на несущую способность грунтов в большей степени амплитуды колебаний грунта и времени их действия (и в меньшей степени частота колебаний) [67, 121].

Напряжения $\sigma_{оп}$ определяются под расчетной шпалой $\sigma'_{оп}$ с учетом давлений, передаваемых двумя соседними шпалами $\sigma'_{опс} + \sigma''_{опс}$

$$\sigma_{оп} = \sigma'_{оп} + \sigma'_{опс} + \sigma''_{опс}$$

Под расчетной шпалой криволинейная эпюра давления на балласт заменяется эквивалентной, состоящей из прямоугольной и двух треугольных, под соседними шпалами принимается прямоугольной. Расчетная схема при воздействии на путь двухосной тележки четырехосного вагона приведена на рис. 1.17.

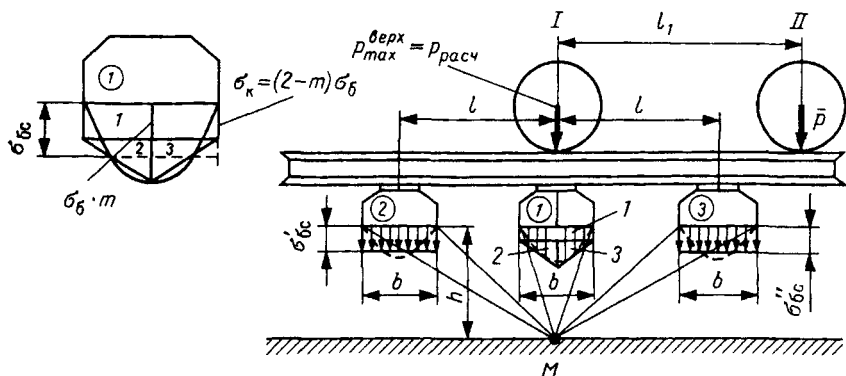


Рис. 1.17. Схема передачи нагрузок колес на балласт и ОП при воздействии двухосной тележки

Нормальные сжимающие напряжения от элементарных фигур для случая плоской задачи линейно деформируемых тел определяется по формулам: для полосовой прямоугольной нагрузки

$$\sigma_{пр} = p(\beta_1 + 0,5\sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5\sin 2\beta_2)/\pi = pA_{пр}/\pi;$$

для полосовой треугольной нагрузки

$$\sigma_{тр} = py(\sin^2\beta_1 - \sin^2\beta_2 - \text{tg}\beta_2 A_{пр})/(\pi b_{ш}).$$

Здесь β_i — углы, образованные лучами к расчетной точке и вертикалями, ограничивающими полосовые нагрузки (рис. 1.18).

Таблица 1.7-1

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ В НАСЫПИ — программа NAPRN — ЭТ								
2	Исходные данные: H_n, B_j, a_i, b_j в м; p_j в кПа; γ_i в кН/м ³ .								
3	-----								
4	Исходные данные: H_n, B_j, a_i, b_j в м; p_j в кПа; γ_i в кН/м ³ .								
5	-----								
6	В.нас. H_n	Ш.мп. B_M	Ин.пн. p_1	Ш.пн. b_1	Ин.пн. p_2	Ш.пн. b_2	$B_{оп}/2$		
7	15.80	6.50	4.10	80.00	2.75	70.00	2.75	5.30	
8	Ин.вс. $p_{вс}$	Ш.вс. $b_{вс}$	Сечение x_i , м =		Колич.тч. N =		Уд.в. $\gamma_{нi}$		
9	16	4.6	2.05		10		18.70		
10	-----								
11	Расчетные параметры: углы β_i в рад., напряжения σ_i в кПа								
12	Коорд-ты сечения, м								
13	Коорд. x_i	Коорд. y_i	$\beta_{п11i}$	$\beta_{п12i}$	$\beta_{п21i}$	$\beta_{п22i}$	$\beta_{вс1i}$	$\beta_{вс2i}$	
14	2.05	.01	1.56	-1.56	1.57	1.57	1.57	-1.53	
15	Точки	$\sigma_{п1i} =$		$\sigma_{п2i} =$	$\sigma_{вс1i} =$	$\sigma_{\gamma i} =$	$\sigma_{oi} =$		
16	1	80.00		.00	16.00	.19	Напряж.	96.19	
17	-----								
18	2.05	1.76	.66	-.66	1.26	1.00	1.19	-.14	
19	2	58.44		2.20	9.24	33.00	Напряж.	102.83	
20	-----								
21	2.05	3.32	.39	-.39	1.03	.69	.92	-.08	
22	3	37.97		6.50	7.90	62.16	Напряж.	114.52	
23	-----								
24	2.05	5.08	.26	-.26	.82	.49	.71	-.05	
25	4	26.31		9.19	6.62	94.97	Напряж.	137.09	
26	-----								
27	2.05	6.83	.20	-.20	.68	.38	.57	-.04	
28	5	19.96		9.80	5.57	127.77	Напряж.	163.11	
29	-----								
30	2.05	8.59	.16	-.16	.57	.31	.47	-.03	
31	6	16.04		9.48	4.74	160.58	Напряж.	190.83	
32	-----								
33	2.05	10.34	.13	-.13	.49	.26	.40	-.02	
34	7	13.39		8.83	4.09	193.39	Напряж.	219.70	
35	-----								
36	2.05	12.10	.11	-.11	.43	.22	.35	-.02	
37	8	11.48		10.04	1.86	226.20	Напряж.	249.58	
38	-----								
39	2.05	13.85	.10	-.10	.38	.19	.30	-.02	
40	9	10.05		8.79	1.70	259.01	Напряж.	279.55	
41	-----								
42	2.05	15.61	.09	-.09	.34	.17	.27	-.02	
43	10	8.93		7.81	1.57	291.81	Напряж.	310.12	
44	-----								

Таблица 1.7-2

Содержимое ячеек программы ЭТ — NAPRN (блок A11:H17)

A11	=	"Расчетные параметры: углы β_i в рад., напряжения σ_{ij} кПа
A12	=	"Коорд-ты сечения, м
C12	=	"-----
A13	=	" Коорд. x_i
B13	=	" Коорд. y_i
C13	=	" β_{n11i} =
D13	=	" β_{n12i} =
E13	=	" β_{n21i} =
F13	=	" β_{n22i} =
G13	=	" $\beta_{вс1i}$ =
H13	=	" $\beta_{вс2i}$ =
A14	=	IF(I8="(---"),(---"),C9)
B14	=	IF(C9="(---"),(---"),IF(C9>(H7+19.5),(12+(C9-H7-19.5)/2),IF(C9>(H7+9), (9+(C9-H7-9)/1.75),IF(C9>H7,(C9-H7)/1.5)))
C14	=	IF(C9="(---"),(---"),ATAN((A14-C7/2+E7/2)/B14))
D14	=	IF(C9="(---"),(---"),ATAN((A14-C7/2-E7/2)/B14))
E14	=	IF(C9="(---"),(---"),ATAN((A14+C7/2+G7/2)/B14))
F14	=	IF(C9="(---"),(---"),ATAN((A14+C7/2-G7/2)/B14))
G14	=	IF(C9="(---"),(---"),ATAN((A14+B9/2)/B14))
H14	=	IF(C9="(---"),(---"),ATAN((A14-B9/2)/B14))
A15	=	"Точки
C15	=	" σ_{n1i} =
D15	=	" σ_{ny2i} =
E15	=	" $\sigma_{всi}$ =
F15	=	" σ_{yi} =
H15	=	" σ_{oi} =
A16	=	1
C16	=	IF(B14="(---"),(---"),D7 * (C14+.5 * SIN(2 * C14)-D14-.5 * SIN(2 * D14))/PI)
D16	=	IF(B14="(---"),(---"),F7 * (E14+.5 * SIN(2 * E14)-F14-.5 * SIN(2 * F14))/PI)
E16	=	IF(B14="(---"),(---"),A9 * (G14+.5 * SIN(2 * G14)-H14-.5 * SIN(2 * H14))/PI)
F16	=	IF(B14="(---"),(---"),IF(B14=.1,G9 * B14,G9 * .01))
G16	=	"Напряж.
H16	=	IF(B14="(---"),(---"),C16+D16+E16+F16)
A17	=	"-----

Расчетные формулы после преобразований

$$\sigma_{оп} = r_1 [0,635 m_{кн} C_1 + (2 - m_{кн}) 1,275 C_2] \sigma_{бп},$$

где r_1 — параметр, учитывающий влияние материала шпал (0,8 — при деревянных шпалах, 0,7 — при железобетонных),
 $m_{кн} = 0,89 / (0,435 + \sigma_{бп})$ — коэффициент концентрации напряжений ($2 > m_{кн} > 1$);
 $\sigma_{бп}$ — наиболее вероятное давление шпалы l на балласт в подрельсовом сечении: $\sigma_{бп} = \sigma_{пср} + 2,5 \sigma_{п}$ ($\sigma_{п}$ — среднеквадратическое отклонение давления шпалы l на балласт от воздействия всех осей поезда);

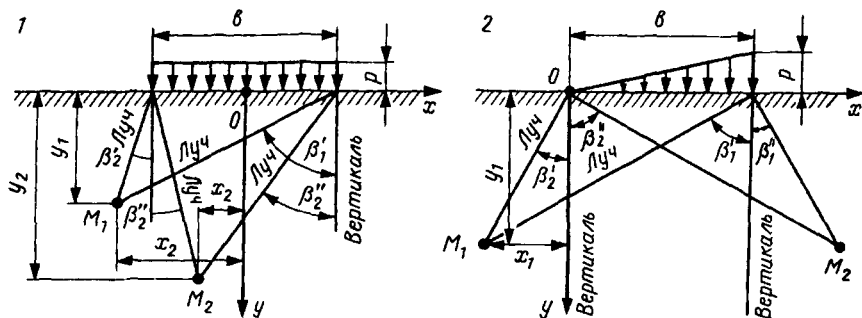


Рис 18 Схемы определения углов β_1 и β_2 при полосовых (1) и треугольной (2) нагрузках M_1 и M_2 — расчетные точки, в которых определяются напряжения, x_1, y_1 — координаты этих точек

$$C_1 = b_{ш}/(26b) - b_{ш}^3/(246b^3), \quad C_2 = b_{ш}b_6/(b_{ш}^2 + 46b^2),$$

где $b_{ш}$ — ширина нижней постели шпал, b_6 — толщина балласта под шпалой;

$$\sigma'_{опс} = r_1 A_{пр} \sigma'_{бпс} / \pi; \quad \sigma''_{опс} = r_1 A_{пр} \sigma''_{бпс} / \pi,$$

где $\sigma'_{бпс}$, $\sigma''_{бпс}$ — средние взвешенные из наиболее вероятных давлений шпал 2 и 3 от воздействия всех осей расчетного поезда.

При определении напряжений на ОП земляного полотна от воздействия наиболее массового грузового вагона, обращающегося на участке, вместо $\sigma_{бп}$, $\sigma'_{бпс}$, $\sigma''_{бпс}$ достаточно принимать σ_6 , $\sigma'_{бс}$, $\sigma''_{бс}$ — напряжения в балласте в подрельсовом сечении соответственно под шпалами 1, 2, 3 от воздействия двух-трех-четырёхосных тележек вагонов.

Допустимые напряжения (от колесной пары четырехосного вагона) на рельсы 240 МПа, на ОП земляного полотна 0,08 МПа.

Пример. При расчете железнодорожного пути на прочность и земляного полотна (несущей способности) определить напряжения на ОП ОЗП от воздействия четырехосных вагонов. Расчет выполняем на ПК, например, по программе РГУПС (РИИЖТ).

Вводим исходные данные. Параметры пути: тип верхнего строения — тяжелый, рельсы Р-65, шпалы железобетонные, 1840 шт./км, балласт щебеночный. Параметры экипажа: четырехосные вагоны на тележках ЦНИИ-ХЗ-0, количество осей 2, расстояние между осями колесных пар 1,85 м, диаметр колес 0,95 м, статическая нагрузка колеса на рельс 105 кН, вес необрессоренной массы 9,95 кН, жесткость рессорного комплекта, другие характеристики пути и подвижного состава, необходимые для расчета пути на прочность.

Напряжения в рельсах, шпалах, балластном слое и на основной площадке ОЗП определены для условий прямого участка пути при скоростях движения поездов 40, 60, 80, 100 км/ч. Результаты расчета приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Результаты расчета напряжений в элементах железнодорожного пути

Напряжения в элементах пути	Значения напряжений, МПа при скоростях движения поездов, км/ч			
	40	60	80	100
В рельсах (кромочные)	63,988	68,528	74,349	81,667
На шпалах	0,867	0,927	1,004	1,100
В балласте	0,173	0,185	0,200	0,220
На основной площадке	0,036	0,038	0,042	0,046

1.2. Информационный анализ, программные средства

1.2.1. Общие принципы

При расчетах и проектировании земляного полотна необходимо решение многопараметрических задач с оценками результатов по многим критериям. В соответствии со всеми техническими и экономическими условиями решение таких задач должно быть оптимальным (наилучшим в смысле *extr*) Вместе с тем параметры среды функционирования имеют случайный характер. Поэтому практически существует необходимость решения оптимизационных задач в условиях неопределенности.

Созданию надежной информационной основы при оценках состояния грунтовой среды, параметров ПКС, критериев качества ОЗП способствуют вероятностный подход, статистический анализ; установление параметрических зависимостей и причинно-следственных отношений; прогнозные оценки изменчивости существенных переменных ПКС, ОЗП.

Поэтому необходимы статистические оценки вариационных рядов исходных данных (генеральной совокупности или выборки) с определением средних, дисперсий, среднеквадратических отклонений и других статистик. Для определения *extr* значений неблагоприятных параметров необходимо устанавливать их зависимости от наблюдаемых средних. Такие зависимости для двух (бинарные) или нескольких (множественные) переменных устанавли-

ливаются методами корреляционного, регрессионного анализа в виде уравнений регрессий линейных, нелинейных с оценками адекватности по статистическим критериям, методами дисперсионного анализа [51, 92].

Поскольку деформации ОЗП связаны с экстремальными значениями параметров ПКС, необходимо определение этих параметров при высокой доверительной вероятности. Такие прогнозные определения можно выполнить расчетами и построением аналитических (вероятностных) кривых обеспеченности [76, 97].

Производственные ситуации при сооружении, содержании, ремонтах земляного полотна характеризуются случайной изменчивостью условий, ситуаций, обстановки. Поэтому при планировании, проектировании организации работ, оперативном управлении для оптимальных технических решений нужны вероятностная основа, математические, имитационные модели.

При формировании механизированных комплексов, в частности с транспортными средствами, с очередями на обслуживание уместно использовать математический аппарат системы массового обслуживания (СМО). При этом входящий поток принимается простейшим (Пуассоновским), который характеризуется свойствами стационарности, отсутствием последействия, ординарности. При решении оптимизационных задач по модели СМО при одном или нескольких каналах обслуживания определяются параметры очередей, простоев, технические и экономические показатели [37, 123].

При решении многовариантных задач распределения земляных масс, карьеров, распределения машин следует пользоваться экономико-математическими методами, в частности, линейного программирования. Наиболее эффективно применение моделей транспортной задачи с оптимизацией опорного плана распределения ресурсов методом потенциалов [30, 48, 112].

При моделировании производственного процесса в виде сетевого графика (графа) необходимы варианты вероятностной оценки его параметров, критического пути. Целесообразно использование методов усреднения, статистических испытаний (Монте-Карло), интеграла вероятности (Лапласа), которые позволяют оценить надежность графика, выявить резервы времени и материальных ресурсов, прогнозировать сроки завершения работ. Достоверность определения технического состояния ОЗП повышается при использовании экспертных оценок (в перспективе экспертных систем) [37].

При решении инженерных задач широко используются микрокалькуляторы, в том числе программные [2, 43]. Поскольку информационные технологии решения многих задач по земляному полотну связаны с табличными формами расчетов, то универсальным средством для автоматизации таких расчетов на ПК могут служить электронные таблицы, табличные процессоры, в частности, программные комплексы Excel, SuperCalc и др. В последующих разделах приводятся примеры ЭТ для расчета напряжений (NAPR), плотности грунта насыпи (PLOT), осадок насыпи (OSADKI), устойчивости откосов (USTOI), оснований насыпей (USTOS), водоотводов (WODOT), формирования механизированного комплекса (MKOM) и др.

Задачи проектирования и управления в значительной степени сводятся к задачам оптимизации, которые позволяют из всех возможных (допустимых) получить наилучшее техническое решение. Такие решения предусматривают определение оптимальных структур и размерных параметров ОЗП, обеспечивающих необходимый уровень критериев стабильности при минимальных расходах ресурсов.

Известны детерминированные методы оптимизации (прямые, градиентные и др.), стохастические и другие. Вместе с тем для решения задач нелинейной оптимизации универсального способа не существует. Для разных классов задач в соответствии с физической сущностью и методологическими подходами разрабатываются и применяются различные алгоритмы эффективного поиска оптимальных решений [83].

Рассмотрены алгоритмы направленного поиска \min унимодальных (одна мода) нелинейных (выпуклых) функций на принципах прямых методов (нулевого цикла), реализующих итеративную поисковую оптимизацию в программах проектирования ОЗП [14, 17].

При проектировании ОЗП возникает необходимость (при нормативных значениях параметров R_H , геотехнических грунтовой среды $R_{Гс}$) определения оптимальных структуры St , значений размерных параметров (управления) R_U из области допустимых D_d , чтобы обеспечить экстремальную (\min) величину критерия качества K_k , который должен быть больше заданного K_{k3}

$$K_k(R_H, R_{Гс}, R_U) \rightarrow \min K_{k0} \\ R_U \in D_d$$

$$\text{при условиях } D_d: \begin{cases} K_k(R_H, R_{Гс}, R_U) > K_{k3} \\ f_i(R_H, R_{Гс}, R_U) > 0, i \in 1, n. \end{cases}$$

Параметрический синтез ОЗП (и всякое техническое решение) реализуется по алгоритму, приведенному на рис. 1.19 с использованием программ, разрабатываемых институтами Главтранспроекта, научно-исследовательскими, транспортными вузами. Программная продукция предусматривает синтез морфологических структур (математических моделей — ММ, имитационных — ИМ) ОЗП, параметрическую оптимизацию с определением конструктивных метрических параметров ОЗП, формирование САПР.

В задачах приводятся алгоритмы и примеры использования программ по расчетам напряжений и необходимой плотности грунтов насыпи, ОЗП по условиям устойчивости от смещений (OPN, OPV), от возможных пластических деформаций (SVON), осадок насыпей (OSADKI), по проектированию водоотводов (WODOT), противопучинных конструкций (PROK) и другие.

Решение задач системного проектирования реализуется на принципах декомпозиции сложных St и локальной оптимизации в автоматическом (или диалоговом) режиме.

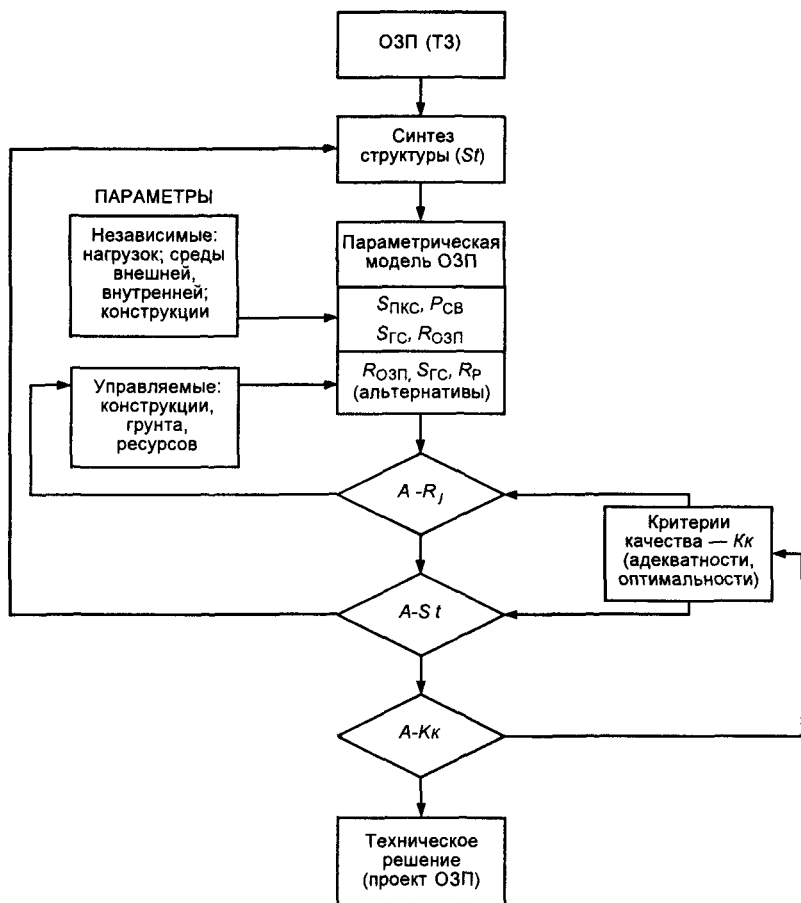


Рис 1.19 Инвариантная схема параметрического синтеза ОЗП: $A-R_j$ — анализ параметров, $A-St$ — анализ структуры, $A-K_k$ — анализ критериев качества

1.2.2. Статистический анализ информации

Задача 1.22. Определить статистические оценки расчетных параметров грунтовой среды, ПКС, критериев качества (технического состояния) ОЗП.

Решение. Расчетные (нормативные) значения параметров (характеристик грунта) определяются по средним арифметическим значениям \bar{x} , дисперсии D (как меры рассеяния), среднему квадратическому отклонению σ .

Эти статистики вычисляются: при несгруппированных данных (статистического ряда из n элементов)

для генеральной совокупности $\bar{x} = (\sum_1^n x_i)/n$;

для выборки $\bar{x} = (\sum_1^n x_i)/(n - 1)$;

дисперсия $D = \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)$;

среднее квадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{D}$;

при сгруппированных данных среднее $\bar{x} = (\sum_1^m x_i f_i) / \sum_1^m f_i$;

дисперсия $D = \sum_1^m (x_i - \bar{x})^2 f_i / \sum_1^m f_i$;

среднее квадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{D}$,

где f_i — количество (частота) появления x_i ; $n = \sum_{i=1}^m f_i$;

m — количество групп наблюдаемых значений.

Показатель точности оценки среднего

$$p = t_p / C_v \text{ для } c_r \text{ и } \text{tg}\varphi_r \text{ грунта; } p = t_p / C_v / \sqrt{n} \text{ для } R_c \text{ и } \gamma_r,$$

где t_p — коэффициент, принимаемый в зависимости от доверительной вероятности p и числа степеней свободы $(n - 1)$ для R_c (сопротивление сжатию) и γ_r ; $(n - 2)$ для c_r и φ_r (прил. 2.8); C_v — коэффициент вариации $C_v = \sigma / \bar{x}$.

Группировку данных вариационного ряда (генеральной совокупности) при большом количестве значений n , размахе ряда $R = x_{\max} - x_{\min}$ удобно выполнять, пользуясь корреляционной таблицей. Результирующие данные таблицы графически изображаются в виде полигона, гистограммы, кумулятивной кривой, позволяют определить моду и соответствующие x_i .

Достоверный интервал оценки и достаточность членов выборки n можно установить пользуясь t -распределением Стьюдента [51].

При дисперсионном анализе, корреляционном, регрессионном показателями тесноты связи служат коэффициент корреляции $K_{кр}$, критерий F_k — Фишера. Критерий F_k характеризуется отношением общей дисперсии к остаточной и показывает во сколько раз уравнение регрессии предсказывает результат лучше, чем среднее.

Задача 1.23. Для определения параметрических зависимостей характеристик состояния, критериев ПКС, ГС, ОЗП предусмотреть методику установления их связи с оценкой адекватности, тесноты связи.

Решение. Предусматривается корреляционный, регрессионный анализ с определением коэффициентов уравнений регрессии линейной, экспоненциальной, множественной (линейной) и др., пользуясь стандартными программами для ПК. Программы линейной регрессии (RL), регрессии порядка m (RPM)

— определяют зависимости между результативным признаком и наблюдаемым и аппроксимируют функции по методу наименьших квадратов (МНК) уравнением $y = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + \dots + A_m x^m$, вычисляют и печатают коэффициенты уравнения;

— производят анализ регрессии, вычисляя дисперсии D_y общую, изменяющую общую вариацию за счет действия всех факторов, D_x — за счет действия факторов признака x , D_0 — остаточную, за счет всех факторов, кроме x

$$D_0 = (D_y - D_x)/(n - 2);$$

— вычисляют F_k -критерий для проверки значимости уравнения регрессии

$$F_k = D_x(\kappa_2/\kappa_1)/(D_y - D_x)$$

F -критерий имеет распределение Фишера с $\kappa_1 = m$, $\kappa_2 = n - m - 1$ степенями свободы (n — величина ряда); при условии $F_k > F_T(\alpha, \kappa_1, \kappa_2)$ — уравнение значимо (α — уровень значимости, $1 - \alpha = p$ — доверительная вероятность, надежность расчетных значений);

F_T — табличное значение критерия (по прил. 1.6);

— вычисляют выборочный коэффициент корреляции $K_{кр} = \sqrt{D_x/D_y}$; квадрат смешанной корреляции $K_{кр}^2$, среднеквадратическое (стандартное) отклонение оценки $\sigma = \sqrt{(D_y - D_x)/(n - 2)}$;

— позволяют пользователю оценить, вычислить значения y_i по уравнению регрессии путем ввода значений x_i

Программа множественной линейной регрессии (RLM) аппроксимирует зависимость уравнением $y = B_0 + B_1x_1 + \dots + B_mx_m$; производит анализ дисперсии; проверяет адекватность результатов по критерию Фишера F_k при степенях свободы $\kappa_1 = m$, $\kappa_2 = n - m - 1$ (n — число переменных) и выбранном уровне значимости α (прил. 1.6); вычисляет квадрат смешанной корреляции, коэффициент множественной корреляции, стандартное отклонение оценки, позволяет вычислять значения y_i при произвольных значениях x_i .

Примеры в задачах раздела 2 и других.

Для установления регрессионной зависимости двух факторов предварительная статистическая обработка исходных данных возможна при пользовании корреляционными таблицами (ЭТ).

Задача 1.24. Для прогнозных расчетов и анализа параметров природно-климатической, грунтовой среды установить методику вероятностной оценки (обработки) данных.

Решение. Для вероятностной оценки характеристик (параметров) ПКС и ГС могут использоваться кривые вероятности превышения (обеспеченности) [76, 92]. В инженерной климатологии, гидрологии принимается кривая трехпараметрического γ -распределения (реже β -распределения), параметрами которой являются средняя \bar{x} (норма), коэффициенты вариации (изменчивости) C_v , асимметрии C_s .

Вычисляются средние арифметические $\bar{x} = \frac{n}{1} \sum x_i/n$;

среднее квадратическое отклонение (мера рассеивания статистического ряда)

$$\sigma = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2/(n - 1)}$$

коэффициент вариации $C_v = \sigma/\bar{x}$;

коэффициент асимметрии $C_s = (x_i - \bar{x})^3/(n\sigma^3)$; $C_s = 2C_v$.

Если используются модульные коэффициенты $K_i = x_i/\bar{x}$,

то $C_v = \sqrt{\Sigma(K_i - 1)^2/(n - 1)}$; $C_s = n\Sigma(K_i - 1)^3/[(n - 1)(n - 2)C_v^3]$.

Определяется эмпирическая обеспеченность p_3 характеристик от 0,01 до 99,9 % в зависимости от числа членов ряда по формуле

$$p_3 = [m/(n + 1)]100, \%,$$

где m — порядковый номер члена ранжированного (убывающего) статистического ряда; n — общее число членов ряда.

Параметры эмпирической кривой обеспеченности в прил. 1.7.

Затем вычисляются параметры аналитической кривой. Задаются рядом обеспеченностей p характеристики x . В статистических таблицах (прил. 1.8 или табл. 4 [97, т.2]) находят и заносят в таблицу (табл. 1.9) Φ_p — нормированные значения коэффициентов (ординат кривой обеспеченности)

$$(K_i - 1)/C_v = \Phi(p, C_s),$$

где $(K_i - 1)$ — отклонение модульного коэффициента от среднего;

$\Phi(p, C_s) = \Phi_p$ — нормативное отклонение, зависящее от p и C_s .

В табличной форме (табл. 1.9) вычисляются $K_i = 1 + \Phi_p C_v$ и расчетные величины $x = K_i \bar{x}$.

Таблица 1.9

Прогнозные параметры кривых обеспеченности

Параметры эмпирической кривой					Параметры аналитической кривой					
m	x_i	Σx_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$p_3, \%$	$p, \%$	Φ_p	$\Phi_p C_v$	$K_i = 1 + \Phi_p C_v$	$x = K_i \bar{x}$
						0,01				
						0,01				
						...				
						99,0				
						99,9				
n	Σx_i	\bar{x}		σ						

Аналитическая (теоретическая) кривая вероятности превышения (обеспеченности) строится по координатам кривых распределения и может быть в пределах от 0,0 до 100 %. На кривую наносят наблюдаемые данные (статистического ряда). При необходимости (недостаточном совпадении) кривые корректируются (по C_v , C_s). Значения характеристик (параметров) определяются по кривой обеспеченности при заданной, требуемой вероятности превышения.

Примеры расчета параметров и построения кривых обеспеченности в задачах раздела 2 и других.

Для определения параметров кривых обеспеченности, вычисления которых выполняются в табличной форме, целесообразно пользоваться ЭТ, которые позволяют получить необходимые статистики и значения ординат кривой непосредственно после ввода исходных данных.

1.2.3. Анализ производственных ситуаций

Задача 1.25. При формировании механизированных комплексов обеспечить оптимальный состав ведущих и комплектующих, транспортных машин.

Решение. Для получения оптимальных результатов при формировании погрузочно-транспортных комплексов, экскаваторных и других (в реальных условиях) целесообразно использовать систему массового обслуживания (СМО), математический аппарат, характеризующийся [37, 123]

— интенсивностью входящего потока требований (заявок на обслуживании) $\lambda_{об}$;

— числом требований (объектов) в очереди, временем ожидания;

— интенсивностью обслуживания $\gamma_{об}$;

— интенсивностью выходящего потока требований (при показателе интенсивности обслуживания $f_{об} = \lambda_{об} / \gamma_{об} < 1,0$).

По этим критериям, в том числе и стоимостным, принимается оптимальное техническое решение.

Для работы крановых, экскаваторных и др. комплексов, принимаемых простейшими (Пуассоновскими) потоками, математическое ожидание числа требований (транспортных средств), поступивших в СМО в единицу времени определяется по формуле

$$p_n(t) = (\lambda t)^n e^{-\lambda t} / n!,$$

где $p_n(t)$ — вероятность того, что в момент t поступает N заявок на обслуживание; e — основание натуральных логарифмов.

Рассматриваются возможные $(\kappa + 1)$ состояния СМО при $n = 1$ обслуживающих приборов (кран, экскаватор), N транспортных объектов (автомобилей):

$\kappa = 0$ — все N автомобилей в работе;

$\kappa = 1$ — 1 автомобиль простаивает, $(N - 1)$ в работе;

$\kappa = 2$ — 2 автомобиля простаивают, $(N - 1)$ в работе ...

$\kappa = N$ — все N автомобилей простаивают.

Каждое κ -е состояние описывается вероятностью

$$p_\kappa = [N! / (N - \kappa)!] (\lambda_{об} / \gamma_{об})^\kappa p_0,$$

где $\lambda_{об}$ — среднее количество автомобилей, поступающих на обслуживание (интенсивность входящего потока требований); $\lambda_{об} = 1 / T_{ц}$ ($T_{ц}$ — математическое ожидание цикла оборота автомобиля);

$\gamma_{об}$ — среднее количество автомобилей обслуживаемых (средняя интенсивность обслуживания); $\gamma_{об} = 1 / t_n$ (t_n — математическое ожидание времени погрузки).

Математическое ожидание простоя машины обслуживания равно

$$p_0 = 1 / \Sigma(p_\kappa / p_0) = \{ \Sigma [N! / (N - \kappa)!] (\lambda_{об} / \gamma_{об})^\kappa \}^{-1};$$

простоя одного автомобиля $p_a = \Sigma(\kappa - 1)p_\kappa / N$.

Если число обслуживающих машин $n > 1,0$, имеет место многоканальная СМО. Тогда $p_k = \{N! / [(N - k)! n^{(n-k)} n!]\} (\lambda_{об} / \gamma_{об})^k p_0$;

простой машин обслуживания $p_0 = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k) p_k$;

простой автомобилей $p_a = \sum_{k=n+1}^{\infty} (k-n) p_k$.

Согласно расчетным, в том числе стоимостным, параметрам СМО принимается оптимальное техническое решение.

Примеры в задачах раздела 7.

Задача 1.26. Для распределения земляных масс, карьеров грунтовых, дренающего грунта, строительных машин по объектам установить методику получения оптимальных технических решений.

Решение. По модели транспортной задачи при наличии m поставщиков с запасами ΣA_i ресурсов, n потребителей с потребностью ΣB_j ресурсов (материалов) и критерию качества: стоимости c_{ij} перемещения (или дальности возки L_{ij}) x_{ij} объема продукции от i -го поставщика к j -му потребителю.

Составляется исходная матрица, определяется опорный (начальный) план, который оптимизируется по величине целевой функции (функционала) $F(x)$

$$F(x) = \sum_i \sum_j x_{ij} c_{ij} \rightarrow \min;$$

$$\sum_i x_{ij} = \Sigma B_j;$$

$$\sum_j x_{ij} \leq \Sigma A_i; \quad \forall x_{ij} \geq 0.$$

Мощности всех предприятий поставщиков должна равняться суммарному спросу всех потребителей (закрытая задача, табл. 1.10). Если $\Sigma A_i > \Sigma B_j$, вводится дополнительный (фиктивный) потребитель B_{ϕ} .

Опорный план составляется способами северо-западного угла или наименьшего элемента в матрице, по столбцу и строке, двойного предпочтения. Занятых клеток должно быть $m + n - 1$; если меньше (случай вырождения), то в клетку (клетки) с меньшей c_{ij} вводят 0, считая клетку занятой.

Таблица 1.10

Матрица транспортной задачи

Поставщики и их мощности	Потребители и их спрос				
	B_1	...	B_j	...	B_n
A_1	x_{11} c_{11}	...	x_{1j} c_{1j}	...	x_{1n} c_{1n}
...
A_i	x_{i1} c_{i1}	...	x_{ij} c_{ij}	...	x_{in} c_{in}
...
A_m	x_{m1} c_{m1}	...	x_{mj} c_{mj}	...	x_{mn} c_{mn}

Оптимизация опорного плана выполняется методом потенциалов (или симплекс-методом или др.). Каждому поставщику A_i и каждому потребителю B_j ставятся в соответствие потенциалы U_i и V_j (начальное значение одного произвольно, например $U_i = 0$) $V_j = U_i + c_{ij}$; $U_i = V_j - c_{ij}$.

Оптимальность соблюдается при условиях:

$V_j - U_i = c_{ij}$ или $V_j - U_i - c_{ij} = 0$ во всех занятых клетках ($x_{ij} > 0$);

$V_j - U_i < c_{ij}$ или $V_j - U_i - c_{ij} < 0$ в остальных незанятых клетках.

Если условия не соблюдаются, поставки перераспределяются по контуру (циклу пересчета) с вершинами в занятых клетках, чередованием знаков “+” и “-”

Перераспределение выполняется по алгоритму находится минимальная поставка в отрицательных вершинах, отнимается в отрицательных вершинах и добавляется в положительных; новые значения поставок заносятся в матрицу; вычисляется функционал (показатель эффективности) $F(x)$.

Итерационно перераспределение повторяется до соблюдения условия оптимальности. Расчеты выполняются предпочтительно на ПК, пользуясь стандартными программами.

Примеры в задачах разделов 7, 8

Задача 1.27. Дать прогнозную оценку производственной ситуации с определением возможных сроков завершения работ (с учетом директивного срока T_D).

Решение. Производственную ситуацию оценивают, пользуясь методом СПУ (сетевое планирование и управление) по сетевым графикам (СГ) с определением резервов времени и продолжительности работ; по данным экспертных оценок, пользуясь методами усреднения, статистических испытаний и другими.

Сетевой график — направленный граф, состоящий из n узлов (событий), m ориентированных дуг (стрелок) и нескольких путей, является графической моделью строительного процесса.

Сруктурными элементами СГ являются событие, как факт окончания (завершения) одной или нескольких работ; работа — производственный процесс, требующий затрат времени t_{ij} и материальных ресурсов; ожидание — процесс, требующий затрат времени; зависимость — отражает взаимозависимость и последовательность работ (не требует затрат времени, материальных ресурсов); путь — последовательность работ от начального (исходного) до конечного (завершающего), максимальный путь — критический $T_{кр}$; потенциал события — путь наибольшей продолжительности от данной работы до завершающей

$$T_i^n = \max \Sigma t_{i-z}$$



Основные параметры СГ:

— ранние сроки начала работ (соответствуют \max продолжительности пути от исходного до i -го события)

$$t_{jk}^{PH} = \max \Sigma t_{0j} = \max t_{ij}^{PO} = \max(t_{ij}^{PH} + t_{ij});$$

— ранние сроки окончания работ $t_{ij}^{PO} = t_{ij}^{PH} + t_{ij} = t_{jk}^{PH}$;

— поздние сроки окончания работ (соответствуют \min позднему началу последующей работы)

$$t_{ij}^{PO} = \min t_{jk}^{PH} = \min(t_{jk}^{PO} - t_{jk}) = T_{кр} - \max \Sigma t_{iz};$$

— поздние сроки начала работ $t_{ij}^{PH} = t_{ij}^{PO} - t_{ij}$;

— резервы времени: общий (полный) — запас времени, на который можно увеличить продолжительность данной работы или перенести ранний срок начала работы без увеличения общей продолжительности всех работ,

$$R_{ij} = t_{ij}^{PH} - t_{ij}^{PH} = t_{ij}^{PO} - t_{ij}^{PO} = t_{ij}^{PO} - (t_{ij}^{PH} + t_{ij});$$

— частный (свободный) — запас времени, на который можно перенести начало или увеличить продолжительность данной работы, не меняя при этом начала последующей работы,

$$r_{ij} = t_{jk}^{PH} - t_{ij}^{PO} = t_{jk}^{PH} - (t_{ij}^{PH} + t_{ij});$$

— выделяются работы, лежащие на критическом пути

$$(t_{ij}^{PO} = t_{jk}^{PH}, \quad R_{ij} = 0; \quad r_{ij} = 0).$$

Начальный график составляется по детерминированным значениям продолжительности работ (согласно нормативам) и рассчитывается табличным или секторным способом.

Вероятностные значения продолжительности работ на критическом пути можно определять по парным оценкам экспертов: от t_{\min} (оптимистическая оценка) до t_{\max} (пессимистическая оценка);

— методом усреднения

ожидаемая продолжительность $t_{ож}$ $t_{ож} = (3t_{\min} + 2t_{\max})/5$;

дисперсия $D(t) = \sigma^2(t) = [(t_{\max} - t_{\min})/5]^2$;

— методом статистических испытаний (Монте-Карло)

продолжительность t_{ij}

$$t_{ij} = MO(t) + НРСЧ\sigma(t),$$

где $MO(t)$ — математическое ожидание t_{ij} (статистическое среднее); $НРСЧ$ — случайное число (нормально распределенное), определяется генератором СЧ на микрокалькуляторе или ПК (или по таблицам [37, 51], прил. 7.4).

Надежность сетевого графика, вероятностные сроки завершения работ можно определять, пользуясь

— значениями функции нормального распределения вероятностей, функции Гаусса $F(x) = F[(t' - t'')/\sigma]$ (прил. 1.10);

— пользуясь интегралом вероятности (функция Лапласа, прил. 1.9), согласно которому вероятность срока выполнения работ T_p в интервале $(t' - t'')$

$$p(t' < T_p < t'') = 0,5\{\Phi[(t'' - t)/\sigma] - \Phi[(t' - t)/\sigma]\}.$$

Здесь t' и t'' могут быть планируемыми ($T_{кр}$), директивными (T_d) и иными сроками.

Примеры в задачах раздела 7.

Задача 1.28. Определить оценки качества (технического состояния) объектов земляного полотна при завершении земляных работ, в период текущего содержания (комиссионных осмотров, обследований) земляного полотна.

Решение По методу экспертных оценок возможна балльная оценка (при комиссионных осмотрах), согласно нормам текущего содержания (при обследованиях).

На объектах предусматривается оценка каждого i -го конструктивного элемента (n элементов) каждым j -м экспертом (m экспертов) a_{ij} с учетом рангов r_i — коэффициентов значимости этих элементов для безопасности движения поездов.

Вычисляются средняя оценка по элементам $a_i = \sum_j a_{ij} r_i / m$; $j \in 1, m$
 средние оценки по каждому объекту $A_k = \sum_i a_i / n = \sum_i \sum_j a_{ij} / (nm)$, $i \in 1, n, j \in 1, m$;
 или $A_k = \sum_i (a_i r_i) / (n \sum r_i)$, $i \in 1, n$

с выделением минимальных по элементам $a_{i \min}$ и возможно с учетом компетентности комиссии. Для этого каждый эксперт оценивает компетентность каждого (и самого себя), определяется уровень компетентности (рейтинг) каждого и комиссии

Оценки определяются в табличной (матричной) форме, предпочтительно, пользуясь ЭТ. Согласованность оценок экспертов оценивается коэффициентом конкордации

$$W_k = 12\sigma / [m^2(n^3 - n)],$$

где среднее квадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{\sum_i (A_k - a_i)^2 / (n - 1)}$.

Значимость коэффициента W_k оценивается критерием Пирсона (χ^2 — хи квадрат) сопоставимо с табличным χ_{τ}^2 при степени свободы $f = n - 1$ и вероятности соответственно 0,85—0,95 (прил. 1.11).

Должно быть $\chi^2 = m(n - 1) \cdot W_k > \chi_{\tau}^2$.

1.2.4. Программные средства

Задача 1.29. Учитывая широкое применение табличных форм в инженерных расчетах и при проектировании ОЗП установить эффективные средства их выполнения на персональных компьютерах (ПК).

Решение Для реализации табличных форм расчетов на ПК рекомендуются программные системы ЭТ SuperCalc (SC), Excel и др., обладающие простой технологией работы и высокой надежностью.

Пакет SC представляет набор команд и функций для расчетов, вывода таблиц на печатающее устройство, выбора по критериям набора данных, построения диаграмм и графиков [23].

ЭТ — двумерный массив строк и столбцов, размещаемых в памяти компьютера (матрица), может содержать 9999 строк и 127 столбцов (от А до Z, затем от AA до AZ и т. д.), на экране 20 строк, 8 столбцов

SC реализует функции: арифметические, включающие тригонометрические, математические (абсолютная величина, целая, округление, логарифм, степень, квадратный корень); статистические (max, min, сумма, счетчик, среднее арифметическое, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, случайное число); кроме того логические, индексные, календарные, специальные функции.

Табличные процессоры с большими возможностями счета (Excel и др.) требуют больше ресурсов ПК.

Пример 1. Программа ЭТ—NAPRN (табл. 1 7-1, 1 7-2)

Пример 2. Корреляционная таблица ЭТ—KORTAB (табл. 1 11-1).

Размер ячеек (по умолчанию) 9 символов (можно изменить); емкость каждой ячейки для размещения текста, формул — до 240 символов. Таблица (маска) напечатана сжатым форматом (опция Setur). ЭТ выполняет вычисления после ввода исходных данных, в ячейках появятся результаты счета.

Таблица 1 11-1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ (ЭТ—KORTAB)																
2	-----																
3	Параметр у		Параметр х — интервалы и средние значения														
4	Интер-	Средние	-----														
5	валы	значе-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Коли-	Средние
6	валы	ния	00	.00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	чество	по х
7	-----																
8	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
9	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
10	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
11	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
12	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
13	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
14	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
15	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
16	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
17	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
18	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
19	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
20	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
21	-----																
22	Количество		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
23	Средние по у		00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
24	-----																

Содержимое ячеек фрагментарно (блок O9:P23) показано в табл. 1.11-2 (опция Contents).

Таблица 1.11-2

Содержимое ячеек ЭТ—KORTAB (O9:P23)

O9	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C9 N9))
P9 \$	= IF(O9=0,0,((C7-C9+D7-D9+E7-E9+F7-F9+G7-G9+H7-H9+I7+J7+J9+K7-K9+L7-L9+M7-M9+N7-N9)/O9))
O10	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C10 N10))
P10 \$	= IF(O10=0,0,((C7-C10+D7-D10+E7-E10+F7-F10+G7-G10+H7-H10+I7+I10+J7-J10+K7-K10+L7-L10+M7-M10+N7-N10)/O10))
O11	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C11 N11))
P11 \$	= IF(O11=0,0,((C7-C11+D7-D11+E7-E11+F7-F11+G7-G11+H7-H11+I7+I11+J7-J11+K7-K11+L7-L11+M7-M11+N7-N11)/O11))
O12	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C12 N12))
P12 \$	= IF(O12=0,0,((C7-C12+D7-D12+E7-E12+F7-F12+G7-G12+H7-H12+I7+I12+J7-J12+K7-K12+L7-L12+M7-M12+N7-N12)/O12))
O13	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C13 N13))
P13 \$	= IF(O13=0,0,((C7-C13+D7-D13+E7-E13+F7-F13+G7-G13+H7-H13+I7+I13+J7-J13+K7-K13+L7-L13+M7-M13+N7-N13)/O13))
O14	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C14 N14))
P14 \$	= IF(O14=0,0,((C7-C14+D7-D14+E7-E14+F7-F14+G7-G14+H7-H14+I7+I14+J7-J14+K7-K14+L7-L14+M7-M14+N7-N14)/O14))
O15	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C15 N15))
P15 \$	= IF(O15=0,0,((C7-C15+D7-D15+E7-E15+F7-F15+G7-G15+H7-H15+I7+I15+J7-J15+K7-K15+L7-L15+M7-M15+N7-N15)/O15))
O16	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C16 N16))
P16 \$	= IF(O16=0,0,((C7-C16+D7-D16+E7-E16+F7-F16+G7-G16+H7-H16+I7+I16+J7-J16+K7-K16+L7-L16+M7-M16+N7-N16)/O16))
O17	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C17 N17))
P17 \$	= IF(O17=0,0,((C7-C17+D7-D17+E7-E17+F7-F17+G7-G17+H7-H17+I7+I17+J7-J17+K7-K17+L7-L17+M7-M17+N7-N17)/O17))
O18	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C18 N18))
P18 \$	= IF(O18=0,0,((C7-C18+D7-D18+E7-E18+F7-F18+G7-G18+H7-H18+I7+I18+J7-J18+K7-K18+L7-L18+M7-M18+N7-N18)/O18))
O19	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C19 N19))
P19 \$	= IF(O19=0,0,((C7-C19+D7-D19+E7-E19+F7-F19+G7-G19+H7-H19+I7+I19+J7-J19+K7-K19+L7-L19+M7-M19+N7-N19)/O19))
O20	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C20 N20))
P20 \$	= IF(O20=0,0,((C7-C20+D7-D20+E7-E20+F7-F20+G7-G20+H7-H20+I7+I20+J7-J20+K7-K20+L7-L20+M7-M20+N7-N20)/O20))
O22	= IF(SUM(C6 N6)=0,0,SUM(C22 N22))
P22 \$	= IF(O22=0,0,((O9-P9+O10-P10+O11-P11+O12-P12+O13-P13+O14-P14+O15-P15+O16-P16+O17-P17+O18-P18+O19-P19+O20-P20)/O22))
O23 \$	= IF(O22=0,0,((C22-C23+D22-D23+E22-E23+F22-F23+G22-G23+H22-H23+I22-I23+J22-J23+K22-K23+L22-L23+M22-M23+N22-N23)/O22))

Задача 1.30. При проектировании устойчивости ОЗП необходимо определение критерия устойчивости K_y . Требуется в области допустимых D_d найти оптимальные значения координат (O_x, O_y) центра O_o кривой смещения, при которой обращается в минимум критерий качества K_y

$$K_y(x, y) \rightarrow \min \rightarrow K_y(O_x, O_y) = K_{y0} \\ (x, y) \in D_d.$$

Решение. Для однокритериальных детерминированных оптимизационных задач (по определению K_{y0} и др.) можно использовать алгоритм (семейство алгоритмов [14]) направленного поиска extr функции $K_y(x, y)$ в двумерном координатном поле скалярных значений функции на принципах прямых методов, предусматривающих последовательное вычисление функции $K_y(x, y)$ и итерационный поиск оптимального $K_y(O_x, O_y) = K_{y0} \rightarrow \text{opt}$.

Поисковая оптимизация заключается в итерационном процессе определения значений функции K_y при варьировании ее аргументов (x, y) в окрестностях точек значений $K_y(x, y)$. На каждом шаге выполняется изменение аргументов $x_i = x_{i-1} + \Delta x$, $y_i = y_{i-1} + \Delta y$ и вычисляются значения $K_{yi} = K_y(x_i, y_i)$.

Сопоставление значений K_{y_i} позволяет изменить тактику (направление, величину шага, траекторию) поиска K_{y_0} .

Процедура поиска K_{y_0} определяется рекуррентным выражением, реализующим приближение от K_i -го к K_{i+1} -му значению $K(x_{i+1}, y_{i+1})$:

$$x_{i+1} = x_i + \lambda \Delta x; \quad \Delta x_i = l_{\text{ш}} v_{x_i},$$

$$y_{i+1} = y_i + \lambda \Delta y; \quad \Delta y_i = l_{\text{ш}} v_{y_i};$$

где Δx , Δy — шаги поиска, λ — параметр поиска; $l_{\text{ш}}$ — величина шага, v_{x_i} , v_{y_i} — единичные векторы направления на i -м шаге, соответствующие направлениям координатных осей.

Согласно алгоритму K_i вычисляется сначала в некоторой начальной базовой точке O_i с координатами (x_i, y_i) . Затем O перемещается в окрестности точки i с ортогональным размещением координат $v_i = e_j$, $j \in i, n$, где e_j — орт (направление) j -ой координаты при последовательном движении в координатном поле xOy . Подвижной координатный элемент (ПКЭ) в алгоритме принят с n равным 9 (локальная миниматрица), или 4 (локальная квадриада), или 3 (триада). Блок-схема алгоритма оптимизации ЛКТ (локальных квадриады, триады) показан на рис. 1.20.

Пример траектории поиска орт K_y способом ПКЭ приведен на рис. 1.21. Алгоритм использован в программах (NAP, OPN, SVON и др.)

Задача 1.31. Определить направленность программного обеспечения расчетов и проектирования земляного полотна.

Решение. Программное обеспечение расчетов и проектирования ОЗП реализуется программным продуктом (пакетами прикладных программ), разрабатываемыми транспортными вузами, проектными, научно-исследовательскими, другими институтами [1, 2, 77].

В качестве примера программного комплекса может служить структурная схема программы проектирования насыпи NAP (рис. 1.22, расчетная схема — рис. 1.23), характеризующейся гибкой структурой и включающей блоки исходных данных, расчета необходимой плотности грунта (с подпрограммами регрессии, расчетов напряжений), блоков поперечного профиля (с расчетами уровня бермы по накату волны), осадок основания и ОП (с запасом на осадку, уширением ОП); противодеформационной подушки (защитного слоя); укрепления откосов (варианты с подпрограммой обратного фильтра), устойчивости основания насыпи против сдвига и выпирания (с подпрограммой вычисления главных напряжений).

Такие программы открыты для насыщения, модификации. Например, включение модуля OPN (оптимальное проектирование насыпи) в такую программу позволяет проектировать комплекс инженерных сооружений, поперечные профили которых можно получить, рассматривая на развертке (рис. 1.24) прямую, как проекцию размерных векторов насыпи, выемки, склона, и выполнять оптимизацию на уровнях определения размерных параметров, объемов, стоимостных показателей и других критериев качества.

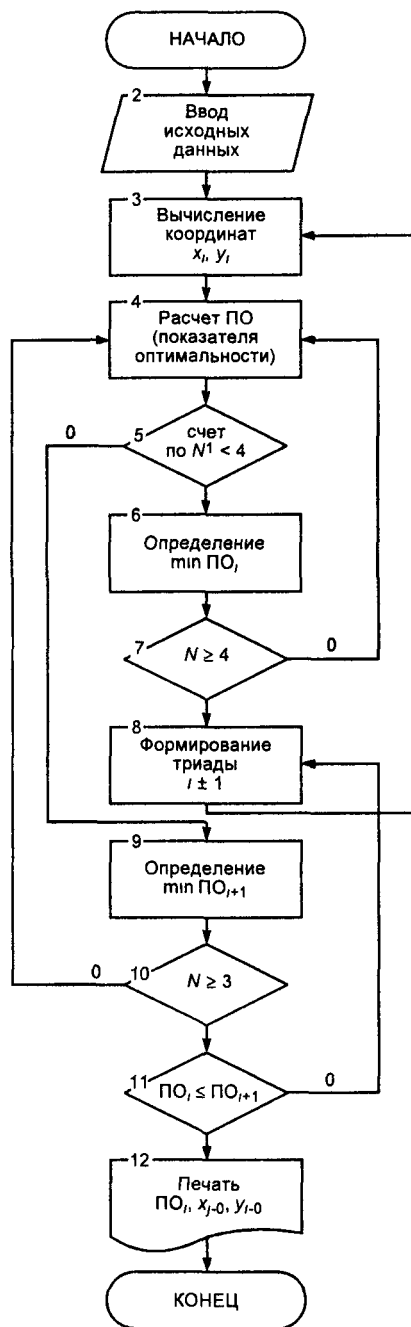


Рис 1 20 Блок-схема алгоритма оптимизации ЛКТ

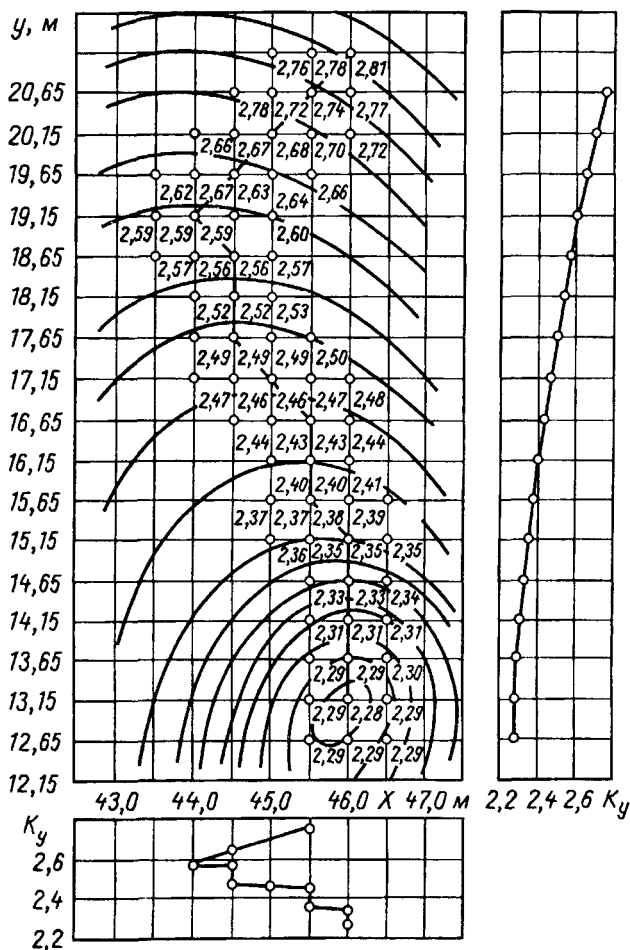


Рис 1.21 Траектория поиска $opt K_y$ способом ПКЭ

Совершенствование программного обеспечения расчетов и проектирования ОЗП связано с использованием современных высокопроизводительных, многофункциональных компьютеров ПК

Задача 1.32. Рассмотреть организационные основы компьютеризации проектирования ОЗП, организации земляных работ, оперативного управления возведением, содержанием и ремонтами земляного полотна

Решение Проектирование и управление ОЗП успешно реализуется при использовании компьютеров, как средства приема (ввода), обработки, передачи и вывода информации, то есть эффективной информационно-вычислительной техники (ИВТ)

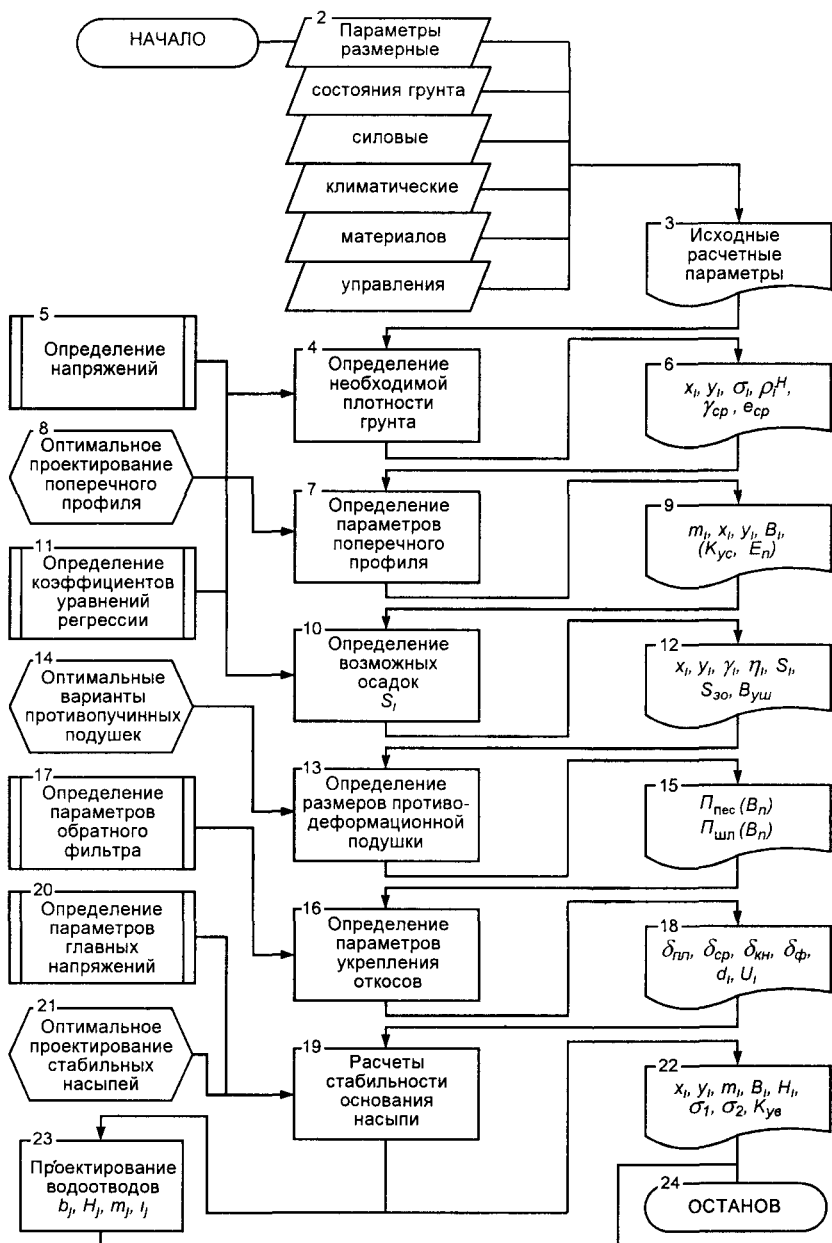


Рис 1 22 Структурная схема программы NAP

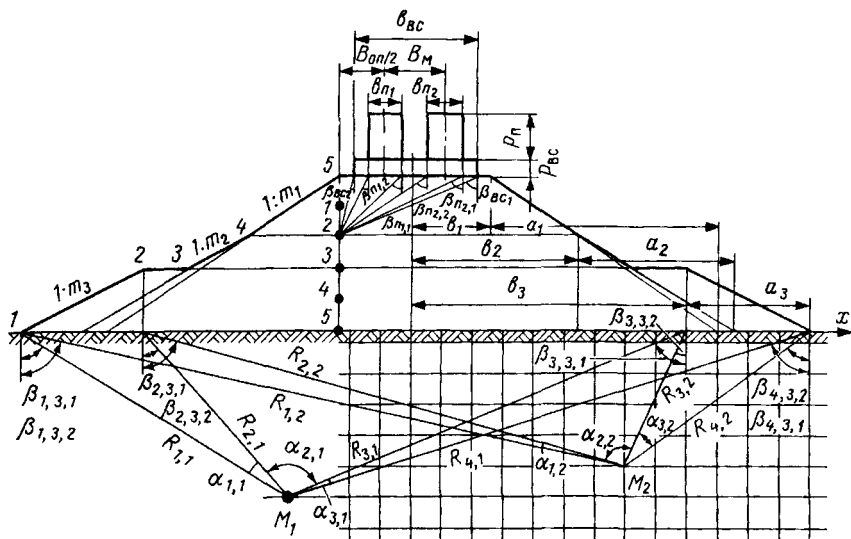


Рис 1.23 Расчетная схема проектирования насыпи

ПК повышают эффективность технических решений в условиях неопределенности ПКС, производственных ситуаций, чему способствует использование экономико-математических методов (ЭММ), основанных на математическом моделировании. Формализация содержательного описания ОЗП, создание моделей, связывающих целевую функцию и параметры ОЗП, имитационных для ПОР, позволяют формировать оптимизационные задачи и получать наилучшие (opt) технические решения.

Информационное обеспечение включает информационно-справочный банк данных и средства обслуживания (систему управления — СУБД). База данных, используя систему классификации и кодирования, содержит перечень и параметры состояния ОЗП, инженерно-геологические и другие характеристики и материалы.

При проектировании ОЗП решается комплекс взаимосвязанных задач. В каждой задаче — совокупность алгоритмов последовательности процедур, разделяемых на операции и элементы. На основе алгоритмов составляется программа последовательность команд, соответствующая порядку решения задачи. Команды содержат информацию о выполняемых операциях, месте данных в памяти и послышке результатов и выполняются процессором ПК.

Эффективность проектирования ОЗП и оперативность управления связаны с использованием современных ПК с процессорами Pentium, Power PC и др. (при емкости винчестеров до 100 Гбайта и более), которые позволяют

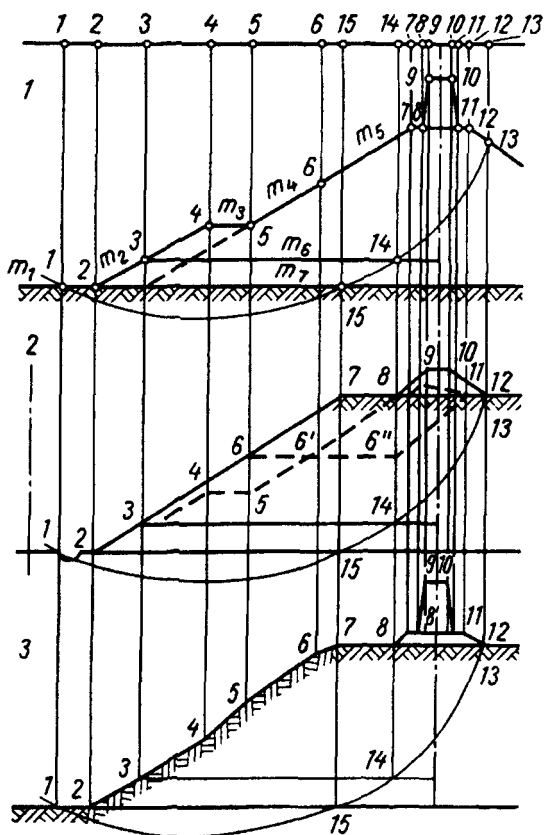


Рис. 1.24. Схема формирования расчетных моделей:

1 — насыпь, 2 — выемка, 3 — склон

расширить спектр операционных систем и оболочек: Windows, OS/2, Unix и др. (наряду с MS-DOS, NC и др.), программных средств (СУБД) для баз данных: Paradox, Clarion, Clipper и др. (наряду с FoxPro и др.), текстовых процессоров: Word и др. (наряду с лексиконом, фотонем и др.), программного продукта на языках высокого уровня СИ, Паскаль и др. (наряду с языками Бейсик, Фортран и др.). Широкие возможности наряду с ПК IBM PC имеют ПК Macintosh, в том числе с мультимедиа и полиграфическими функциями. Перспективными могут быть другие ПК, программные средства Microsoft на языке Iva и др.

Для анализа таблиц и обработки внешних баз данных (БД) в среде Windows эффективно использование многостраничных ЭТ:

Lotus 1-2-3, как блокнот с необходимым числом страниц;

Quattro Pro — 256-страничный блокнот;

Microsoft Excel — многостраничная книга.

Табличные процессоры ориентированы на использование мыши, имеют простой интерфейс, БД, позволяют реализовать графические анализ и интерпретацию результатов, имеют программные средства. Широкие функциональные возможности имеют многомерные и наиболее популярные ЭТ Excel: более 400 математических и других встроенных функций и алгоритмов, десятки типовых программ, автоматическое построение сводных таблиц с графическим интерфейсом (до 16384 строк в ЭТ).

Современные технические возможности ПК позволяют эффективно формировать и реализовать системы САПР земляного полотна, АСУС, АСУ-Путь.

Организационными формами в проектной организации могут быть : создание на базе ПК индивидуальных терминальных пунктов — автоматизированных рабочих мест (АРМ), которые объединяются в коммутационные системы — сети с единым информационным и программным обеспечением, технологическими линиями проектирования (ТЛП), с выделением серверов, например, анализирующих инженерно-геологическую обстановку, проектирующих ПП, насыпи на слабых основаниях и т. п. Объединение серверных сетей в домены позволяет совместно использовать сетевые ресурсы (сервер БД, печати и др.), сократить потребность в оснащении. Полезно иметь принтеры струйный или лазерный, сканеры, графопостроители (имеются с трехмерной цветной графикой), электронную почту, факс-модемы. Эффективна системная интеграция с формированием сети ИВЦ.

В системе АСУ-Путь иерархическая организационная структура с серверами на уровнях МПС (ЦП и ГВЦ), железных дорог (Службы пути и ВЦ), ПЧ — АРМ для лица принимающего решение (ЛПР), диспетчера дистанции пути, инженерно-технических работников, с выделением блоков земляного полотна в подсистемы (при использовании имеющихся ПК с процессорами Intel-80486 и др.). Аналогична организационная структура АСУС, в перспективе с ориентацией на компьютерные станции (Alpha Station и др.).

Для компьютеризации учебного процесса, учитывая возможности мультимедиа (технологий по вводу, обработке, хранению, передаче, отображению таких данных, как текст, графика, анимация, оцифрованные изображения, видео, звук, речь), в вузах эффективно создание Мультимедиа-Центров (ММЦ) с отделами сетевых технологий, включаемых в информационную компьютерную систему Internet, мультимедиа-студией и видеолaborаторией для создания видеофильмов, виртуальных реальностей, с полиграфическим отделом для издательских функций, САПР — дипломного проектирования ОЗП с графическим редактором Corel Draw, системой автоматизированного проектирования AutoCad и др.

Раздел 2

ПАРАМЕТРЫ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ, ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ

2.1. Параметры природно-климатической среды

2.1.1. Общие положения

Природно-климатическая среда функционирования ОЗП характеризуется некоторым n -мерным пространством (и множеством параметров) условий геологических, сейсмотектонических, гидрогеологических, гидрологических, геокриологических, климатических, рельефа, гравитационного поля. При этом изменчивость погодно-климатических и других параметров в годовом цикле и в многолетнем периоде имеет случайный характер.

Влияние ПКС характеризуется температурным режимом воздуха, ветровым, дождевыми и снеговыми осадками, уровнем режимом в реках и грунтовых вод, гравитационным воздействием на ОЗП. Параметры ПКС определяются суммарными значениями за периоды года, месяца, среднегодовыми-месячными-суточными, максимальными (табл. 2.1.). Природные процессы характеризуются градиентами, как мерой изменчивости (интенсивности) параметров во времени: температуры воздуха $U_{вд} = dT/dt$; воздушных масс (скоростей ветра) $U_{вт} = dL/dt$; интенсивности дождей $i_d = d\delta/dt$; уровня воды в реках $i_{yv} = dH/dt$ и др.

Под влиянием процессов нагревания и охлаждения, промерзания, льдообразования и оттаивания, набухания и усадки (в поле W), уплотнения, оседания и смещения в гравитационном поле изменяется состояние грунтовой среды (талое, пластичное, мерзлое), нарушаются водно-коллоидные, структурные, кристаллические связи, соответственно изменяется состояние

Таблица 2.1

Параметры метеозлементов ПКС

Режимы	Параметры по периодам						
	n лет		I год		месяц	сутки	явление
	годовые	месячные	месячные	суточные	суточные	интервал	часы
Температурный	$\Sigma T_{Г}$ $n_{Г}$ $\Sigma T_{Гср}$ $T_{Гmax}$	$\Sigma T_{ГМ}$ $n_{Г} \cdot 12$ $\Sigma T_{Гмср}$ $T_{Гmax}$	$\Sigma T_{ГМ}$ $n = 12$ $T_{мср}$ T_{Mmax}	$\Sigma T_{Гс}$ $n = 365$ $T_{мср}$ T_{Mmax}	$\Sigma T_{с}$ $n = 30$ $T_{сср}$ $T_{сmax}$	$\Sigma T_{З}$ $n = 8$ $T_{Зср}$ $T_{Зmax}$	$T_{ч}$ $n = 1; 24$ $T_{чср}$ $T_{чmax}$
Ветровой	$\Sigma V_{Г}$ $n_{Г}$ $\Sigma V_{Гср}$ $V_{Гmax}$	$\Sigma V_{ГМ}$ $n_{Г} \cdot 12$ $\Sigma V_{Гмср}$ $V_{Гmax}$	$\Sigma V_{ГМ}$ $n = 12$ $V_{мср}$ V_{Mmax}	$\Sigma V_{Гс}$ $n = 365$ $V_{мср}$ V_{Mmax}	$\Sigma V_{с}$ $n = 30$ $V_{сср}$ $V_{сmax}$	$\Sigma V_{З}$ $n = 8$ $V_{Зср}$ $V_{Зmax}$	$V_{ч}$ $n = 1; 24$ $V_{чср}$ $V_{чmax}$
Дождевой, снеговой	$\Sigma \delta_{Г}$ $n_{Г}$ $\Sigma \delta_{Гср}$ $\delta_{Гmax}$	$\Sigma \delta_{ГМ}$ $n_{Г} \cdot 12$ $\Sigma \delta_{Гмср}$ $\delta_{Гmax}$	$\Sigma \delta_{ГМ}$ $n = 12$ $\delta_{мср}$ δ_{Mmax}	$\Sigma \delta_{Гс}$ $n = 365$ $\delta_{мср}$ δ_{Mmax}	$\Sigma \delta_{с}$ $n = 30$ $\delta_{сср}$ $\delta_{сmax}$	$\Sigma \delta_{З}$ $n = 8$ $\delta_{Зср}$ $\delta_{Зmax}$	$\delta_{д}$ $n = 1; 24$ $\delta_{дср}$ $\delta_{дmax}$
Уровеньный в реках, грунтовых вод	$\Sigma H_{стср}$ $n_{Г}$ $H_{Гmax}$	$\Sigma H_{стмср}$ $n_{Г} \cdot 12$ $H_{Гmax}$	$\Sigma H_{стмср}$ $n = 12$ H_{Mmax}	$\Sigma H_{стср}$ $n = 365$ $H_{сmax}$	$\Sigma H_{стср}$ $n = 30$ $H_{сmax}$	— — —	$\Sigma H_{стср}$ $t; i_{ст}$ $H_{Гmax}$

Примечание. Принятые обозначения: T — температура воздуха; n — количество лет, месяцев, суток, часов, отдельных явлений; V — скорость ветра; δ — количество осадков; $H_{ст}$ — уровень воды (статический). Индексы: г, м, с, ср, max — годовые, месячные, суточные, средние, максимальные; д, З, ч — дождь, 3-часовой, часовой интервал.

грунтовой среды, характеризующееся градиентами dT/dt , dW/dt , dp/dt , dh/dt , dZ/dt , а также dT/dZ , dW/dZ , dp/dZ , dh/dZ (промерзание, увлажнение, уплотнение, пучение по глубине) и др., и возможно проявление деформативности, нарушение координатного положения ОП и нормативных очертаний, размерных параметров ОЗП.

В большинстве случаев деформативность ОЗП проявляется при максимальных значениях параметров ПКС, за пределами бытовых состояний. Поэтому в прогнозно-профилактических целях необходима более достоверная оценка расчетных параметров ПКС с использованием статистического, корреляционного анализа, кривых обеспеченности, уравнений регрессии, позволяющих раскрывать стохастическую неопределенность флуктуаций метеозлементов в годовых циклах и многолетнем периоде (используя информацию гидрометеорологических станций — ГМС).

Необходимо правильно учитывать гармоническую периодичность изменчивости температурных полей воздуха; определять активные ветры (со скоростями выше пороговых) и их равнодействующую; выделять стокообразующие дожди; учитывать составляющие водного баланса, в том числе запас воды в снеге, снеговой и дождевой сток, испарение, впитывание воды; правильно на вероятностной основе определять расход воды при дождевом и снеговом стоке, расчетный уровень паводковых вод, параметры волнового воздействия, сейсмичности, влияние гравитационного поля (учитываемое обычно силами собственного веса объектов и их элементов).

Температурный режим характеризуется величинами абсолютных значений температур и амплитуд колебаний в годовом цикле, суммами положительных $\Sigma(+T)$ и отрицательных $\Sigma(-T)$ температур (среднесуточных, среднемесячных). В направлении от Москвы до Забайкалья $\Sigma(-T_c)$ возрастают от -1000° до -3500°C и более (по ст. Могоча -3678°C). Амплитуды изменчивости среднесуточных температур в годовом цикле достигают 130°C и более. Переход от наблюдаемых к расчетным обеспечивается переводным коэффициентом $K_{\text{пер}} = (\Sigma T_p / \Sigma T_i)^{0,5}$ (аналогично для ветровых, дождевых, других параметров). Температурный режим влияет на изменчивость температурных полей грунтовой среды, предопределяет деформации пучинные, осадки, смещения, наледи, термокарст и др.

Ветровой режим характеризуется параметрами скорости U_B , продолжительности t_B , повторяемости p_B , направления U_{Bj} , в суточном, годовом циклах. На ст. Новороссийск, например, изменчивость U_B возможна от 0,3 до 8,4, тах 13—36 (порывы 18—50) м/с. Для выделения активных ветров (со скоростями $U_B > 4,0$ м/с, образующих ветровую эрозию) следует выполнять статистический анализ U_B по градациям, устанавливать зависимости $U_{B\text{max}}(U_{B\text{ср}})$.

Используя информацию ГМС по месячным данным расчетные значения следует определять по кривым обеспеченности $p(U_B)$, по годовым данным — обобщенный (интегральный) параметр: равнодействующую скоростей ветра $R_{Uij} = \Sigma U_{Bij} p_{Bij}$ (величина скорости по i — градации, j — направлению ветра), по которому можно прогнозировать, например, ветровую эрозию [31, 94].

Режим дождевых осадков характеризуется количеством (годовыми, месячными данными), показателями плювиографов (интенсивности и продолжительности отдельных дождей). Целесообразен анализ по градациям с выделением стокообразующих (для откосов $\delta > 3$ мм, с травостоем $\delta > 5$ мм), ливневых ($\delta > 10$ мм) дождей. Дождевой режим определяет формирование поверхностного, подземного стока, эрозионных, размывных деформаций ОЗП. Учитывая годовые осадки, следует выделять тах суточные и отдельные дожди. Параметры стока необходимы для определения расхода воды и расчета водоотводных и водопропускных сооружений [79, 98].

Для прогнозных оценок параметров состояния грунтовой среды, ее влажностного режима, определяемого расходом атмосферных твердых (снеговых) Q_T , жидких (дождевых) $Q_{\text{ж}}$ осадков важно знать составляющие

водного баланса и изменчивость $Q_i(t)$ в зависимости от определяющих факторов: расход на испарение со снега $Q_{иссн}$, на впитывание при снеготаянии $Q_{впсн}$, дождевых осадков $Q_{впд}$; на сток при снеготаянии $Q_{стсн}$, дождевых осадков $Q_{стд}$; на испарение при снеготаянии $Q_{исст}$, дождевых осадков $Q_{исд}$; на транспирацию растениями $Q_{тр}$, на смачивание травостоя $Q_{см}$.

$$Q_T + Q_J = Q_{иссн} + Q_{впсн} + Q_{стсн} + Q_{исст} + Q_{стд} + Q_{исд} + Q_{тр} + Q_{см} \rightarrow W(t).$$

При расчетах водопропускных, водоотводных сооружений, укреплений откосов в поймах необходимы данные о расчетных уровнях высоких вод ($H_{ВВ}$) заданной вероятности превышения. При наличии данных многолетних наблюдений $H_{ВВ}$ вычисляется по методике вероятностно-статистической обработки хронологических рядов, ранжируемых в убывающем порядке. Для равнинных рек характерен один паводочный уровень высоких вод в течение года, на горных реках возможны высокие уровни в разные периоды года, что связано с интенсивными атмосферными (ливневыми) осадками, таянием ледников (при активной солнечной радиации). Соответственно необходимы прогнозные оценки по кривым обеспеченности (СНиП 2.01.14-83), статистическим (стохастическим), корреляционным связям, бинарным и многих переменных. Вероятности превышения расходов и соответствующие им уровни воды на пике паводков определяются на линиях I—III категорий 1:100 (1%), IV категории 1:50 (2%).

Определение расчетных параметров природной среды снижает уровень неопределенности функционирования системы и проектирования объектов земляного полотна. Этому способствуют тщательные инженерно-геологические, инженерно-геодезические, инженерно-гидрометеорологические, гидрологические изыскания, гидрогеологические, инженерно-сейсмические и др. при проектировании ОЗП.

В периоде функционирования ОЗП во времени в грунтовой среде развиваются процессы ползучести — длительно протекающие деформации пластического течения при постоянных (не меняющихся) нагрузках (напряжениях), которые могут быть в фазах установившегося процесса, затухающего, прогрессирующего. Возможны процессы релаксации — перехода длительно сохраняющейся упругой (обратимой) деформации в пластическую (необратимую, остаточную). Постоянно проявляются процессы денудации — горного выветривания, которые способствуют разрушению ОЗП, прилежащих (особенно опасно нагорных) склонов. Поэтому необходима система прогнозно-профилактического содержания и ремонтов земляного полотна.

В эксплуатационный период мониторинг, диагностика повышают надежность прогнозирования состояния ОЗП (методами тренда, анализа причинных связей, экспертных оценок и др.), поведения ОЗП (формирования деформаций), в том числе на математических (имитационных) моделях, методами центробежного моделирования [125] в условиях стохастичности параметров внешней среды и недостатка информации. Следует максимально использовать учетные и отчетные данные (историю болезни ОЗП), выполнять ретроспективный анализ развития (эволюции) деформаций в обозримом прошлом.

2.1.2. Параметры температурного, ветрового режимов

Задача 2.1. Проанализировать в годовом цикле изменчивость параметров температуры воздуха T , $T_{i\max}$, $T_{i\min}$.

Решение. По месячным данным ГМС за n лет устанавливаются интервальные вариационные ряды и распределение их изображается графически.

Пример. Исходные данные: месячные значения T_{\max} , $T_{\text{ср}}$, T_{\min} по ст. Мысовая (Восточная Сибирь) за 55 лет.

Решение. Выполняем статистический анализ по 55-ти значениям $-T_{\max}$, $-T_{\text{ср}}$, $-T_{\min}$ для каждого месяца в годовом цикле. Графически отображаем распределение для этих параметров (по три графика в каждом месяце) и по модам их кривые изменчивости T_{\max} , $T_{\text{ср}}$, T_{\min} в годовом цикле (показаны на рис. 2.1).

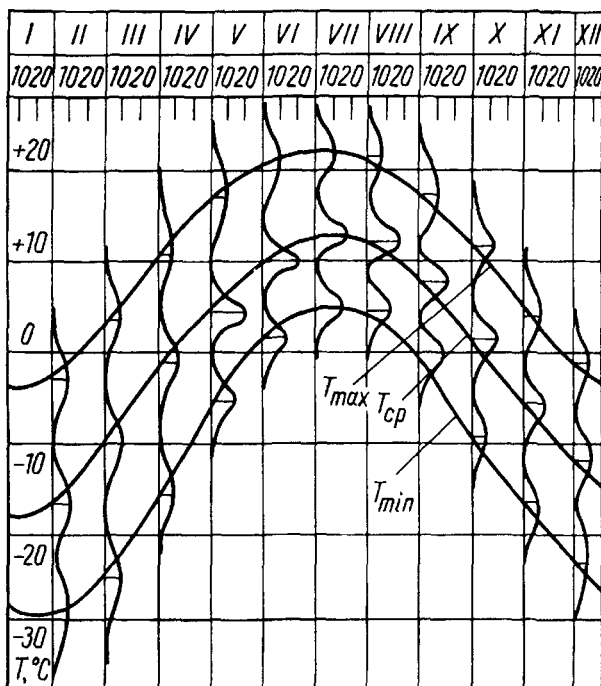


Рис 2.1 Изменчивость T_M

Для прогнозных определений рассчитаны параметры кривой обеспеченности (вероятностей превышения). Кривые распределения для $\Sigma(-T)_{\min}$, $\Sigma(-T)_{\text{ср}}$, $\Sigma(-T)_{\max}$; интегральная (кумулятивная) кривая суммарных значений и кривая обеспеченности для температурного режима ст. Мысовой показаны на рис. 2.2.

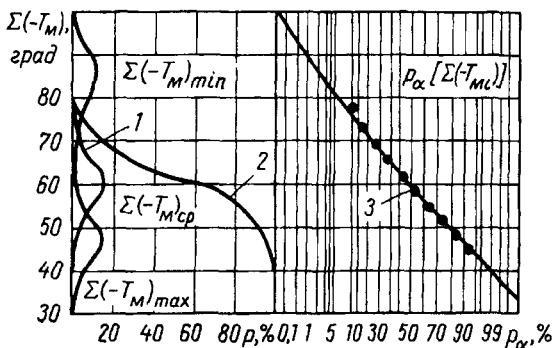


Рис. 2.2 Кривые $\Sigma(-T_i)$: 1 — распределения; 2 — интегральная; 3 — обеспеченности

Задача 2.2. Для прогнозных определений расчетных значений суммы отрицательных температур воздуха установить зависимости $\Sigma(-T_i)_{\max}$ от $\Sigma(-T_i)_{\text{ср}}$.

Решение. Аппроксимацией МНК (на ПК по программе RPM) получают уравнение регрессии полиномиальное (второй степени) или линейной зависимости (1-й степени). По статистическим оценкам (статистикам) устанавливается теснота связи.

Пример. Исходными являются сгруппированные (ЭТ-КОРТАВ) данные $\Sigma(-T_i)_{\text{ср}}$, $\Sigma(-T_i)_{\max}$ для региона Урала по 42-м годостанциям наблюдений. Наблюденные (и расчетные по уравнению регрессии на ПК) значения $\Sigma(-T_c)_{\max}$ приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Зависимость $\Sigma(-T_c)_{\max} = f\Sigma(-T_c)_{\text{ср}}$

$\Sigma(-T_c)_{\text{ср}}$, град	$\Sigma(-T_c)_{\max}$, град	
	наблюденные	расчетные
1550	2283	2284,000
1650	2285	2284,128
1750	2313	2322,685
1850	2450	2401,171
1950	2460	2519,585
2050	2700	2677,928

Уравнение регрессии

$$\Sigma(-T_c)_{\max} = 7412,6232 - 6,4022 \Sigma(-T_c)_{\text{ср}} + 0,001996[\Sigma(-T_c)_{\text{ср}}]^2$$

при статистиках: среднем квадратическом отклонении $\sigma = 46,63$;

коэффициенте корреляции $K_{\text{кр}} = 0,974$;

критерии Фишера $F(2, 3) = 28,212 > F_{T(0,05)} = 9,55$ (прил. 1.6);

Линейная зависимость $\Sigma(-T_c)_{\max} = 1,4\Sigma(-T_c)_{\text{ср}}$.

Для зависимости $\Sigma(-T_m)_{\min} = f[\Sigma(-T_m)_{\text{ср}}]$ получено уравнение

$$\Sigma(-T_m)_{\min} = 135,7629 - 2,7995\Sigma(-T_m)_{\text{ср}} + 0,9332[\Sigma(-T_m)_{\text{ср}}]^2$$

при статистиках $\sigma = 3,209$; $K_{\text{кр}} = 0,981$; $F_{(2,15)} = 50,028 > F_{\text{т}(0,05)} = 3,68$.

Линейная зависимость $\Sigma(-T_m)_{\min} = 1,5\Sigma(-T_m)_{\text{ср}}$.

Задача 2.3. Определить интервал параметра $\Sigma(-T_m)$, при котором он будет определен с заданной доверительной вероятностью.

Пример. Определить доверительный интервал значений $\Sigma(-T_m)$, если известны среднее $\Sigma(-T_m) = 65,33^\circ\text{C}$ и среднеквадратические отклонения за $n = 10, 20, 30$ лет по ст. Слюдянка (приведены в табл. 2.3) при доверительных вероятностях $p = 0,90; 0,95; 0,99$.

Здесь $p = 1 - \alpha = \Phi(t)$, α — уровень значимости.

Решение. Доверительный интервал определяется по формуле [51]

$$I_{\text{д}} = \pm t_p \sigma / \sqrt{n}.$$

По табл. прил. 1.9 находим значения t_p , соответствующие $p = 0,90—1,645$; $0,95—1,960$; $0,99—2,58$.

Вычисляем расчетные параметры (сводим результаты в табл. 2.3) и погрешности относительно средней.

Таблица 2.3

Оценки доверительного интервала при определении $\Sigma(-T_m)$

Исходные параметры		Значения $I_{\text{д}}$ при p			Отклонения от средн. (%) при p		
n	σ	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99
10	8,23	4,28	5,10	6,71	6,55	7,81	10,27
20	7,86	2,89	3,44	4,53	4,42	5,26	6,92
30	7,77	2,33	2,78	3,66	3,57	4,26	5,60

Анализируя таблицу устанавливаем, что принимаемый для определения расчетных параметров ΣT_i вариационный ряд, равный 10 годам, может давать погрешности до 10 %.

Задача 2.4. Построить розу ветров при известной повторяемости ветров по направлениям.

Пример. Построить розу ветров для ст. Ростов—Гл., если в течение года распределение повторяемости ветров $p_{\text{вп}}$ по направлениям (румбам) следующее: С — 8, СВ — 13, В — 31, ЮВ — 10, Ю — 5, ЮЗ — 11, З — 15, СЗ — 7%. Период ветров составляет 299 дней, штиль — 66.

Решение. Откладываем по каждому направлению (румбу) в масштабе величину повторяемости ветров и соединяя полученные точки строим розу ветров (рис. 2.3).

Задача 2.5. Определить равнодействующую скоростей ветров (по величине и направлению) в годичном цикле.

Пример. Определить $R_{\text{в}ij}$ по ст. Артезиан (Северный Кавказ) при следующих значениях сумм скоростей ветров $\Sigma U_{\text{в}ij}$ в годовом цикле по направ-

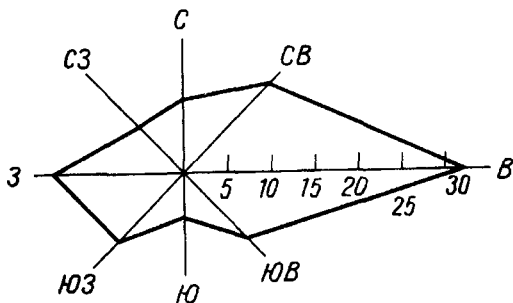


Рис. 2.3. Роза ветров

лениям (8-ми румбам): С — 144,2; СВ — 402,6; В — 787,2; ЮВ — 281,6; Ю — 51,0; ЮЗ — 346,4; З — 400,6; СЗ — 346,2 м/с.

Решение. Суммы скоростей ветров $\Sigma U_{втjij}$, как векторные величины, откладываем в принятом масштабе с соблюдением направлений по румбам. Получаем многоугольник (рис. 2.4). Замыкающий вектор в нем является равнодействующей по величине и направлению. $R_{Uij} = 450$ м/с СВ направления.

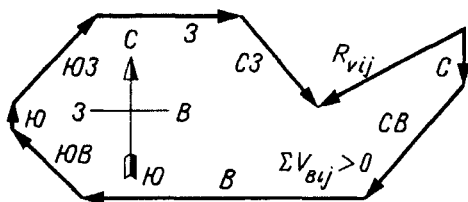


Рис. 2.4. Определение равнодействующей R_{Uij}

Задача 2.6. Для прогнозных расчетов определить возможные зависимости скоростей ветров $U_{втmax}(U_{втср})$.

Решение. Прогнозные определения скоростей ветров возможны по уравнениям регрессии, по кривым обеспеченности.

Пример 1. Имеются данные ГМС о суточных скоростях ветров средних $U_{втср}$ и максимальных $U_{втmax}$ за годичный срок по ст. Артезиан.

Группируем суточные данные $U_{втср}$ и $U_{втmax}$, пользуясь корреляционной таблицей КОРТАВ (табл.2.4).

Аналитические зависимости устанавливаем, пользуясь программой RPM. Получаем уравнение регрессии 2-й степени

$$U_{втmax} = 0,1528 + 1,4300 U_{втср} + 0,0611 U_{втср}^2$$

при статистиках $\sigma = 1,253$; $K_{кр} = 0,970$; $F(2,7) = 63,186 > F_{T(0,05)} = 4,74$.

Линейная зависимость $U_{втmax}(U_{втср})$ с коэффициентом 1,6—2,0.

В суточном цикле $U_{втmin}$ в 2 часа, $U_{втmax}$ в 14 часов.

Таблица 2 4

Анализ зависимости $U_{\text{ВТmax}}$ ($U_{\text{ВТсп}}$)

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ (ЭТ- KORTAB)																
Параметр у		Параметр х — интервалы и средние значения — $U_{\text{ВТсп}}$ м/с														
Интер-Сред	валы зна-															
чения	чения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	00	00	Количе-	Средние	
															ство	по х
	$U_{\text{ВТmax}}$															
9	0 00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0 00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	20 19 00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2	9 00
12	18 17 00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	8 50
13	16 15 00	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	4	7 75
14	14 13 00	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0	6	7 67
15	12 11 00	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	6	7 00
16	10 9 00	0	0	0	6	4	7	5	4	0	0	0	0	0	26	5 38
17	8 7 00	0	1	6	25	37	25	7	2	0	0	0	0	0	103	4 55
18	6 5 00	0	12	56	55	23	4	0	0	0	0	0	0	0	150	3 17
19	4 3 00	3	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	1 90
20	2 1 00	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1 00
22	Количество	8	45	87	86	64	37	16	13	7	2	0	0	0	365	3 73
23	Средние по у	1 75	3 40	4 56	5 86	6 41	7 27	9 00	11 00	14 71	18 00	00	00	00	6 02	

Пример 2. Имеются обобщенные данные за 365 суток одного года по ст. Зензели. Вариационные ряды $U_{\text{ВТсп}}$ с размахом в пределах нижнем — inf (инфинум) 0,5 м/с, верхнем — sup (супремум) 8,5 м/с и $U_{\text{ВТmax}}$ до 20,0 м/с (порывы более 30 м/с).

Выполняем необходимые вычисления (пользуясь ЭТ) и получаем ординаты, по которым строим кривые вероятностей превышения (обеспеченности). На рис. 2.5 показаны *I* — кривые распределения $U_{\text{ВТсп}}$, $U_{\text{ВТmax}}$ и интегральные; *II* — кривые обеспеченности.

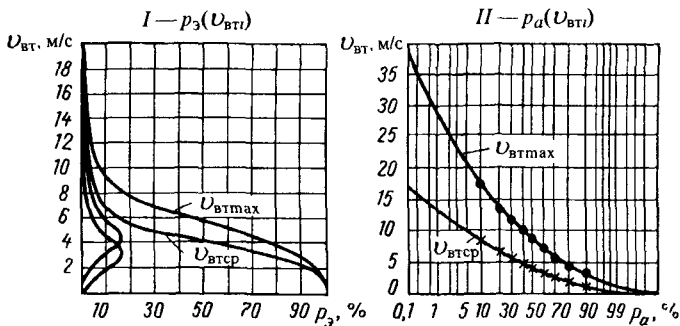


Рис 2 5. Кривые $U_{\text{ВТi}}$: *I* — распределения $U_{\text{ВТi}}$, интегральные, *II* — обеспеченности

2.1.3. Параметры дождевого стока, уровненного режима рек

Задача 2.7. Для прогнозных расчетов определить количество возможных суточных осадков.

Исходные данные: упорядоченный ряд максимальных суточных осадков $\delta_{\text{сmax}}$ по ст. Сочи (по месяцам года).

Решение. Параметры упорядоченного (убывающего) ряда данных заносим в табл. 2.5. Эмпирические вероятности превышения p_z принимаем по табл. прил. 17 и значения эмпирической кривой наносим на вероятностную (логарифмическую) сетку (рис. 2.6-л). Вычисляем

$$\text{среднее значение } \bar{\delta}_{\text{сmax}} = \sum \delta_{\text{сmax}i} / n = 1119,8 / 12 = 93,3 \text{ мм,}$$

среднее квадратическое отклонение

$$\delta = [\sum (\delta_{\text{сmax}i} - \bar{\delta}_{\text{сmax}})^2 / (n - 1)]^{0,5} = [35714,84 / (12 - 1)]^{0,5} = 56,98;$$

$$\text{коэффициент вариации } C_v = \delta / \bar{\delta}_{\text{сmax}} = 56,98 / 93,3 = 0,6;$$

$$\text{коэффициент асимметрии } C_s = 2C_v = 2 \cdot 0,6 = 1,2.$$

Таблица 2.5

Параметры кривых обеспеченности $\bar{\delta}_{\text{сmax}}$

Параметры эмпирической кривой				Параметры аналитической кривой		
$\delta_{\text{сmax}i}, \text{ мм}$	$(\delta_{\text{сmax}i} - \bar{\delta}_{\text{сmax}})$	$(\delta_{\text{сmax}i} - \bar{\delta}_{\text{сmax}})^2$	$p_z, \%$	$p_a, \%$	Φ_p	$\delta_{\text{сmax}p}$
245,2	151,9	23073,61	7,7	0,01	6,4	451,6
159,8	66,5	4422,25	15,4	0,1	4,8	362,0
107,1	13,8	190,44	23,1	1,0	3,1	266,8
99,0	5,7	32,49	30,8	10,0	1,3	166,8
75,2	-18,1	327,61	38,5	20,0	0,7	132,5
75,0	-18,3	334,89	46,2	50,0	-0,2	82,1
68,1	-25,2	635,04	53,8	90,0	-1,1	31,7
66,0	-27,3	745,29	61,5	99,0	-1,4	14,9
64,4	-28,9	835,21	69,2	99,9	-1,6	3,7
62,2	-31,1	967,21	76,9			
59,1	-34,2	1169,64	84,6			
38,7	-56,4	2981,16	92,3			

По таблице прил. 1.8 находим значения ординат кривой обеспеченности Φ_p , вычисляем ординаты аналитической кривой (табл. 2.5) $\delta_{\text{сmax}p} = (1 + \Phi_p \cdot C_v) \cdot \bar{\delta}_{\text{сmax}}$; наносим полученные ординаты на вероятностную сетку и строим кривую обеспеченности для возможных max суточных дождевых осадков по ст. Сочи (рис. 2.6-л).

При некотором несовпадении ординат эмпирической и теоретической кривых, совмещение их достигается итерационно [76] при варьировании C_s , а затем теоретическая кривая продолжается в область малых значений $p\%$.

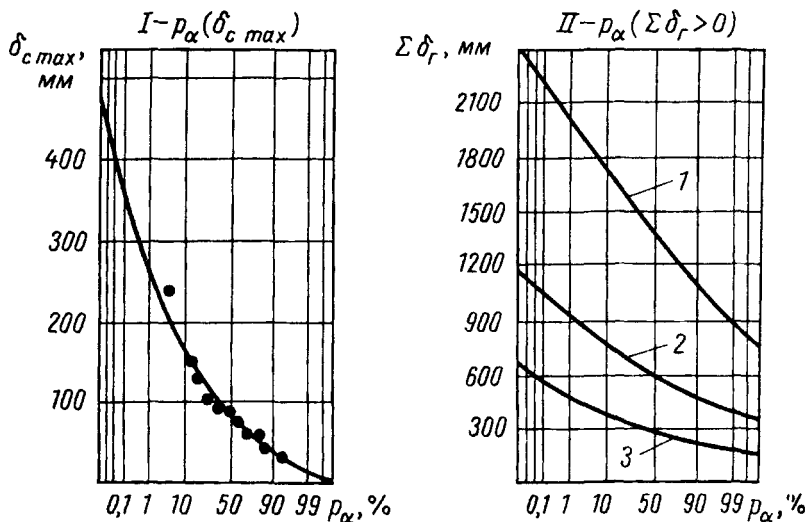


Рис. 2.6. Кривые обеспеченности I — $\delta_{c \max}$ (ст. Сочи), II — $\Sigma \delta_r$;
1 — ст. Туапсе, 2 — ст. Ростов-Гл., 3 — ст. Ижевск

Задача 2.8. Для прогнозных расчетов стокообразования выделить стокообразующие дожди: для откосов неукрепленных $\delta_{>3}$ мм, с травяным покровом $\delta_{>5}$ мм, ливневые дожди $\delta_{>10}$ мм.

Решение. По коэффициентам градации $K_r = \Sigma \delta_i / \Sigma \delta_{>0}$.

Коэффициент градации равен $K_r = 1,00 - 0,05j$, где $j \in 0, 10$.

При $j > 0$ $K_r = 1,0$; $j > 3$ $K_r = 0,85$; $j > 5$ $K_r = 0,75$; $j > 10$ $K_r = 0,50$.

Пример. В районе выемки 1308 км дождевых осадков выпадает $\delta_{>0} = 674$ мм.

Тогда $\Sigma \delta_{>j} = K_r \Sigma \delta_{>0}$.

$\delta_{>3} = 0,85 \cdot 674 = 574$ мм; $\delta_{>5} = 506$ мм; $\delta_{>10} = 337$ мм.

Задача 2.9. Для прогнозных расчетов определить вероятностные значения дождевых осадков.

Пример. Определить возможные дождевые годовые осадки $\Sigma \delta_{>0}$ по ст. Ижевск, осадки по ст. Туапсе, ст. Ростов-Гл.

Исходные данные. Величины дождевых годовых осадков $\Sigma \delta_{r>0}$ по ст. Ижевск за 20 лет при inf — 193,12 мм, sup — 440,6 мм, вычисленные средние $\Sigma \delta_{r>0} = 303,76$ мм, коэффициенты $C_v = 0,214$, $C_s = 0,428$; по ст. Туапсе осадки за 15 лет при inf — 963,5, sup — 2021,4 мм, вычисленные средние $\Sigma \delta_{r>0} = 1392,6$ мм, коэффициенты $C_v = 0,172$, $C_s = 0,344$; по ст. Ростов-Гл. за 10 лет при inf — 437,6, sup — 804,1 мм, средние $\Sigma \delta_{r>0} = 606,7$ мм, коэффициенты $C_v = 0,190$, $C_s = 0,380$.

Расчетные параметры кривых обеспеченности, полученные на ЭТ, приведены в табл. 2.6. Кривые обеспеченности для ст. Ижевск, ст. Туапсе и ст. Ростов-Гл. показаны на рис. 2.6-II.

Таблица 2.6

Вероятностные значения дождевых осадков $\Sigma\delta_{T>0}$

$p, \%$	0,01	0,10	1,00	5,00	50,0	80,0	95,0	99,0	99,9
ст. Ижевск	607	544	474	416	301	249	206	173	143
ст. Туапсе	2455	2256	2005	1820	1379	1184	1030	891	766
ст. Ростов-Гл	1140	1031	910	807	600	509	431	370	315

Задача 2.10. Определить максимальный расход дождевого стока (вероятности превышения p).

Решение. Расчет стока выполняется согласно инструктивно-нормативным документам: СНиП 2.02.01 14-83 [92], «Инструкции по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов (ВСН 63-76)». Вычисляется дождевой сток по формуле

$$Q_c = 16,67 a_{вд} \Phi_c F_{вс} \gamma_{но} \delta_{бо}$$

где $a_{вд} = \delta_{в}/t_{в}$ — средняя интенсивность водоотдачи дождя, мм/мин. ($\delta_{в}$ — максимальная толщина слоя водоотдачи, мм; $t_{в}$ — время водоотдачи, мин.); Φ_c — коэффициент полноты стока; $F_{вс}$ — площадь водосборного бассейна; $\gamma_{но}$ — коэффициент, учитывающий неровности выпадения осадков на территории водосбора; $\delta_{бо}$ — коэффициент, учитывающий наличие болот, озер [79, 98].

Для предварительных, ориентировочных расчетов допускается применение приближенных методов по номограммам.

Пример. Определить максимальный расход дождевого стока в районе Среднего Урала, вероятности превышения 1%.

Исходные данные. площадь водосбора $F_{вс} = 0,5 \text{ км}^2$, грунты глинистые, уклон лога $I_{л} = 0,022$.

Решение Воспользуемся картой-схемой дождевых районов, рис. 2.7 и номограммой рис. 2.8.

Группа климатических районов: *I* — при дождевом районе 10; *II* — при районах 7, 8, 9; *III* — 5, 6; *IV* — 3а, 4; *V* — 1, 2, 3.

Определяем по карте-схеме дождевой район — 5, группа климатического района *III*.

По номограмме на шкале $I_{л}$ через точку, соответствующую уклону 22‰, проводим вертикаль до пересечения с линией группы *III* климатического района, а затем горизонталь до пересечения со шкалой x в точке *A*. На шкале F через точку, соответствующую площади 0,5 км проводим вертикаль до пересечения с линией группы 5-го дождевого района, а затем горизонталь до пересечения со шкалой y в точке *B*. На пересечении прямой *AB* со шкалой Q определяем расход $Q_{1\%} = 5,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для глинистых грунтов при $p = 1,0 \%$

$$Q_p = Q_{1\%} K_q = 5,4 \cdot 1,05 = 5,67 \text{ м}^3/\text{с}$$

где K_q — поправочный коэффициент, принимаемый по табл. 2.7.

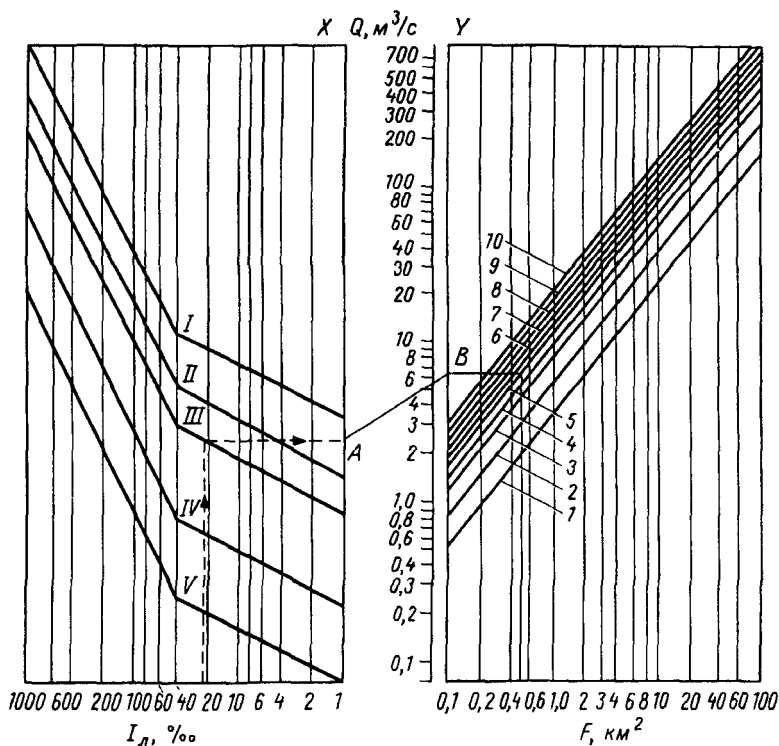


Рис 28. Номограмма для определения дождевых расходов вероятности превышения 1% при песчаных и супесчаных почвах

Таблица 2.7

Значения коэффициента K_q

Грунты водосборной площади	K_q при вероятности p , %		
	0,33	1,00	2,00
Глинистые, суглинок	1,46	1,05	0,88
Песчаные, супесчаные	1,39	1,00	0,84
Рыхлые	1,32	0,96	0,80

Задача 2.11. Построить гидрографы $H_{ст}$, $H_{гвв}$ в годовом периоде для рек равнинной и горной, определить особенности.

Пример. Исходная информация: имеются данные наблюдений $H_{ст}$, $H_{гвв}$ для равнинной реки Иртыш (месячные данные за 25 лет), для горной реки Пшеха (декадные данные гидрометрического поста Сев-Кав. жел. до- роги за 5 лет).

Решение. Вычерчиваем (в принятом масштабе) гидрографы уровней рек в годовых периодах (показаны на рис. 2.9).

Анализируя, устанавливаем, что уровенный режим равнинной реки характеризуется временным постоянством — $H_{стmax}$ в весенний период снеготаяния.

На горной реке $H_{стmax}$ может быть в разные периоды года — при снеготаянии, при ливнях, смерчах, интенсивном таянии ледников. Соответственно, расчетные уровни горных рек следует определять по огибающему контуру гидрографа, прогнозные — по кривым вероятности превышения.

Максимальный расчетный уровень воды принимается [90] по наивысшим годовым уровням $H_{ств}$ с обеспеченностью: для сооружений I класса — 1% (вероятность превышения 1 раз в 100 лет), II — 5% (1 раз в 20 лет), III — IV — 10% (1 раз в 10 лет). Для обеспечения надежности ОЗП вероятность превышения должна быть малой.

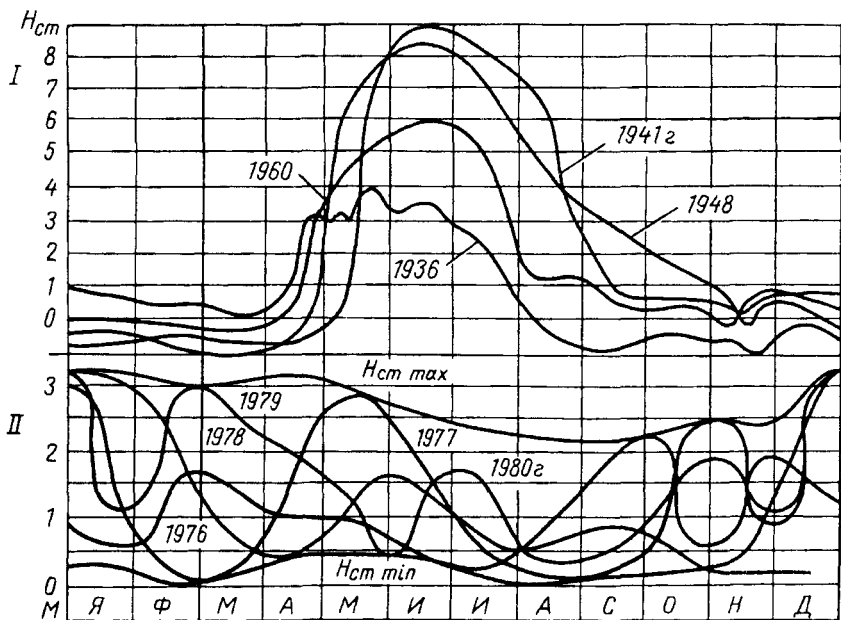


Рис. 2.9. Гидрографы рек $H_{ст}(t)$: I — р. Иртыш; II — р. Пшеха

Задача 2.12. Определить зависимость $H_{max}(H_{ср})$ для равнинной реки, прогнозные оценки для заданной вероятности превышения.

Решение. Исходные данные статистически анализируются в корреляционной таблице ЭТ, зависимость устанавливается уравнением регрессии по программе RPM.

Пример. Определить зависимости $H_{\max}(H_{\text{ср}})$ для реки Белая.
Исходные данные: результаты месячных наблюдений за 5 лет.
Решение. Корреляционный анализ в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Анализ зависимости $H_{\text{стmax}}(H_{\text{стср}})$

	A	B	C	D	E	F	G	J	K	
1	КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ (ЭТ - KORTAV)									
2	-----									
3	-----									
4	Параметр у		Параметр x — интервалы и средние значения —						$H_{\text{стср}}, \text{м}$	
5	Интер-	Средние	-----							
6	валы	значен.	.2	.4	.6	.8	1	Количе-	Средние	
7		$H_{\text{стmax}}$	10	.30	.50	.70	.90	ство	по	
8	-----									
9	0	.00	0	0	0	0	0	0	.00	
10	1.8	1.70	0	0	1	2	1	4	.70	
11	1.6	1.50	0	0	1	1	1	3	.70	
12	1.4	1.30	0	0	1	1	1	3	.70	
13	1.2	1.10	0	4	1	4	0	9	.50	
14	1	.90	0	3	3	3	0	9	.50	
15	.8	.70	1	9	6	1	0	19	.39	
16	.6	.50	2	2	1	0	0	5	.26	
17	.4	.30	5	2	0	0	0	7	.16	
18	.2	.10	1	0	0	0	0	1	.10	
19	-----									
20	Количество		9	20	16	12	3	60	.43	
21	Средние по у		.37	.75	.90	1.17	1.50	.85		
22	-----									

Уравнение регрессии $H_{\max} = 0,283 + 1,273H_{\text{ср}} - 0,0179H_{\text{ср}}^2$
при статистиках $\sigma = 0,086$; $K_{\text{кр}} = 0,988$; $F(2, 2) = 42,28 > F_{\tau}(0,05) = 19,00$.

Кривая обеспеченности на рис. 2.10-II.

При репрезентативном ряде наблюдений не менее 25 лет, малой асимметрии, корреляционном отношении $p_k = \sqrt{1 - (\sigma_3/\sigma)^2} \leq 0,6$ (σ_3 — средне-квадратическое отклонение эмпирических точек от теоретической кривой) расчетный уровень заданной вероятности превышения можно определять, используя двухпараметрические кривые нормального распределения

$$H_p = H_{\text{ст}} + \Phi_p \sigma,$$

где Φ_p — ординаты (квантили) теоретической кривой распределения вероятности.

Задача 2.13. Определить прогнозные параметры расчетного уровня рек заданной вероятности превышения по данным многолетних наблюдений.

Решение. По методике решения задачи 1.24.

Пример. Имеются данные наблюдений $n = 11$ лет $H_{\text{ст}}$ реки Пшеха. Решение выполняется в табличной форме табл. 2.9. с построением кривой обеспеченности.

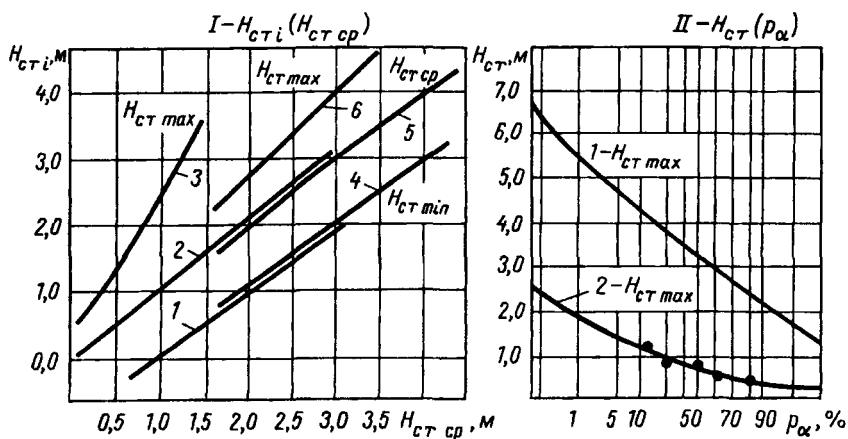


Рис. 2.10. Параметры уровневого режима рек:
 I — зависимости $H_{ст i} (H_{ст ср})$: 1, 2, 3 — р. Пшеха; 4, 5, 6 — р. Мзымта;
 II — кривые обеспеченности: 1 — р. Пшеха; 2 — р. Белая

Таблица 2.9

Параметры кривых обеспеченности

Параметры эмпирической кривой					Параметры аналитической кривой				
Годы m	$H_{ст i}, м$	$H_i - \bar{H}$	$(H_i - \bar{H})^2$	$p_3, \%$	$p_{\alpha}, \%$	Φ_p	$\Phi_p C_v$	$K_H = 1 + \Phi_p C_v$	$\frac{H_{пр} =}{K_H \bar{H}_{ст}}$
1	1,83	-1,44	2,0736	8,33	0,1	3,81	0,9525	1,9525	6,38
2	2,39	-0,88	0,7744	16,67	1,0	2,68	0,6700	1,6700	5,46
3	2,55	-0,72	0,5184	25,00	10,0	1,32	0,3300	1,3300	4,37
4	2,91	-0,36	0,1296	33,33	30,0	0,46	0,1150	1,1150	3,65
5	3,13	-0,14	0,1960	41,67	50,0	-0,08	-0,020	0,9800	3,20
6	3,31	0,04	0,0016	50,00	70,0	-0,58	-0,145	0,8550	2,80
7	3,51	0,24	0,0576	58,33	90,0	-1,22	-0,305	0,6950	2,27
8	3,81	0,54	0,2916	66,67	99,0	-1,96	-0,490	0,5100	1,67
9	4,01	0,74	0,5476	75,00	99,9	-2,40	-0,600	0,4000	1,31
10	4,20	0,93	0,8649	83,33					
11	4,31	1,04	1,0816	91,67					
11	35,96		6,5369						

Среднее арифметическое значение $\bar{H}_{ст} = 35,96/11 = 3,27$ м.

Среднее квадратичное отклонение $\sigma_H = \sqrt{6,5369/(11 - 1)} = 0,81$.

Коэффициент вариации $C_v = 0,81/3,27 = 0,25$.

Коэффициент асимметрии $C_s = 2 \cdot 0,25 = 0,50$; $p_3 = 100m/(n + 1), \%$.

Параметры кривой обеспеченности $\Phi(p, C_s) = \Phi_p$ приняты по справочнику [97, т. 2], табл. 4. Кривая обеспеченности приведена на рис. 2.10-II.

Задача 2.14. Определить зависимости уровня режима рек $H_{стi}$ ($H_{стср}$).

Пример. По данным корреляционного анализа получены ряды парной зависимости $H_{стmax}$ и $H_{стср}$ для реки Пшеха, которые приведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Параметры зависимости $H_{стmax}(H_{стср})$

$H_{стср}$, м	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,3
$H_{стmax}$, м	0,53	0,57	1,09	1,43	2,44	3,4
$H_{стmax}$ маш, м	0,41	0,72	1,11	1,58	2,14	3,48

В результате аппроксимации данных (по программе RPM) получено уравнение регрессии

$$H_{max} = 0,279 + 1,174H_{ср} + 0,994H_{ср}^2$$

при статистиках $K_{кр} = 0,987$; $F(2,3) = 50,736 > F_{T(0,05)} = 9,55$.

Результаты машинного вычисления $H_{стmax}$ на ПК приведены в табл. 2.10.

Зависимости $H_{мmax}(H_{смср})$, $H_{мmin}(H_{стср})$ по месячным данным и $H_{стmax}(H_{стср})$, $H_{смmin}(H_{стср})$ по суточным данным для реки Пшеха и реки Мзымта показаны на рис. 2.10-1.

2.1.4. Расчеты параметров волновых воздействий

Задача 2.15. На поперечном профиле пойменного водоема показать параметры гравитационных ветровых волн, оказывающих воздействие на насыпь.

Решение. Параметрами волнового воздействия являются:

расчетная высота волны $h_{вi}$ — вертикальное расстояние между ее вершиной и подошвой с задаваемой вероятностью превышения этой высоты (расчетной обеспеченности) $i\%$ согласно данным табл. 2.11; длина волны $\lambda_{в}$ (средняя $\lambda_{в}$) — горизонтальное расстояние между смежными вершинами или подошвами; крутизна волны — отношение $h_{вi}/\lambda_{в}$; пологость волны — отношение $\lambda_{в}/h_{вi}$; период волны $T_{в}$ — время перемещения гребня волны в горизонтальном направлении на длину $\lambda_{в}$.

Разгоном ветровых волн $L_{вв}$ называется протяжение водной поверхности (акватории) по направлению ветра, вызывающего образование волн.

Параметры волнового воздействия определяются согласно нормативным положениям и методам расчета по СНиП 2.06.04-82.

Зоны водоема (поймы) глубоководная ($H_1 > 0,5\lambda_{в}$), мелководная, прибойных волн ($H_2 \geq 2h_{в}$), приурезовая. Параметры волны показаны на рис. 2.11. Продольный профиль водоема (поймы) и его размерные параметры показаны на рис. 2.12.

Высота наката волны на откос равна

$$H_{\text{нк}} = d_0 = d_f + d_{\text{пд}} + \Delta h_{\text{сет}} + h_{\text{рун}}i + a,$$

где d_f — глубина водоема у подошвы насыпи; $d_{\text{пд}}$ — высота подпора воды у искусственного сооружения; $\Delta h_{\text{сет}}$ — высота ветрового нагона воды; $h_{\text{рун}}$ — высота наката на откос волн (обеспеченностью 1%); a — высота запаса (0,5 м для насыпи, 0,25 для берм).

Таблица 2.11

Расчетная обеспеченность i % для расчетных параметров
(согласно СНиП 2.06.04-82)

Наименование параметров	i %
Наивысший уровень воды ($H_{\text{уб}}$) d_f для железных дорог I, II, III категорий	0,33
То же для железных дорог IV категории	1,0
То же для подъездных дорог IV, V категорий	2,0
Высота волны $h_{\text{в}}$ для железных дорог I, II, III категорий	1,0
То же для расчетной высоты наката $h_{\text{рун}}$	1,0
То же для расчета бетонных, железобетонных укреплений (покрытий)	1,0
То же для расчета каменных набросок	2,0

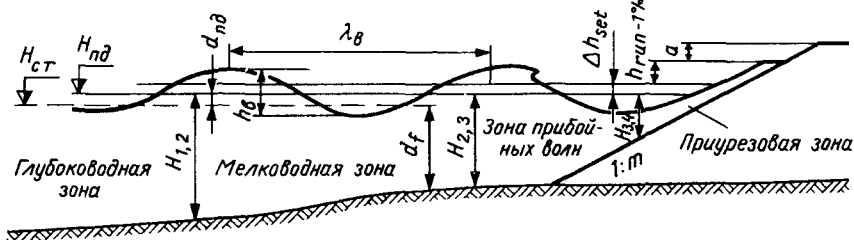


Рис 2.11 Зоны водоема (поймы)

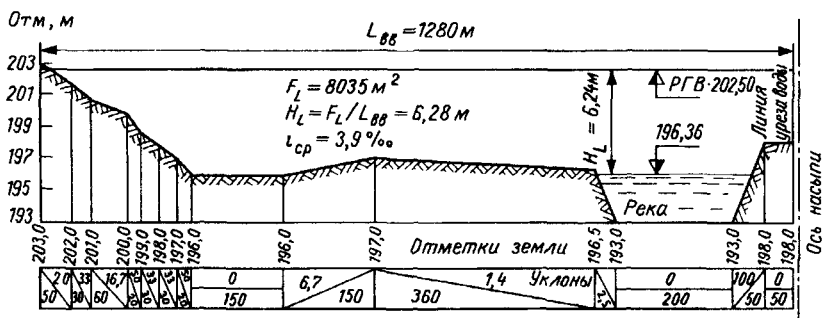


Рис. 2.12 Продольный профиль водоема (поймы)

Задача 2.16. Определить расчетные параметры ветра: скорость, длину разгона ветровых волн.

Решение. Расчетная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем воды определяется по формуле $U_{BT} = K_z K_{fl} U_{BZ}$,

где U_{BZ} — скорость ветра, измеряемая на высоте Z м;

K_z — коэффициент приведения (к высоте 10 м), принимаемый по табл. 2.12;

K_{fl} — коэффициент пересчета данных по скоростям ветра (измеряемым по флюгеру, табл. 2.12).

Таблица 2.12

Расчетные коэффициенты и параметры ветра

Скорость ветра U_{BT} , м/с	Значения коэффициентов			Значения предельного разгона $L_{ви} \cdot 10^{-3}$, м
	K_B	K_z	K_{fl}	
5	—	1,1	—	—
10	—	1,0	—	—
20	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,9	1,00	1600
25	—	—	0,95	1200
30	$3,0 \cdot 10^{-6}$	0,9	0,92	600
35	—	—	0,89	—
40	$3,9 \cdot 10^{-6}$	0,9	0,88	200
45	—	—	0,86	—
50	$4,8 \cdot 10^{-6}$	—	0,85	100

Значения разгона ветровых волн (в акватории моря) определяется по формуле $L_{BT} = 5,10^{11} \nu / U_{BT}$,

где ν — коэффициент кинематической вязкости воздуха, принимаемый равным 10 м²/с.

Значения предельного разгона $L_{ви}$ допускается принимать по табл. 2.12.

Пример. Дано: скорость ветра, измеренная на высоте $Z = 5$ м, полученная с 2% обеспеченностью, $U_{BZ} = 18,5$ м/с.

Решение. Вычисляем расчетную скорость ветра, значения коэффициентов принимаем по табл. 2.12.

$$U_{BT} = 1,1 \cdot 1,0 \cdot 18,5 = 20,4 \text{ м/с.}$$

Задача 2.17. Определить высоту ветрового нагона волн.

Решение. Высота ветрового нагона волн определяется (при недостатке натуральных наблюдений) методом последовательного приближения по формуле

$$\Delta h_{set} = K_B U_{BT}^2 L_{BB} \cos \alpha_B / [g(d_f + \Delta h_{set})],$$

где α_B — угол между продольной осью водоема и направлением ветра, град.; L_{BB} — разгон ветровых волн, м; K_B — коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости ветра по табл. 2.12; d_f — глубина водоема, м; g — ускорение свободного падения, м²/с.

Пример. Дано. масштабный план поймы (рис. 2.13), $U_{BT} = 20,4$ м/с, $d_f = 4,96$ м

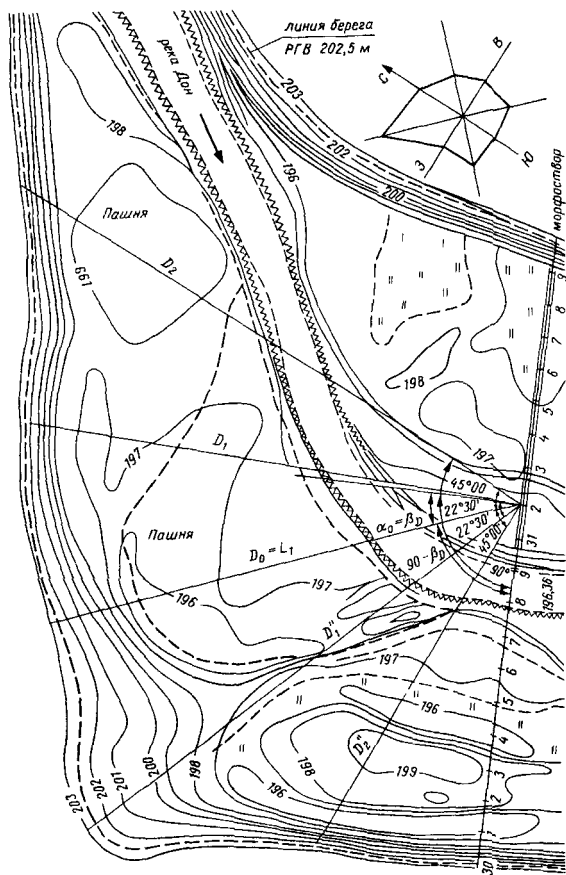


Рис 2 13 План поймы реки

Коэффициент K_B определяем по табл. 2 12 $K_B = 2,14 \cdot 10^{-6}$.

На плане поймы определяем длину луча $L_1 = 740$ м, соответствующего С—З направлению ветра, с наибольшей обеспеченностью (по розе ветров); угол между нормалью к оси пути $\alpha_0 = 20,1^\circ$, $\cos \alpha_0 = 0,939$.

Для первой итерации примем $\Delta h_{set} = 0,0$, тогда расчетное значение

$$\Delta h_{set} = 2,14 \cdot 10^{-6} \cdot 20,42 \cdot 740 \cdot 0,939 / (9,81 \cdot 4,96) = 0,013 \text{ м.}$$

Второе приближение

$$\Delta h_{set} = 2,14 \cdot 10^{-6} \cdot 20,42 \cdot 740 \cdot 0,939 / [9,81 \cdot (4,96 + 0,013)] = 0,013 \text{ м.}$$

За расчетное принимаем $\Delta h_{set} = 0,013$ м.

Задача 2.18. Определить расчетные параметры волнового воздействия. высоту волны h_B , длину λ_B , период волны T_B (в глубоководной зоне поймы простой конфигурации).

Решение. Средняя высота волны h_B и средний период волны T_B определяются, пользуясь графиком рис. 2.14 (СНиП 2.06.04-82) По верхней огибающей кривой графика при значениях безразмерных величин gL_{BB}/U_{BT}^2 и gt_B/U_{BT} определяются (по осям ординат) значения $g\bar{h}_B/U_{BT}^2$ и $g\bar{T}_B/U_{BT}^2$ и по меньшим их величинам принимаются (вычисляются) средняя высота h_B и средний период T_B (на графике индекс $w \equiv vt$)

Средняя длина волны λ_B при известных значениях T_B определяется по формуле $\lambda_B = gT_B^2/(2\pi)$.

Пример. Дано: $L_{BB} = 740$ м; $U_{BT} = 20,9$ м/с, $d_f = 4,96$ м; продолжительность непрерывного действия ветра над водной поверхностью $t_B = 1,1$ часа

Вычисляем при $L_{BB} = 740$ м: $gL_{BB}/U_{BT}^2 = 9,81 \cdot 740/20,9^2 = 16,62$;

при $t_B = 1,1$ ч: $gt_B/U_{BT} = 9,81 \cdot 3600/20,9 = 1859$.

По верхней огибающей кривой находим (рис. 2.14)

по шкале gL_{BB}/U_{BT}^2 : $g\bar{T}_B/U_{BT} = 0,93$; $g\bar{h}_B/U_{BT}^2 = 0,0078$;

по шкале gt/U_{BT} $gh_B/U_{BT}^2 = 0,044$.

Тогда (по меньшим значениям параметров)

$T_B = 0,93 \cdot 20,9/9,81 = 1,98$ с; $h_B = 0,0078 \cdot 20,9/9,81 = 0,35$ м.

Средняя длина волны $\lambda_B = 9,81 \cdot 1,98^2/(2\pi) = 6,12$ м.

Проверяем условие глубоководной зоны $d_f = 4,96 > 0,5\lambda_B = 3,06$ м.

Задача 2.19. Оценить конфигурацию береговой черты (поймы).

Решение. Оценка сложности береговой черты акватории водоема производится по соотношению лучей ветрового разгона.

Расчетная схема — план водоема (поймы) на рис. 2.15.

На плане поймы устанавливается расчетный поперечник. В соответствии с розой ветров определяется направление (румб) преимущественной повторяемости ветра. По этому (основному) направлению от пк + поперечника проводится основной луч D_0 до пересечения с урезом воды. Другие лучи проводятся с углами $22^\circ 30'$ и $45^\circ 00'$ в обе стороны от основного луча. Длины лучей измеряются. В секторе $+45^\circ$ рассматривается отношение лучей наибольшей L_{\max} и наименьшей L_{\min} длины, которые проведены из точки расчетного поперечника до пересечения с подветренным берегом. При этом препятствия с угловым размером менее $22,5^\circ$ не учитываются.

Если $L_{\max}/L_{\min} > 2,0$, то конфигурация береговой черты принимается сложной.

Пример. Имеется план поймы и роза ветров (рис. 2.15).

Расчетный поперечный профиль на пк 271 + 50.

Решение. Из расчетной точки пересечения уреза воды при $H_{ст}$ с образующей откоса в расчетном поперечнике насыпи проводим основной луч D_0 Ю—З по преимущественному направлению ветра (с наибольшей обеспеченностью) и другие лучи D_i с углами $22^\circ 30'$ в секторе $\pm 45^\circ$. Измеряем длины лучей и заносим в табл. 2.13.

Находим отношения $L_{\max}/L_{\min} = 1170/510 = 22,9 > 2,0$, которое показывает, что конфигурация береговой черты Ю—З ориентации сложная (С—В — не сложная, В — сложная).

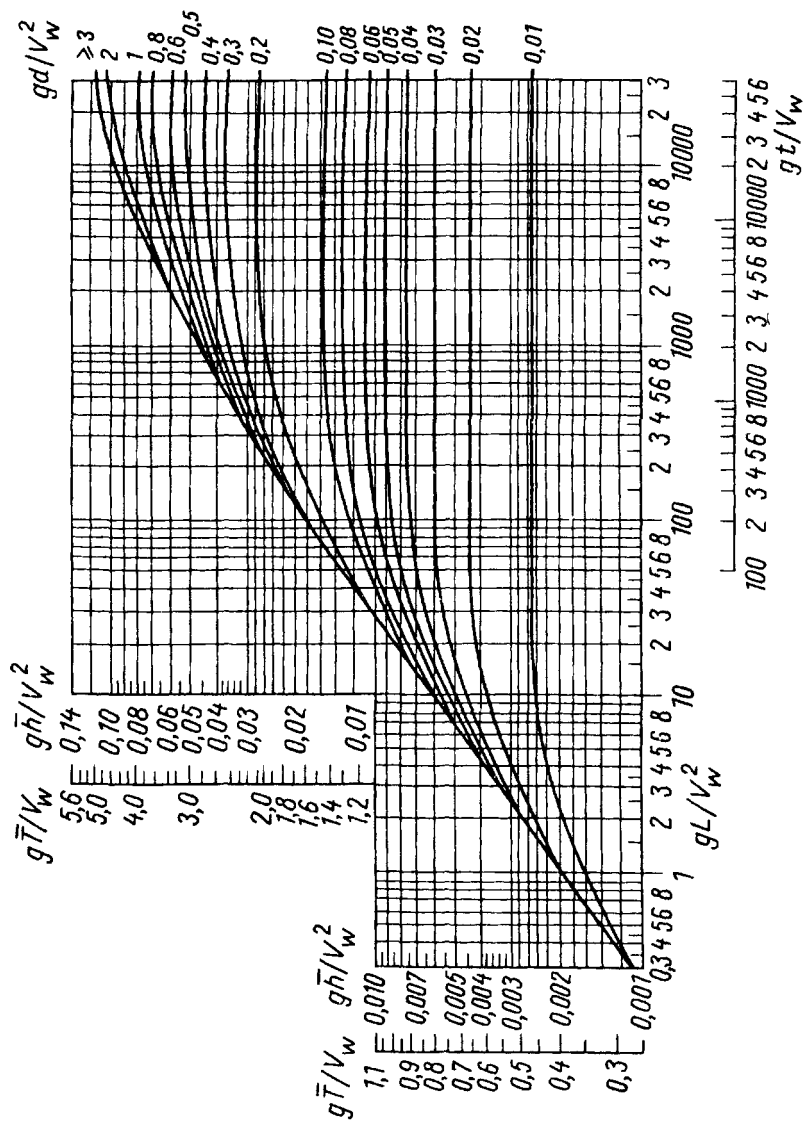


Рис 2.14 Графики для определения элементов ветровых волн в глубоководной и мелководной зонах

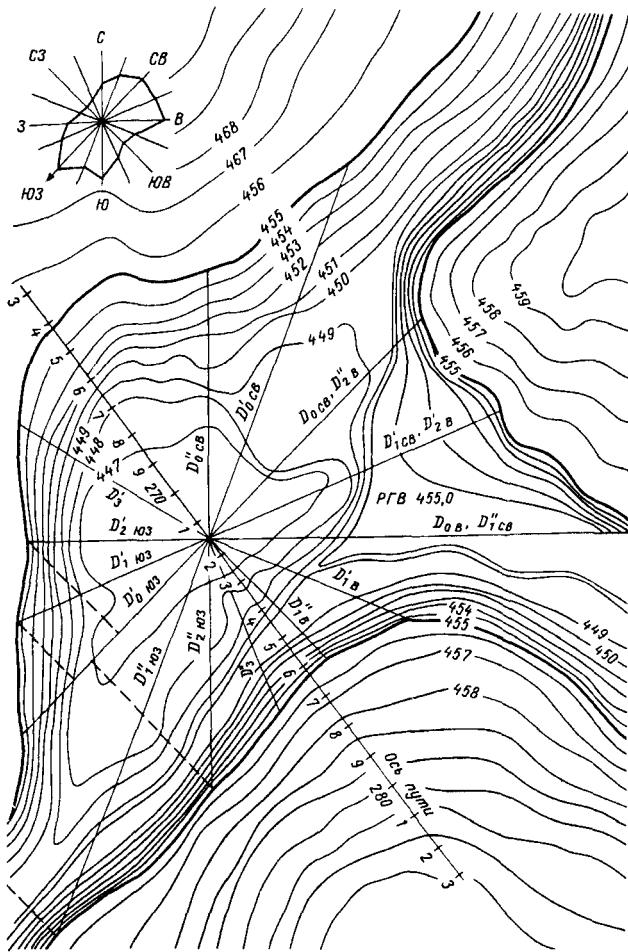


Рис. 2.15 План водоема (поймы).

Таблица 2.13

Размерные параметры поймы

D_i	D_3'	D_2'	D_1'	D_0	D_1''	D_2''	D_3''
$L_i, м$	620	510	580	750	1170	680	520
β_i	67° 30'	45°	22° 30'	0	-22° 30'	-45°	-67° 30'

Задача 2.20. Определить расчетные параметры (высоту, длину, период волны) в глубоководной зоне при сложной конфигурации береговой черты.

Решение. При сложной конфигурации береговой черты (поймы, рис. 2.15), когда отношение длин лучей $L_{\max}/L_{\min} > 2$, средняя высота h_B определяется по формуле

$$\bar{h}_B = 0,1[25\bar{h}_1^2 + 21(\bar{h}_2^2 + \bar{h}_{-2}^2) + 13(\bar{h}_3^2 + \bar{h}_{-3}^2) + 3,5(\bar{h}_4^2 + \bar{h}_{-4}^2)]^{0,5},$$

где $n = 1; \pm 2; \pm 3; \pm 4$ — порядковые номера лучей разгона ветровых волн относительно главного, совпадающего с направлением ветра.

\bar{h}_n — средние высоты волн, которые должны приниматься по расчетной скорости ветра и проекциям лучей L_n на направление главного луча.

Средний период волны определяется по безразмерной величине gT_B/\bar{v}_{BT} , которая принимается по графику соответственно безразмерной величине gt_B/\bar{v}_{BT} .

Средняя длина волны (при известном значении T_B) определяется по формуле $\lambda_B = gT_B^2/(2\pi)$.

Пример. Известно: $v_{BT} = 20,4$ м/с; L_{Bi} ; время $t_B = 1,6$ часа.

Решение. Определяем проекции лучей L_{ni} на направление D_0 главного $L_{Bni} = L_{Bi} \cos \alpha_i$ (табл. 2.14).

Вычисляем gL_{Bni}/v_{BT}^2 , gt_B/v_{BT} , gh_B/v_{BT}^2 для каждого луча.

Таблица 2.14

Расчетные параметры определения h_B

Расчетные параметры	Значения параметров для лучей L_i , м						
	D_0	D_1'	D_1''	D_2'	D_2''	D_3'	D_3''
Длина L_i , м	750	580	1170	510	680	620	520
Проекция L_{ni} , м	750	536	1081	361	481	237	199
gL_{Bni}/v_{BT}^2	17,68	12,63	25,48	8,51	11,34	5,69	4,69
gh_B/v_{BT}^2	0,0081	0,0069	0,0097	0,0057	0,0046	0,0046	0,0041
h_{Bn} , м	0,34	0,29	0,41	0,24	0,27	0,20	0,17

По огибающей кривой графика (рис. 2.14) при этих значениях определяем величины gh_B/v_{BT}^2 , принимаем наименьшее из них и вычисляем h_{Bn} для каждого луча (в табличной форм, табл. 2.14).

Поскольку при $gt_B/v_{BT} = 9,81 \cdot 3600 \cdot 1,6/20,4 = 2770$ величина $gh_B/v_{BT}^2 = 0,051$ (по огибающей кривой) больше значений gh_B/v_{BT}^2 в табл. 2.14 (для всех лучей), то используем данные таблицы и вычислим среднюю высоту волн

$$\bar{h}_B = 0,1[25 \cdot 0,34^2 + 21 \cdot (0,29^2 + 0,41^2) + 13(0,24^2 + 0,27^2) + 3,5(0,20^2 + 0,17^2)]^{0,5} = 0,32 \text{ м.}$$

значение величины $gh_B/v_{BT}^2 = 9,81 \cdot 0,32/20,4^2 = 0,0075$.

При этом значении gh_B/v_{BT}^2 по ординатной шкале графика рис. 2.14 находим величину $gT_B/v_{BT} = 0,91$;

вычисляем $T_B = 0,91 \cdot 20,4/9,81 = 1,9$ с и по известной величине периода T_B длину волны $\lambda_B = 9,81 \cdot 1,9^2/(2 \cdot 3,14) = 5,64$ м.

Задача 2.22. Определить расчетную высоту волны однопроцентной обеспеченности.

Решение. Расчетная высота волны 1-процентной обеспеченности определяется умножением средней высоты волны \bar{h}_B на коэффициент K_i , который принимается на графиках рис. 2.16 по безразмерной величине gL_{BB}/U_{BT}^2 , определяемой по верхней огибающей кривой (рис. 2.14) при gh/U_{BT}^2 .

Расчетная высота волны $h_B = K_i \bar{h}_B$.

Пример. Дано: $U_{BT} = 20,4$ м/с; $\bar{h}_B = 0,32$ м.

Решение. Вычисляем безразмерную величину

$$gh_B/U_{BT}^2 = 9,81 \cdot 0,32/20,4^2 = 0,0075.$$

По верхней огибающей кривой графика (рис. 2.14) находим $gL_{BB}/U_{BT}^2 = 15$; на графике рис. 2.16 для $i = 1\%$ находим $K_i = 2,08$.

Тогда расчетная высота волны 1% обеспеченности

$$h_{B1\%} = 2,08 \cdot 0,32 = 0,67 \text{ м.}$$

При вероятности превышения (обеспеченности) 0,1; 1,0; 2,0; 5,0 % отношение коэффициентов $K_i/K_{1\%}$ равно 1,15—1,20; 1,0; 0,85—0,90; 0,75—0,80 соответственно.

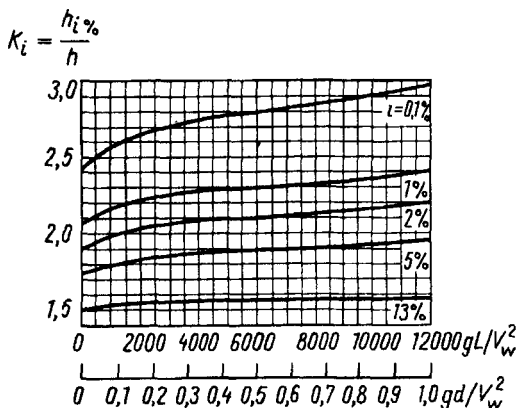


Рис. 2.16. Графики значений коэффициента K_i

Задача 2.23. Определить высоту наката волны на откос h_{run} .

Решение. Высота наката на откос волны обеспеченностью 1% ($h_{run 1\%}$, м) при глубине $d_f > 2h_B$ определяется по формуле

$$h_{run 1\%} = K_r K_p K_{sp} K_{run} K_\beta \bar{h}_{B1\%},$$

где K_r , K_p — коэффициенты, зависящие от типа покрытия (относительной шероховатости, табл. 2.15);

K_{sp} — коэффициент, зависящий от крутизны поверхности наката (угла наклона откоса к горизонту α , табл. 2.16);

K_{run} — коэффициент, зависящий от крутизны откоса (угла α) и пологости волны λ_B/h_B (табл. 2.17);

K_β — коэффициент, учитывающий изменение высоты наката в зависимости от угла β подхода фронта волны к насыпи (табл. 2.18);

$h_{в1\%}$ — высота бегущей волны обеспеченностью 1%.

Для относительной шероховатости r/h размер шероховатости r , м следует принимать равным среднему диаметру зерен (каменей, блоков) материала крепления откоса.

Таблица 2.15

Значения коэффициентов K_r (r/h_B), K_p (r/h_B)

Конструкция крепления откоса	r/h_B	K_r	K_p
Бетонными (железобетонными) плитами	—	1,0	0,9
Гравийно-галечниковое, каменное или крепление бетонными (железобетонными) блоками	0,0002	1,0	0,9
	0,005—0,01	0,95	0,85
	0,02	0,9	0,8
	0,05	0,8	0,7

Таблица 2.16

Значения коэффициента K_{sp} ($v_{вТ}, \alpha$)

Скорость ветра $v_{вТ}$, м/с	Значения $\text{ctg } \alpha$			
	0,4	0,4—2,0	3,0—5,0	более 5,0
20,0 м/с и более	1,3	1,4	1,5	1,6
10,0 м/с и менее	1,1	1,1	1,1	1,2

Таблица 2.17

Значения коэффициента $K_{гип}$ ($\lambda_B/h_B, \alpha$)

Пологость волны λ_B/h_B	Значения $\text{ctg } \alpha$			
	1,5	2,0	2,5	3,0
7	2,20	1,60	1,25	1,10
10	2,45	1,90	1,55	1,30
15	2,65	2,40	2,00	1,60
20	2,50	2,60	2,30	1,90

Таблица 2.18

Значения коэффициента K_β (β)

Значения угла β , град.	0	10	20	30	40	50	60
Коэффициент K_β	1,00	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76

Пример. Дано: $d_f = 4,96$ м; $h_B = 0,67$ м; $\lambda_B = 6,12$ м; $u_{BT} = 20,4$ м/с; $\beta = 20,1^\circ$.

Решение. Коэффициенты принимаются по табл. 2.15—2.18.

$K_r = 1,0$; $K_p = 0,9$ как для бетонных покрытий.

При $m = 2 \operatorname{ctg} \alpha = 2$; $K_{sp} = 1,4$;

При пологости волны $\lambda_B/h_B = 6,12/0,67 = 9,1$; $K_{run} = 1,8$.

При $\beta = 20,1^\circ$ $K_\beta = 0,96$.

Тогда высота бегущей волны обеспеченностью 1% равна

$$h_{run} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,4 \cdot 1,8 \cdot 0,96 \cdot 0,67 = 1,46 \text{ м.}$$

Задача 2.24. Определить волновое давление — долю гидродинамического давления, обусловленного волновым воздействием.

Решение. Эюра волнового давления на откосе, укрепленном монолитными плитами и сборным плитным покрытием (при $1,5 \leq \operatorname{ctg} \alpha < 5$), принимается по схеме рис. 2.17.

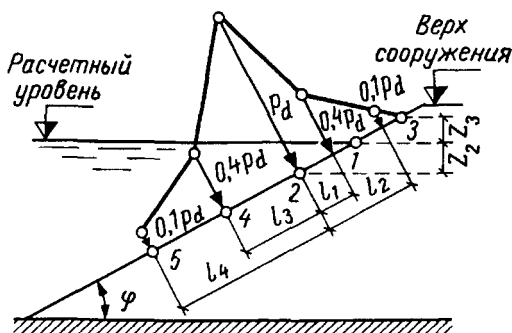


Рис. 2.17. Эюра максимального расчетного волнового давления на откос, укрепленный плитами

Максимальное расчетное волновое давление p_d , кПа определяется по формуле $p_d = K_s K_f p_{rel} \rho g h_B$,

где K_s — коэффициент, определяемый по формуле

$$K_s = 0,85 + 4,8 h_B / \lambda_B + \operatorname{ctg} \alpha (0,028 - 1,15 h_B / \lambda_B);$$

K_f — коэффициент, принимаемый по табл. 2.19.

Таблица 2.19

Значения коэффициента $K_f (\lambda_B/h_B)$

Пологость волны λ_B/h_B	10	15	20	25	35
Коэффициент K_f	1,00	1,15	3,00	1,35	1,48

Ордината Z_2 , м, точки 2 приложения максимального расчетного волнового давления p_B определяется по формуле

$$Z_2 = A + (1 - \sqrt{2\text{ctg}^2\alpha + 1})(A + B)/\text{ctg}^2\alpha,$$

где A и B — величины, определяемые по формулам

$$A = h_B(0,47 + 0,0023\bar{\lambda}_B/h_B)(1 + \text{ctg}^2\alpha)/\text{ctg}^2\alpha;$$

$$B = h_B[0,95 - (0,84\text{ctg}\alpha - 0,25)h_B/\bar{\lambda}_B].$$

Ординаты Z_3 соответствуют высоте наката волны на откос h_{rum} .

На участках крепления по откосу выше и ниже точки 2 ординаты эпюры волнового давления p_B , кПа, принимаются

$$p = 0,4p_d \text{ на расстояниях } l_1 = 0,0125 L_\alpha, l_3 = 0,0265 L_\alpha;$$

$$p = 0,1p_d \text{ при } l_2 = 0,0325 L_\alpha, l_4 = 0,0675 L_\alpha,$$

где $L_\alpha = \bar{\lambda}_B \text{ctg}\alpha / (\text{ctg}^2\alpha - 1)^{0,25}$.

Ординаты эпюры волнового противодавления p_c , кПа на плиты крепления откосов определяются по формуле

$$p_c = K_s K_f p_{rel,c} \rho g h_B,$$

где $p_{rel,c}$ — относительное волновое противодавление, принимаемое по табл. 2.20.

Таблица 2.20

Значения коэффициента $p_{rel,c}$

Высота волны h_B , м	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	≥4,0
Максимальное относительное волновое давление p_{rel}	3,7	2,8	2,3	2,1	1,9	1,8	1,75	1,70

Задача 2.25. Определить донную волновую скорость U_z у пойменной насыпи (в приурезовой зоне).

Исходные данные: параметры волны λ_B , h_B , расчетный горизонт воды (РГВ) Z_B , вид грунта насыпи, основания.

Решение. Максимальная донная волновая скорость определяется по формуле

$$U_z = \pi K_{sl} h_B \sqrt{(\pi \lambda_B / g) sh(4\pi Z_B / \lambda_B)},$$

где K_{sl} — коэффициент, принимаемый равным 0,6; 0,7; 0,75; 0,80; 1,00 при пологости волны λ_B/h_B , равной соответственно 5, 10, 15, 20, 30.

Должно быть $U_z < U_d$.

где U_d — допустимая средняя скорость грунта (основания).

Пример. Исходные данные: $\lambda_B = 6,97$; $h_B = 0,71$ м; $Z_B = 2,5$ м; грунт — песок средней крупности.

Решение. Пологость волны $\lambda_B/h_B = 6,97/0,71 = 9,8$; коэффициент $K_{sl} = 0,70$.

Вычисляем величину донной скорости воды U_z

$$U_z = \pi \cdot 0,70 \cdot 0,71 / [(\pi \cdot 6,97/9,81) sh(4\pi \cdot 2,5/6,97)]^{0,5} = 0,16 \text{ м/с}.$$

Величина донной скорости меньше допустимой для песков средней крупности $U_d = 0,4$ м/с (прил. 5.1).

2.2. Параметры грунтовой среды объектов земляного полотна

2.2.1. Общие положения

Грунты, составляющие грунтовую среду ОЗП, являются дисперсным материалом, в общем случае трехфазным, состоящим из твердой (минеральной части, скелета), жидкой (обычно воды), и газообразной (обычно воздуха), заполняющих поры грунтовой среды. Грунты различаются в зависимости от генетической группы (магматические, осадочные, метаморфические), условий образования (элювий, делювий, пролювий, аллювий), минералогического состава (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда), степени дисперсности (крупнообломочные, песчаные, глинистые), структуры, по другим признакам и характеризуются соответствующими свойствами и состоянием.

Скальные грунты могут быть слабо и легко выветривающимися, монолитными и трещинными, глыбовыми, щебенистыми, дресвяными. Аргиллиты, алевролиты, мергели, сланцевые легко выветриваются и разрушаются. Лессы и лессовые грунты являются просадочными. Хлориды, сульфатолиты, карбонаты интенсивно растворяются. Торфы, илы, иольдевые глины определяют слабое основание насыпей. В условиях вечномерзлых грунтов нарушается стабильность грунтовой среды в зоне деятельного слоя. Распространение разных видов горных пород, грунтов может быть зональным и локальным.

Стабильность ОЗП определяется состоянием грунтовой среды (внутренней среды ОЗП) и зависит от свойств и влияния факторов внешней среды функционирования.

Физико-механические свойства грунтов характеризуются некоторым множеством параметров (константами) и определяются способностью изменять их величины (уровни) под влиянием факторов ПКС и силового (поездного) воздействия: зерновым (гранулометрическим) составом, определяемым по содержанию фракций (d_i , мм, q_i , %), модулем крупности M_k , коэффициентом неоднородности (разнородности) $U_n = d_{60}/d_{10}$, коэффициентом дисперсности $K_{дс}$, которые существенно влияют на другие свойства грунтов; плотностью частиц ρ_s , т/м³, максимальной (при стандартном уплотнении) ρ_{dmax} ; удельным весом частиц грунта γ_s ; влажностью W , гигроскопической W_g , максимальной молекулярной W_m , оптимальной (при стандартном уплотнении) $W_{оп}$, влажностью на границах раскатывания W_p , текучести W_L , числом пластичности $I_p = W_L - W_p$; коэффициентом фильтрации K_f ; высотой капиллярного поднятия воды $h_{кп}$; набухаемостью, пучинистостью, просадочностью; углом естественного откоса в состояниях неувлажненном $\alpha_{ну}$, увлажненном $\alpha_{ув}$; углом (уклоном) кривой депрессии I_0 ; компрессионными свойствами: сжимаемостью; модулем деформации E_T ; механической прочностью (на истирание для крупнозернистых материалов, сопротивление удару и др.), несущей способностью; теплотехническими свойствами: коэффициентами теплопроводности, температуропроводности, удельной теплоемкостью и другими свойствами [12, 50].

Параметрами состояний грунтов (грунтовой среды ОЗП), изменяющимися уровня своих значений под влиянием внешней среды в некоторых пределах inf-sup (бытового состояния в региональных условиях ПКС), являются температура $\pm T_r$ °С, определяющая талое и мерзлое состояние грунтов, пористость n_r , % и зависящие от нее плотность сухого грунта ρ_d , т/м³, коэффициент уплотнения $K_{уп} = \rho_d/\rho_{max}$; удельный вес грунта γ_r , удельный вес сухого грунта γ_d , увлажненного γ_b , коэффициент пористости e_r , водоотдача m_b , влажность (естественная) W_r , относительная W_r/W_L , степень влажности (коэффициент водонасыщения) S_r ; показатель текучести (консистенции), состояния пластичности I_L и зависящие от них сдвиговые параметры: удельное сцепление $c_r(W_r e_r)$, угол внутреннего трения $\phi_r(W_r e_r)$, коэффициент трения $f_r = \text{tg}\phi_r$, другие индексы состояний.

Номенклатура грунтов устанавливается на основе определенных испытаниями значений характеристик грунта. Существует определенная параметрическая обусловленность свойств грунтов их дисперсностью, которая наряду со структурно-текстурными и минералогическими характеристиками существенно влияет на состояние грунтовой среды ОЗП. Существуют определенные корреляционные связи между параметрами свойств грунтов и возможных состояний грунтовой среды ОЗП.

Для грунтовой среды в годовом цикле характерны особенности режимов температурного, влажностного, плотности, в многолетнем периоде под влиянием ПКС формирование бытового состояния, которое характеризуется некоторыми пределами (inf-sup) изменчивости параметров состояний e_r , W_r , ρ_r и зависящих от них наиболее лабильных геотехнических сдвиговых параметров $c_r(T_r, W_r, \rho_r)$, $\gamma_r(T_r, W_r, \rho_r)$ и определяющих уровень стабильности ОЗП.

На изменчивость (ухудшение) состояния грунтовой среды существенно влияние влажности. Избыточное увлажнение возможно при наличии и образовании верховодки, сезонного колебания уровня подземных вод, техногенных изменений уровня грунтовых и поверхностных вод.

Возможные значения параметров (бытового) состояния грунтовой среды ОЗП для регионов средней полосы России, Урала, Западной Сибири приведены в приложении 2.6.

Параметры состояний грунтовой среды инженерно-геологических элементов определяются по данным полевых и лабораторных испытаний грунтов, результатам их статистической обработки, расчетные (нормативные) значения — с введением коэффициента надежности по грунту согласно [91], др СНиП Госстроя России и ГОСТ 30416-96 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения», ГОСТ 12248-96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости», ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний».

Сложные условия возведения и содержания не должны снижать высококачества земляного полотна, а технические решения по конструкции объектов, технологии строительства, содержанию и ремонтам должны обеспечивать нормальное функционирование его во времени, долговременную стабильность ОЗП и надежность движения поездов.

2.2.2. Определение расчетных характеристик грунтов

Задача 2.26. Установить вид (наименование) грунта по известному гранулометрическому (зерновому) составу

Исходные данные: гранулометрический состав грунта по фракциям (размер фракций d_i , содержание g_i , $i \in 1, n$)

Решение Последовательно суммируется содержание фракций (в %), начиная с более крупных

— для песчаных грунтов $\Sigma g_{i>10}$, $\Sigma g_{i>0,5}$, $\Sigma g_{i>0,25}$; $\Sigma g_i > 0$;

— для глинистых грунтов $\Sigma g_{i(2-0,05)}$ песчаные фракции; $\Sigma g_{i(0,05-0,005)}$ пылеватые фракции;

определяется содержание глинистых частиц

$$g_{i<0,005} = 100 - \Sigma g_{i(2-0,05)} - \Sigma g_{i(0,05-0,005)},$$

а также число пластичности $I_p = W_L - W_p$.

Согласно полученным показателям по классификационной таблице (прил. 2.1) устанавливается вид (наименование) грунта. При некотором расхождении показателей для глинистых грунтов определяющим параметром является I_p .

Пример 1. Дано: гранулометрический состав грунта карьера 378 км (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Гранулометрический состав грунта карьера

Размер частиц d_i , мм	Менее 0,005	0,005–0,05	0,05–0,01	0,10–0,25	0,25–0,50	0,50–1,0	1,0–2,0	2,0–5,0	5,0–10,0
Содержание частиц g_i , %	0,0	2,0	4,0	15,0	23,0	25,0	13,0	11,0	7,0

Решение. Последовательно суммируем содержание частиц (в %)

$$\Sigma g_{i>2} = 18,0\%; \Sigma g_{i>0,5} = 56,0\%$$

Согласно классификационной таблице (прил. 2.1) вид грунта — песок крупный (по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в табл.).

Пример 2. Дано. гранулометрический состав грунта ОЗП линии Решоты-Богучаны (табл. 2.22); $W_p = 20,2$; $W_L = 29,4\%$

Таблица 2.22

Гранулометрический состав грунта ОЗП

Размер частиц d_i , мм	Менее 0,005	0,005–0,05	0,05–0,01	0,10–0,25	0,25–0,50	0,50–2,0	2,0–5,0	5,0–10,0
Содержание частиц g_i , %	19,50	41,40	17,30	15,70	5,20	0,70	0,20	0,00

Решение. Определяем $\Sigma g_{i(2-0,05)} = 38,9\%$; $\Sigma g_{i(0,05-0,005)} = 41,4\%$;
 $\Sigma g_{i < 0,005} = 19,5\%$; $I_p = 29,4 - 20,2 = 9,2\%$.

Согласно классификационной таблице (прил. 2.1) вид грунта — суглинок легкий пылеватый.

Задача 2.27. Определить гранулометрический состав песчаного грунта после отсева крупных фракций (для дренажной обсыпки).

Исходные данные. Гранулометрический состав грунта: размеры фракций d_i , содержание g_i , $i \in 1, n$ (доли фракций по массе).

Решение. До отсева $\sum_1^n g_i = 100\%$.

После отсева крупной фракции g_n $\sum_1^{n-1} g_i = 100 - g_n, \%$.

Тогда $g_i' = g_i \cdot \frac{\sum_1^n g_i}{\sum_1^{n-1} g_i} / \sum_1^{n-1} g_i = 100\%$.

Пример. Дано: гранулометрический состав песчаного грунта (табл. 2.23). Отсеиваются частицы крупнее 5 мм.

Решение. $g'_{2,0-5,0} = 11,0 \cdot 100 / (100 - 7) = 11,83\%$;

$g'_{1,0-2,0} = 13,0 \cdot 100 / 93 = 13,98\%$;

$g'_{0,5-1,0} = 25,0 \cdot 100 / 93 = 26,88\%$.

Для остальных фракций грунта g_i' определяется аналогично.

Результаты приведены в табл. 2.23 и на рис. 2.18.

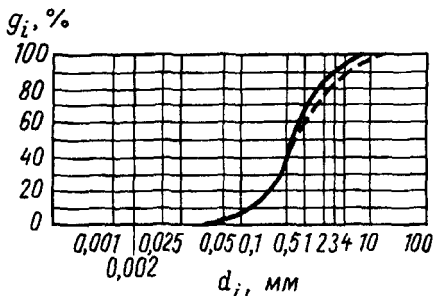


Рис. 2.18. График гранулометрического состава грунта (пунктиром — до отсева крупной фракции)

Таблица 2.23

Гранулометрический состав песчаного грунта

Размер частиц d_i , мм	<0,005	0,005- -0,05	0,05- -0,01	0,10- -0,25	0,25- -0,50	0,50- -1,0	1,0- -2,0	2,0- -5,0	5,0- -10,0
Содержание частиц g_i , %	0,00	2,00	4,00	15,00	23,00	25,0	13,0	11,00	7,00
	0,00	2,15	4,30	16,13	24,734	26,88	13,98	11,83	0,00
	0,00	2,15	6,45	22,58	47,31	74,19	88,17	100,00	—

Задача 2.28. Определить коэффициент фильтрации K_{ϕ} материала (дренирующей обсыпки, фильтровой подготовки), допустимую скорость фильтрации (без суффозии) $U_{\phi д}$.

Исходные данные: гранулометрический состав материала (размеры фракций d_i , содержание g_i , $i \in 1, n$).

Решение. Определяются размерные характеристики материала

$$1/d_i = 0,5(1/d_{imax} + 1/d_{imin}); 1/d_n = \Sigma(g_i/d_i) = A; d_n = 1/A.$$

Коэффициент фильтрации $K_{\phi} = 0,1d_n^2$; скорость фильтрации $U_{\phi д} = \sqrt[3]{K_{\phi}/30}$.

Пример. Дано: гранулометрический состав материала (см. табл. 2.23).

Решение. Вычисляем $1/d_{0,05} = 0,5(1/0,05 + 1/0,005) = 110$ и аналогично другие $1/d_i$;

$$1/d_n = 0,01 \cdot (2,15 \cdot 110 + 4,30 \cdot 15 + 16,13 \cdot 7 + 24,75 \cdot 3,0 + 26,88 \cdot 1,5 + 13,98 \cdot 0,75 + 11,83 \cdot 7/20) = 5,431;$$

затем $d_n = 1/5,431 = 0,184$ мм; $K_{\phi} = 0,1 \cdot 0,184^2 = 3,386 \cdot 10^{-3}$ м/с.

$$K_{\phi} = 0,003386 \cdot 86400 = 293,5 \text{ м/сут.}$$

Грунты дренирующие при $K_{\phi} > 0,5$ м/сут.

Допустимая скорость фильтрации равна

$$U_{\phi д} = \sqrt[3]{0,003386/30} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Задача 2.29. Определить значения характеристик (параметров) свойств и состояний глинистого грунта: W_{Γ} , ρ_{Γ} , ρ_d , ρ_s , γ_{Γ} , γ_d , γ_s , n_{Γ} , e_{Γ} , I_p , I_L , S_r , W_{sat} .

Исходные данные: масса грунта M_{Γ} (или m_{Γ}), сухого грунта M_d ; общий вес грунта Q_{Γ} , сухого (высушенного) Q_d ; масса воды M_B , вес воды Q_B в грунте; объем грунта V_{Γ} ; сухого V_d , пор в грунте V_n ; влажности на пределах текучести W_L , раскатывания W_p .

Решение. Влажность грунта $W_{\Gamma} = M_B/M_d = (M_{\Gamma} - M_d)/M_d = (\rho_{\Gamma} - \rho_d)/\rho_d$,
или $W_{\Gamma} = Q_B/Q_d = (Q_{\Gamma} - Q_d)/Q_d = (\gamma_{\Gamma} - \gamma_d)/\gamma_d$.

Плотность грунта $\rho_{\Gamma} = M_{\Gamma}/V_{\Gamma} = \rho_d(1 + W_{\Gamma}) = [\rho_s/(1 + e_{\Gamma})](1 + W_{\Gamma})$;

плотность сухого грунта $\rho_d = M_d/V_{\Gamma} = \rho_{\Gamma}/(1 + W_{\Gamma}) = \rho_s/(1 + e_{\Gamma})$;

плотность частиц грунта $\rho_s = M_d/V_d$.

Удельный вес грунта $\gamma_{\Gamma} = Q_{\Gamma}/V_{\Gamma} = (Q_d + Q_B)/(V_d + V_n) = M_{\Gamma}g/V_{\Gamma}$;

удельный вес сухого грунта $\gamma_d = Q_d/V_{\Gamma} = \gamma_{\Gamma}/(1 + W_{\Gamma}) = \gamma_s/(1 + e_{\Gamma})$;

удельный вес частиц грунта $\gamma_s = Q_d/V_d$.

Пористость грунта

$$n_{\Gamma} = V_n/V_{\Gamma} = (\gamma_s - \gamma_d)/\gamma_s = \{1 - \rho_{\Gamma}/[\rho_s(1 + W_{\Gamma})]\} = e_{\Gamma}/(1 + e_{\Gamma});$$

коэффициент пористости

$$e_{\Gamma} = V_n/V_d = n_{\Gamma}/(1 - n_{\Gamma}) = (\gamma_s - \gamma_d)/\gamma_d = (\rho_s/\rho_{\Gamma})(1 + W_{\Gamma}) - 1.$$

Число пластичности $I_p = W_L - W_p$;

показатель текучести (консистенции) $I_L = (W_{\Gamma} - W_p)/I_p$;

степень влажности $S_r = W_{\Gamma}\rho_s/(e_{\Gamma}\rho_B) = W_{\Gamma}\gamma_s/(e_{\Gamma}\gamma_B)$;

полная влагоемкость $W_{sat} = e_{\Gamma}\rho_B/\rho_s = e_{\Gamma}\gamma_B/\gamma_s$

Наименования физических величин для характеристики свойств грунтов (согласно СНиП) в прил. 2.5.

Теплофизические характеристики грунтов в прил. 2.10.

Льдистость мерзлого грунта (отношение льда к объему мерзлого грунта)

$$i_d = \rho_s W_i / [\rho_l + \rho_s (W_{tot} - 0,1 W_w)],$$

где ρ_s — плотность частиц грунта; ρ_l — плотность льда ($0,9 \text{ т/м}^3$); W_i — влажность мерзлого грунта за счет ледяных включений (линз и прослоек льда); W_{tot} — суммарная влажность мерзлого грунта (в том числе льда-цемента); W_w — влажность мерзлого грунта за счет незамерзшей воды в ней (при данной температуре).

Для скальных пород определяются показатели прочности (сопротивление сжатию R_c), разупрочнения при водонасыщении (коэффициент размягчаемости $K_{sof} \leq 0,75$), растворимости ($1-10 \text{ г/л}$ и более), выветрелости (коэффициент выветрелости $K_{вк} \leq 1,0$) [57]

$$K_{вк} = (K_1 - K_0) / K_0,$$

где K_1 — отношение массы частиц $< 2 \text{ мм}$ к массе частиц $> 2 \text{ мм}$ после испытания на истирание; K_0 — тоже, до испытания на истирание;

Степень выветрелости $K_{ог} = \rho_b / \rho_{нв}$,

где ρ_b , $\rho_{нв}$ — плотность образцов выветрелого, невыветрелого грунта (силовая выветрелость при $K_{ог}$ до $0,08$ и более).

Пример. Определить W_Γ , γ_Γ , γ_d , n_Γ , e_Γ , S_Γ .

Дано: по результатам отбора проб (методом режущих колец) и испытания грунта $M_\Gamma = 392,61 \text{ г}$; объем грунта (кольца) $V_\Gamma = 200 \text{ см}^3$; $M_d = 339,42 \text{ г}$; $\gamma_s = 27,4 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_b = 9,81 \text{ кН/м}^3$.

Решение. $W_\Gamma = [(392,61 - 339,42) / 339,42] \cdot 100 = 15,67\%$;

$$\gamma_\Gamma = 392,61 \cdot 9,81 / 200 = 19,3 \text{ кН/м}^3;$$

$$\gamma_d = 19,3 / (1 + 0,01 \cdot 15,67) = 17,6 \text{ кН/м}^3;$$

$$n_\Gamma = [(27,4 - 17,6) / 17,6] \cdot 100 = 39,05\%;$$

$$e_\Gamma = 39,05 / (100,00 - 39,05) = 0,641;$$

$$S_\Gamma = 0,01 \cdot 15,67 \cdot 27,4 / (0,641 \cdot 9,81) = 0,68.$$

Задача 2.30. Определить характеристики грунта насыпи: γ_Γ (γ_ω), c_Γ , f_Γ , после подтопления $\gamma_{гв}$ ($\gamma_{\omegaв}$) паводковыми водами, грунта основания.

Исходные данные: γ_s , γ_b , e_Γ , c_Γ , f_Γ ; γ_{oc} , $\gamma_{\omega oc}$, W_{oc} .

Решение. В зоне гравитационных грунтовых вод (ниже уровня кривой депрессии) с учетом их взвешивающего воздействия удельный вес грунта в зоне подтопления $\gamma_{гв} = (\gamma_s - \gamma_b) / (1 + e_\Gamma)$;

в зоне капиллярных вод (кайма капиллярных вод выше уровня кривой депрессии) $\gamma_{кп} = (\gamma_s + \gamma_b e_\Gamma) / (1 + e_\Gamma)$.

$$c_{гв} = K_{св} c_\Gamma; \quad \varphi_{гв} = K_{\varphiв} \varphi_\Gamma; \quad K_b < 1,0.$$

Коэффициенты K_b определяются по зависимостям $c_{гв} = f(W_\Gamma)$; $\varphi_{гв} = f(W_\Gamma)$. С учетом коэффициента надежности по грунту (задача 2.35) можно принимать $K_{св} = 0,6 \dots 0,7$; $K_{\varphiв} = 0,8 \dots 0,9$.

Для грунта основания вычисляется $\gamma_{doc} = \gamma_{oc} / (1 + W) = \gamma_{soc} / (1 + e_{oc})$, откуда $e_{oc} = \gamma_{soc} / \gamma_{doc} - 1$.

Удельный вес грунта увлажненного основания насыпи

$$\gamma_{ocв} = (\gamma_{soc} - \gamma_b) / (1 + e_{oc}).$$

Пример 1. Дано: $\gamma_s = 27,4$ кН/м³; $\gamma_b = 9,81$ кН/м³; $e_r = 0,687$.

Решение. $\gamma_{ГВ} = (27,4 - 9,81)/(1 + 0,687) = 10,43$ кН/м³;

$$\gamma_{кп} = (27,4 + 9,81 \cdot 0,687)/1,687 = 20,23 \text{ кН/м}^3.$$

Пример 2. Дано: $\gamma_{ос} = 20,4$ кН/м³; $\gamma_{сос} = 27,2$ кН/м³; $W_{ос} = 24$ %.

Решение. $\gamma_{доc} = 20,4/(1 + 0,24) = 16,45$ кН/м³;

$$e_{ос} = 27,2/16,45 - 1 = 0,653;$$

$$\gamma_{осв} = (27,2 - 9,81)/(1 + 0,653) = 10,52 \text{ кН/м}^3.$$

Задача 2.31. Установить последовательность определения вида грунта, его состояния и свойств для проб, отобранных в полевых условиях.

Решение. 1. Согласно классификационным признакам вид грунта определяется по гранулометрическому составу с разделением на крупнообломочный, песчаный, глинистый (прил. 2.1, 2.2)

— грунт не крупнообломочный, при содержании обломков кристаллических, осадочных пород с размерами частиц $d_i > 2$ мм, $g_i < 50\%$ по массе;

— грунт песчаный, если $I_p = W_L - W_p < 1,0$;

— грунт глинистый, если $I_p > 1,0$.

2. Если грунт песчаный, вид песка определяется согласно грансоставу по классификационной таблице (прил. 2.1).

Лабораторно определяются* плотность грунта ρ_r , г/см³, плотность твердых частиц грунта ρ_s , г/см³, влажность W_r , %.

Вычисляются плотность сухого грунта $\rho_d = \rho_r/(1 + W)$;

удельный вес грунта $\gamma_r = \rho_r g$; твердых частиц грунта $\gamma_s = \rho_s g$; сухого грунта $\gamma_d = \rho_d g$, кН/м³;

коэффициент пористости $e_r = \rho_s/\rho_d - 1$; пористость $n_r = e_r/(1 + e_r)$.

По ρ_r , ρ_s , W_r определяется степень влажности S_r (отношение объема пор, заполненных водой, к общему объему пор в грунте) $S_r = W_r \rho_s/(e_r \rho_b)$;

полная влагоемкость $W_{sat} = e_r \rho_b/\rho_s$.

по S_r устанавливается состояние грунта по водонасыщению (прил. 2.3).

По виду песка, его плотности, степени влажности для песков мелких, пылеватых устанавливается нормативное давление на грунт $R_r(\rho_r, S_r)$, кПа (согласно СНиП).

3. Если грунт глинистый ($I_p > 1,0$), наименование грунта устанавливается согласно показателю пластичности (по классификационной табл.)

Определяются плотность, удельный вес грунта, коэффициент пористости $e_r = \rho_s(1 + W_r)/\rho_r - 1$ или $e_r = \gamma_s(1 + W_r)/\gamma_r - 1$;

просадочность, набухаемость, пучинистость грунта, состояние глинистого грунта по показателю текучести (консистенции) $I_L = (W_r - W_p)/I_p$;

нормативное давление на грунт $R_r(e_r, I_L)$.

Задача 2.32. Определить расчетные значения характеристик грунта по результатам лабораторных испытаний.

Исходные данные: x_i — результаты лабораторных испытаний полевых проб грунтов; n_i — количество испытаний, определений, $n_i \geq 6$.

* Основания и фундаменты. Справочник. М. Высш. шк., 1991.

Решение. По методу статистической обработки результатов определения характеристик грунтов (ГОСТ 20522-96). Вычисляются средние арифметические нормативные значения $\bar{x} = \Sigma x_i/n_n$; где x_i — частные значения характеристики (параметра); среднее квадратическое отклонение (смещенная оценка при $n_n < 25$)

$$\sigma = [\Sigma(\bar{x} - x_i)^2/(n_n - 1)]^{0,5};$$

исключаются из рассмотрения значения x_c , если не соблюдается условие

$$|x - x_i| < v_c \sigma,$$

где v_c — статический критерий, зависящий от n_n (табл. 2.24);

вычисляется коэффициент вариации $C_v = \sigma/\bar{x}$.

Таблица 2.24

Значения статистического критерия v_c

v_c	2,07	2,41	2,64	2,78	2,88	2,96	3,02	3,07	3,11	3,16
n_n	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Расчетные значения характеристики (параметра) получают делением среднего значения \bar{x} на коэффициент безопасности

$$K_{6п} = 1/(1 \pm \rho_T),$$

где ρ_T — показатель точности оценки средних значений характеристик, который вычисляется по формулам:

$$\text{для } c_{\Gamma} \text{ и } \Phi_{\Gamma} \quad \rho_T = t_p C_v;$$

$$\text{для удельного веса грунта } \gamma_{\Gamma} \quad \rho_T = t_p C_v / \sqrt{n_n}.$$

Здесь t_p — коэффициент, принимаемый по прил. 2.8 согласно доверительной вероятности p и числу степеней свободы

$$(n_n - 1) \text{ для } \gamma_{\Gamma} \text{ и } (n_n - 2) \text{ для } c_{\Gamma} \text{ и } \Phi_{\Gamma}.$$

Количество определений характеристик зависит от однородности грунта, значимости ОЗП, точности определения

$$n_n = t_p C_v^2 / \rho_T^2,$$

где t_p определяется по прил. 2.8 при доверительной вероятности $p \geq 0,85$ и числе степеней свободы $(n_n - 1)$.

При 3—4-х парах частных значений параметры прочности следует определять по методике СНиП 2.01.15-90: $c_n, \text{tg}\phi_n, S_{sat}(\sigma), \lg x = \lg x_n(\delta) \pm (\Delta U_{\alpha})$. Прогнозные значения при $(1 - \alpha)$ толерантном пределе.

Пример. Определить расчетные значения удельного веса грунта по результатам лабораторных испытаний.

Дано: значения определений веса грунта выемки 1208 км: 17,8; 19,3; 18,2; 18,7; 19,4; 17,5; 18,8; 17,9; 19,5 кН/м³; $n_n = 9$.

Решение. Для определения нормативного значения удельного веса выемки γ_p вычислим средние значения $\bar{\gamma}_{\Gamma}$

$$\bar{\gamma}_{\Gamma} = (17,8 + 19,3 + 18,2 + 18,7 + 19,4 + 17,5 + 18,8 + 17,9 + 19,5)/9 = 18,6 \text{ кН/м}^3,$$

среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{\gamma} = \{[(18,6 - 17,8)^2 + (18,6 - 19,3)^2 + (18,6 - 18,2)^2 + (18,6 - 18,7)^2 + (18,6 - 19,4)^2 + (18,6 - 17,5)^2 + (18,6 - 18,8)^2 + (18,6 - 17,9)^2 + (18,6 - 19,5)^2]/(9 - 1)\}^{0,5} = 0,75,$$

По табл. 2.24 интерполируя, получаем $v_c = 2,33$.

Проверим исходные данные по условию $|\bar{\gamma}_Г - \gamma_Г| \leq 2,33 \cdot 0,75 = 1,75$.

Условие соблюдается, все данные учитываются.

Вычисляем коэффициент вариации $C_v = 0,75/18,6 = 0,04$.

При $n_{и} - 1 = 9 - 1 = 8$ и доверительной вероятности $p = 0,90$ по прил. 2.8 определяем коэффициент $t_p = 1,40$.

Тогда показатель точности оценки средних значений $\gamma_Г$ равен

$$\rho_T = 1,40 \cdot 0,04 / \sqrt{9} = 0,02;$$

коэффициент надежности (безопасности) по грунту $K_{нг} = 1/(1 - 0,02) = 1,02$;

расчетное значение удельного веса грунта $\gamma_p = 18,6/1,02 = 18,24 \text{ кН/м}^3$.

Для оценки K_{yc} $K_{нг} = 0,98$; $\gamma_p = 18,98 \text{ кН/м}^3$.

Коэффициент вариации C_v и показатель ρ_T точности оценки среднего значения характеристик грунта можно принимать (ориентировочно) по табл. 2. 25.

Таблица 2.25

Значения коэффициента вариации C_v и показателя ρ_T

Характеристика, параметр грунта	Коэффициент вариации C_v	Показатель точности оценки ρ_T
Удельный вес	0,05	0,015
Удельный вес частиц	0,01	0,004
Влажность естественная	0,15	0,050
Влажность на границах текучести, раскатывания	0,15	0,100
Сопrotивление сдвигу	0,20	0,100
Сопrotивление сжатию	0,40	0,150

Задача 2.33. Определить просадочность, набухаемость, пучинистость глинистого грунта (инженерно-геологического элемента).

Решение. К просадочным относятся глинистые грунты, которые при замачивании под действием внешней нагрузки и собственного веса дают дополнительную осадку (просадку) и имеют относительную просадку $\epsilon_{sl} \geq 0,01$, показатель I_{ss} (для лессов) меньше значений

$$0,10 \text{ при } 0,01 \leq I_p < 0,10;$$

$$0,17 \text{ при } 0,10 \leq I_p < 0,14;$$

$$0,24 \text{ при } 0,14 \leq I_p < 0,22.$$

Показатель просадочности $I_{ss} = (e_L - e_{np}) / (1 + e_{np})$,

где e_{np} , e_L — коэффициенты пористости грунта природного сложения и влажности, соответствующей влажности на границе текучести W_L

$$e_L = W_L \gamma_s / \gamma_b.$$

По показателю относительного набухания $\epsilon_{s\omega} = (h_{sat} - h_{п}) / h_{п}$ грунты относятся к слабонабухающим, если $0,04 \leq \epsilon_{s\omega} \leq 0,08$;

к средненабухающим, если $0,08 < \epsilon_{s\omega} \leq 0,12$;

к сильнонабухающим, если $\epsilon_{s\omega} > 0,12$.

Здесь $h_{п}$, h_{sat} — высота образца природной влажности и плотности, свободного набухания при полном водонасыщении.

Относительные просадочность ϵ_{sl} , усадка ϵ_{sh} , суффозионное сжатие ϵ_{sf} , засоленность грунтов определяются согласно СНиП [91] и пособию к нему.

Степень пучинистости глинистых грунтов определяется в зависимости от показателя текучести (консистенции), уровня грунтовых вод, коэффициента пучения (относительное пучение f_n), по прил. 2.9; от параметра R_f по пособию к СНиП [91].

Пример (по Уралгипротрансу). Определить просадочность грунтов для проб, отобранных на участке Гороблагодатская-Свердловск.

Дано: физические свойства двух проб грунта по данным лабораторных испытаний, которые приведены в табл. 2.26.

Таблица 2.26

Физические свойства проб грунтов (суглинков)

№ пробы	пк	γ_G , кН/м ³	γ_s , кН/м ³	e_G	W_G %	W_L %	W_p %	I_p
1	3632+85	18,9	27,5	0,912	32,6	30,1	21,7	0,084
2	3633+34	20,5	27,8	0,598	20,4	36,8	21,3	0,155

Решение. Вычисляем коэффициенты пористости грунтов при влажности, соответствующей влажности на границе текучести:

$$1\text{-й грунт } e_{L1} = 30,1 \cdot 27,5/9,81 = 0,844;$$

$$2\text{-й грунт } e_{L2} = 36,8 \cdot 27,8/9,81 = 1,043.$$

Вычисляем показатели просадочности

1-й грунт $I_{ss1} = (0,844 + 0,912)/(1 + 0,912) = -0,036 < 0,1$;
грунт на пак 3632 + 85 просадочный.

2-й грунт $I_{ss2} = (1,043 + 0,598)/(1 + 0,598) = +0,278 > 0,24$;
грунт на пак 3633 + 34 не просадочный.

Задача 2.34. Определить прочностные характеристики глинистого грунта по данным сдвиговых испытаний.

Решение. Прочностными характеристиками глинистых грунтов являются угол внутреннего трения φ_G , удельное сцепление c_G , расчетные значения которых определяются по данным τ_{pi} нескольких испытаний при нагрузках p_i со статистической обработкой результатов.

Расчетные параметры определяются по графику $\tau_{pi} = f(p_i)$,

уравнению $\tau_{pi} = f_G p_i + c_G$; для песчаных грунтов $\tau_{pi} = f_G p_i$.

Пример 1. Дано: результаты испытаний суглинка на сдвиговом приборе (статистические средние), приведенные в табл. 2.27.

Таблица 2.27

Показатели испытаний суглинка на сдвиг

Вертикальная нагрузка, p_i , кПа	100	200	300
Удельное сопротивление сдвигу, τ_{pi} , кПа	44	76	102

По данным табл. 2.27 выполняем построение графика зависимости $\tau_{pi} = f(p_i)$ — рис. 2.19.

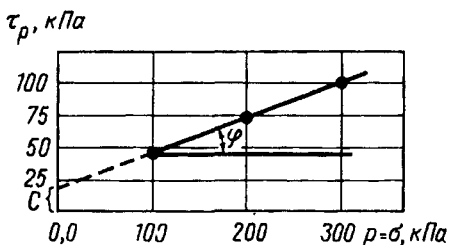


Рис. 2 19 График зависимости $\tau_{pi} = f(p_i)$

Определяем $f_{\Gamma} = \operatorname{tg} \varphi_{\Gamma}$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\Gamma} = (\tau_{p3} - \tau_{p1}) / (p_3 - p_1) = (102 - 44) / (300 - 100) = 0,29; \quad \varphi_{\Gamma} = 16^{\circ} 10'$$

Определяем $c_{\Gamma} = \tau_{pi} - \operatorname{tg} \varphi_{\Gamma} p_i = 44 - 0,29 \cdot 100 = 15$ кПа.

Нормативные значения c_{Γ} , φ_{Γ} , E_{Γ} , приведены в прил. 2.4.

Пример 2. По результатам испытаний получены средние значения сдвигающего усилия $\tau_{p1} = 0,11$ МПа при $p_1 = 0,1$ МПа;

$$\tau_{p2} = 0,21 \text{ МПа при } p_2 = 0,3 \text{ МПа.}$$

Решение. По модели математической зависимости $\tau_{pi} = f(p_i)$.

Составляем систему линейных уравнений вида $y = a_0 + a_1 x$

$$0,11 = c_{\Gamma} + f_{\Gamma} \cdot 0,1;$$

$$0,21 = c_{\Gamma} + f_{\Gamma} \cdot 0,3.$$

Решая уравнения совместно, получаем $0,10 = 0,2 f_{\Gamma}; f_{\Gamma} = \operatorname{tg} \varphi_{\Gamma} = 0,5; \varphi_{\Gamma} = 26,6^{\circ}$.

Подставляя $f_{\Gamma} = 0,5$ в 1-е уравнение, получаем

$$c_{\Gamma} = 0,11 - 0,5 \cdot 0,1 = 0,06 \text{ МПа.}$$

Модель зависимости $\tau_{pi}(p_i)$ для грунта: $\tau_{pi} = 0,06 + 0,5 p_i$.

Задача 2.35. Определить расчетные сдвиговые параметры грунтов для возведения пойменной насыпи.

Решение. Основными параметрами механических свойств грунтов, определяющих прочность и устойчивость ОЗП и их деформативность, являются угол внутреннего трения φ_{Γ} , удельное сцепление c_{Γ} , модуль деформации грунта E_{Γ} .

Расчетные значения параметров грунтов определяются по формуле

$$x = x_{\text{н}} / \gamma_{\text{н}},$$

где $x_{\text{н}}$ — нормативное значение параметра;

$\gamma_{\text{н}}$ — коэффициент надежности по грунту.

Коэффициент $\gamma_{\text{н}}$ устанавливается для φ_{Γ} , c_{Γ} , ρ_{Γ} в зависимости от изменчивости этих характеристик, числа определений (не менее 6) и значений доверительной вероятности p , которая принимается при расчетах по несущей способности (воспринимать нагрузку), равной 0,95, при расчетах по деформациям 0,85.

Если параметры c_{Γ} и φ_{Γ} принимаются по табличным значениям (прил. 2.4.), то коэффициент надежности по грунту $\gamma_{\text{н}}$ принимается

при расчетах по деформациям 1,0;

при расчетах по несущей способности для удельного сцепления c_{Γ} 1,5;

для угла внутреннего трения φ_{Γ} песчаных грунтов 1,10;

пылевато-глинистых грунтов 1,15.

Пример. Определить, каков уровень снижения величин сдвиговых характеристик при расчетах по несущей способности.

Решение. В соответствии с нормативными условиями [91]

для удельного сцепления c_T $\gamma_c = 1/1,5 = 0,67$, $c_H = 0,67c_T$;

для угла внутреннего трения φ_T

при песчаных грунтах $\gamma_\varphi = 1/1,1 = 0,91$; $\varphi_H = 0,91\varphi_T$;

при пылевато-глинистых $\gamma_\varphi = 1/1,15 = 0,87$; $\varphi_H = 0,87\varphi_T$.

Задача 2.36. Определить прочностные (сдвиговые) характеристики грунта c_T и φ_T , при которых произошел спływ откоса.

Исходные данные. Сплыв произошел по криволинейной (окружностной) поверхности; размерные параметры сплыва: длина l_c , глубина h_c определены.

Решение. По условиям предельного равновесия сумма удерживающих сил: трения $\text{tg}\varphi_p N_o$, сцепления $c_p l_c$ равна сдвигающим T_c

$$\text{tg}\varphi_p N_o + c_p l_c = T_c; \quad T_c = \gamma_T F_c \sin \alpha,$$

где F_c — площадь (сегмента) смещения грунта (в поперечном профиле)

$$F_c = 0,5[S_c R_c - l_c(R_c - h_c)];$$

$$\text{Длина дуги } S_c = \sqrt{l_c^2 + 16h_c^2}/3;$$

$$\text{радиус сегмента смещения } R_c = (l_c^2 + 4h_c^2)/(8h_c).$$

При $c_p = 0$ принимаем $\varphi_c = \alpha$, при $\varphi_p = 0$ $c_o = \gamma_T F_c \sin \alpha / l_c$.

Строим график $c_o \varphi_o$.

По табл. прил. 2.4 определяем табличные c_T , φ_T , строим график от начала координат до точки (c_T , φ_T).

На пересечении графиков определяем искомые расчетные значения c_p и φ_p .

Пример. Определить сдвиговые параметры глинистого грунта, при которых произошел спływ откоса на 147 км линии Алтайская-Артышта.

Дано. Размерные параметры: длина поверхностного сплыва по откосу $l_c = 12,6$ м, глубина $h_c = 0,83$ м. Грунт — суглинок; коэффициент пористости $e_T = 0,85$, удельный вес $\gamma_T = 19,2 \text{ кН/м}^3$, показатель текучести $I_L = 0,56$.

Расчетная схема на рис. 2.20.

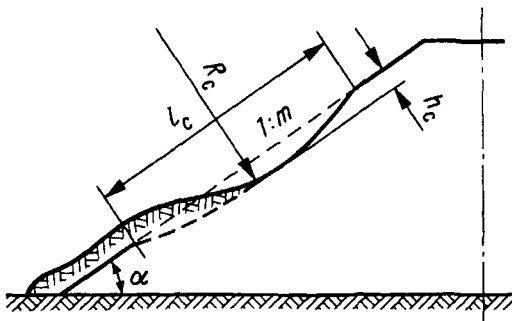


Рис 2.20. Схема поверхностного сплыва откоса

Длина дуги $S_c = \sqrt{12,6^2 + 16 \cdot 0,83^2/3} = 12,74$ м;

радиус сегмента смещения $R_c = (12,6^2 + 4 \cdot 0,83^2)/(8 \cdot 0,83) = 24,32$ м.

При $c_p = 0$ принимаем $\varphi_0 = \alpha = 33^{\circ}69'$;

$$F_c = 0,5 \cdot [12,74 \cdot 24,32 - 12,6(24,32 - 0,83)] = 6,93 \text{ м}^2.$$

При $\varphi_p = 0$ $c_0 = 19,2 \cdot 6,93 \cdot 0,555/12,6 = 5,86$ кПа

Строим график $c_0\varphi_0$ (рис 2.21).

По табл. приложения 2.4 определяем табличные $c_T = 16$ кПа, $\varphi_T = 16^{\circ}$, строим график от начала координат до точки (c_T, φ_T) .

На пересечении графиков определяем искомые расчетные значения $c_p = 5,0$ кПа, $\varphi_p = 4,0^{\circ}$.

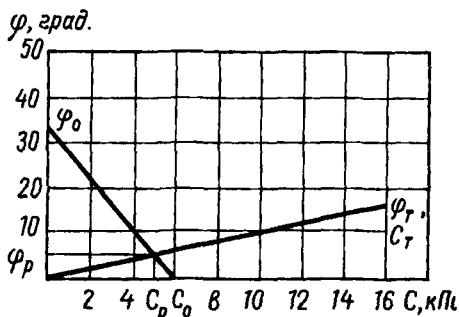


Рис 2.21 Графики φ, c_i

Задача 2.37. По данным лабораторных испытаний определить вид грунта, построить компрессионную кривую при известных физических свойствах, гранулометрическом составе грунта (по данным лабораторных испытаний).

Решение. Вид грунта определяется согласно показателям классификационной таблицы (прил. 2.1, 2.2).

Пример (по Уралгипротрансу). Определить вид грунта, построить компрессионную кривую по данным испытаний пробы грунта 359 пк линии Решоты—Богучаны в геотехнической лаборатории (рис. 2.22).

Решение. Согласно числу пластичности $I_p = 13,4\%$ грунт относится к суглинкам (прил. 2.1—2). С учетом содержания песчаных частиц размером d_i от 2,0 до 0,05 мм в % по весу — $47,9\% > 40\%$, грунт относится к суглинкам тяжелым.

Компрессионную кривую строим по табличным результатам анализа компрессионных параметров грунта (рис. 2.22).

Задача 2.38. Выполнить анализ данных компрессионных испытаний (деформационных характеристик) грунта с определением коэффициентов уплотнения (сжимаемости) и разуплотнения.

Решение. Коэффициент уплотнения (сжимаемости) $a_{уп}$ определяется по ветви уплотнения компрессионной кривой по разнице значений $\Delta e_i = e_i - e_{i-1}$ в интервале $\Delta p_i = p_i - p_{i-1}$ $a_{уп} = \Delta l_i / \Delta p_i$.

Коэффициент разуплотнения определяется аналогично по ветви разуплотнения.

Компрессионная кривая

Уралгипротранс
Грунтовая
лаборатория

Объект: Решоты-Богучаны, река Хоя выработка № 50

Пикет право 359 + 00 м, глубина взятия пробы 2,5—2,7 м, проба № 21
лево ось пути

Наименование грунта суглинок тяжелый уровень грунтовых вод —

Дата отбора пробы 02.09 начало опыта — окончание опыта —

Д — 71,4 мм Н — 34,4 мм; $R_{быт.}$ 0,044 МПа; прибор № —

Физические свойства грунта

ρ_{Γ} , % г/см ³	ρ_s , % г/см ³	e	W_o , %	W_{Γ} , %	W_L , %	W_p , %	I_p	I_L
2,08	2,80	0,647	—	23,8	37,2	21,8	13,4	0,15

Гранулометрический состав

d_i , мм	> 10	> 2	> 0,5	> 0,25	> 0,1	0,1—0,05	0,05—0,005	< 0,005
g_i , %	—	—	0,5	5,9	15,4	26,1	27,7	24,4

Результаты анализа

p , МПа	e_p	a	e_p'	b
p_6	0,642		0,591	
0,05	0,631	0,022	0,583	0,016
0,10	0,621	0,020	0,579	0,008
0,20	0,603	0,018	0,575	0,004
0,30	0,589	0,014	0,573	0,002
0,40	0,578	0,011	0,571	0,002
0,50	0,569	0,009	0,569	0,002
0,60	—		—	

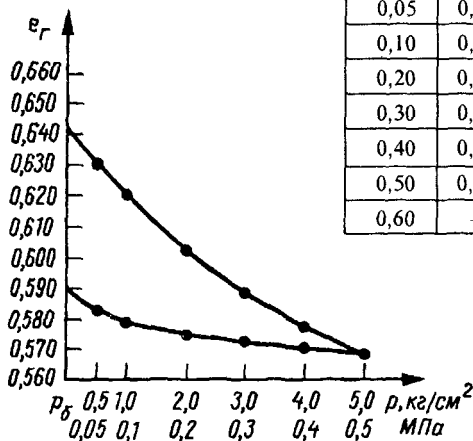


Рис. 2.22. Характеристика грунта пк 359 + 00

Пример. Выполнить анализ данных компрессионных испытаний пробы грунта у мостового перехода через реку Хоя (Решоты-Богучаны) $e_i(p_i)$.

Исходные данные геотехнической лаборатории Уралгипротранса (рис. 2.22).

Решение выполнено в табличной форме для ветви уплотнения компрессионной кривой с определением коэффициента уплотнения (a), и для ветви разуплотнения с определением коэффициента разуплотнения (b), рис. 2.22 (табл.).

Задача 2.39. Для расчетных и прогнозных целей аппроксимировать данные компрессионных испытаний грунта $e_i(p_i)$, сдвиговых c_Γ и $f_\Gamma = \text{tg}\varphi_\Gamma$ в зависимости от относительной влажности W_Γ/W_L .

Решение. Аппроксимация выполняется на ПК по программе RPM (достаточна регрессия второго порядка).

Пример. Исходные данные (e_i, p_i) и машинные значения e_{mi} , полученные по результатам счета на ПК, приведены в табл. 2.28.

Уравнение компрессионной кривой (ветви нагрузки) $e_\Gamma(p)$

$$e_\Gamma = 0,7113333 - 0,00006182p + 0,00000054p^2.$$

Аналогично получены зависимости для сдвиговых характеристик (грунты выемки 23 км), $c_\Gamma (W_\Gamma/W_L)$, $\varphi_\Gamma (W_\Gamma/W_L)$,

$$c_\Gamma = 0,02125 - 0,01696W/W_L + 0,00322(W_\Gamma/W_L)^2, \text{ МПа};$$

$$\varphi_\Gamma = 0,434 - 0,506W/W_L + 0,166(W_\Gamma/W_L)^2, \text{ рад}.$$

Таблица 2.28

Исходные и расчетные значения параметров компрессионной кривой

p_i , кПа	100	200	300	400	500	600	700
e_i	0,720	0,643	0,605	0,578	0,556	0,542	0,530
e_{mi}	0,711	0,655	0,609	0,575	0,551	0,538	0,535

Задача 2.40. Определить очертания компрессионной кривой $e_\Gamma = f(\sigma)$ при известных значениях e_Γ по данным испытаний грунта до нагрузки σ_{ni} .

Пример. Дано: результаты компрессионных испытаний грунта (до нагрузки 400 кПа, табл. 2.29).

Таблица 2. 29

Показатели компрессионных испытаний грунта

Значения нагрузки σ_i , кПа		0,0	100	200	300	400	500
Значения e_i по ветвям	нагрузки	0,768	0,706	0,669	0,646	0,630	—
	разгрузки	0,667	0,655	0,646	0,636	0,630	—

Решение. Выполняется построение компрессионной кривой (ветви нагрузки, ветви разгрузки) по данным табл. 2.29.

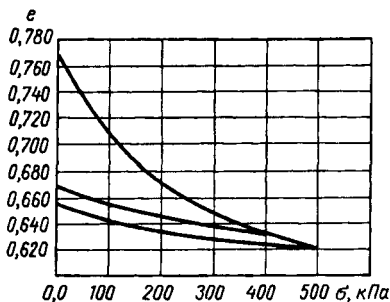


Рис. 2.23. График зависимости $e = f(\sigma)$

Исходные данные: зерновой состав грунтов песчаных, глинистых: супесей, суглинков, глин (по содержанию d_i, g_i).

Решение. Рассматриваем и анализируем изменчивость показателей текучести (консистенции) I_L , величины влажности на пределе раскатывания W_p , бытовых значений влажности W_6 , значений коэффициента пористости e_r , плотности ρ_d и соответствующих им значений удельного сцепления c_r , угла внутреннего трения φ_r (прил. 2.1, 2.2, 2.4, 2.6).

Устанавливаем изменчивость значений параметров в зависимости от зернового состава и выполняем графическое отображение параметрической зависимости на рис. 2.24.

Коэффициент дисперсности $K_{dc} = 1,85 \cdot 10^{-4} / (\bar{d}_r^2 e_r)$,
где \bar{d}_r — средний диаметр частиц грунта $\bar{d}_r = (g_1/d_1 + g_2/d_2 + \dots + g_i/d_i)^{-1}$.

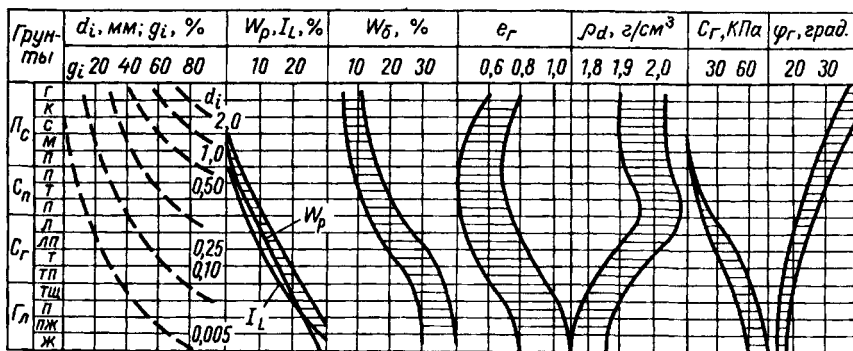


Рис. 2.24. Параметрическая обусловленность свойств грунтов:

Пс — песок; Сп — супесь; Сг — суглинок; Гл — глина; Г — гравелистый; К — крупный; С — средний; М — мелкий; П — пылеватый; Л — легкий; Т — тяжелый; ТЩ — тощая; ПЖ — полужирная; Ж — жирная.

2.2.3. Определение параметров состояний грунтовой среды

Задача 2.42. Определить расчетную глубину промерзания железнодорожного пути при известной наблюдаемой.

Дано: глубина промерзания в год наблюдений — $Z_{пр}$.

Решение. При однослойной балластной призме

$$Z_p = K_{пер}Z_{пр} + (K_{пер} - 1)[(K_б - 1)/K_б]b;$$

при двух(много)слойной балластной призме (щебень, песок и др.)

$$Z_p = K_{пер}Z_{пр} + (K_{пер} - 1)\Sigma\{(K_{бi} - 1)/K_{бi}\}b_i\}.$$

Здесь $K_{пер}$ — коэффициент переводный на расчетную зиму

$$K_{пер} = \sqrt{\Sigma T_p / \Sigma T_i}; \quad \Sigma T_p = \max \Sigma T_i \text{ или } MO \max \Sigma T_{maxi},$$

$K_{бi}$ — коэффициент промерзаемости балластного материала,

MO — математическое ожидание.

Коэффициент промерзаемости $K_{пр}$ ($K_б$, $K_м$) характеризует теплофизические свойства материала (с учетом его состояния), определяется отношением интенсивности промерзания грунта, балластного или другого материала к интенсивности промерзания глинистого грунта и показывает, какая величина (глубина $Z_{прм}$) промерзания материала соответствует единице промерзания (эталонного) грунта $Z_{прг}$ (тяжелого суглинка) $K_{прм} = Z_{прм}/Z_{прг}$ (прил. 8.1), предложен автором [18, 44]*.

Методика прогноза $Z_{пр}$, $Z_{от}$ в условиях вечномерзлых грунтов по [38].

Задача 2.43. Определить глубину промерзания железнодорожного пути, земляного полотна.

Дано: сумма среднесуточных $\Sigma(-T_c)^\circ C$ или среднемесячных $\Sigma(-T_m)^\circ C$ отрицательных температур воздуха (морозный индекс).

Решение. Расчетная глубина промерзания определяется по оси железнодорожного пути, земляного полотна (наибольшая в ПП однопутного участка).

Согласно СНиП [91] нормативная глубина сезонного промерзания грунта

$$d_{фп} = d_0 \sqrt{M_t}, \text{ м}; \quad M_t = \Sigma(-T_m)^\circ C,$$

где d_0 для суглинков и глин 0,23; супесей, песков мелких и пылеватых 0,28; песков гравелистых, крупных и средней крупности 0,30; крупнообломочных грунтов 0,34 (соответствует $K_{пр}$ 1,00; 1,10—1,20; 1,30—1,35; 1,40—1,50).

$d_{фп}$ соответствует расчетной глубине промерзания, приведенной к однослойной среде — глинистому грунту $Z_{пр}$.

Для конструкции железнодорожного пути [18]

$$Z_{пр} = K_c K_{прг} K_{по} \sqrt{\Sigma(-T_{ср})^\circ C}, \text{ м или } Z_{пр} = K_m K_{прг} K_{по} \sqrt{\Sigma(-T_{мр})^\circ C}, \text{ м},$$

где K_c , K_m — коэффициенты ($K_c = 0,044$; $K_m = 0,24$);

$K_{прг}$ — коэффициент промерзаемости грунта (для суглинков тяжелых 1,00; песков 1,05—1,15);

* Грицык В.И. Стендовая установка для моделирования промерзания грунта и дисперсных материалов. А.с. 1822957.

$K_{по}$ — коэффициент, учитывающий вид шпал, подрельсового основания (при шпалах деревянных 1,00; железобетонных 1,10);

$T_{ср}$, $T_{мр}$ — расчетные значения морозного индекса (суточные, месячные).

Расчетная глубина промерзания пути в общем случае равна

$$Z_p = Z_{рп} + \Sigma[(K_{бi} - 1)/K_{бi}]b_i;$$

глубина промерзания грунтов земляного полотна равна

$$Z_{рп} = Z_p - \Sigma b_i.$$

Пример. Дано: $\Sigma(-T_c) = 1836^\circ\text{C}$; балластная призма двухслойная: щебеночный слой $b_{щ} = 0,45$ м; песчаная подушка $b_{п} = 0,20$ м; шпалы железобетонные, грунт — суглинок.

Решение. Глубина промерзания, приведенная (к грунту)

$$Z_{рп} = 0,044 \cdot 1,0 \cdot 1,10 \sqrt{1836} = 2,07 \text{ м};$$

железнодорожного пути (по оси)

$$Z_p = 2,07 + [(1,1 - 1,0)/1,1]0,2 + [(1,35 - 1,0)/1,35]0,45 = 2,20 \text{ м};$$

грунтов земляного полотна

$$Z_{гр} = 2,20 - (0,45 + 0,20) = 1,55 \text{ м}.$$

Задача 2.44. Определить влияние отрицательных температур (воздуха), снежного покрова на промерзание земляного полотна, положительных температур на оттаивание грунтовой среды по наблюдаемым данным.

Исходные данные. Данные периодических наблюдений за глубиной промерзания $Z_{пр}(t)$ и оттаивания $Z_{от}(t)$ грунтовой среды ОЗП, температурой воздуха $\Sigma(-T_c)$ в зимний период, $\Sigma(+T)$ в весенний, высотой снежного покрова $h_{сн}(t)$.

Решение. Данные наблюдений статистически обобщаются в корреляционных таблицах ЭТ. Выполняется аппроксимация зависимостей

полиномиальная $Z_{пр}[\Sigma(-T_i)]$, $Z_{пр}(h_{сн})$, $Z_{от}[(+T_c)]$;

множественная линейная $Z_{пр}[(-T_i), h_{сн}]$.

На рис. 2.25 показана изменчивость параметров ПКС $\Sigma(\pm T_i)$, $h_{сн}$ во времени и $Z_{пр}(t)$, $Z_{от}(t)$ грунтовой среды по ст. Чусовская.

Анализ показывает, что характерны более интенсивное промерзание по оси пути (междупутья), в песчаных грунтах (сопоставимо с глинистыми), на насыпях (сопоставимо с выемками) и существенно превышающее промерзание почвогрунтов в полевых (природных) условиях (по термоизоплетам 0°C).

Пример 1. Определить зависимость $Z_{пр}(\Sigma(-T_i))$ по данным натурных наблюдений в районе Среднего Урала (239 годонаблюдений на 69 участках). $Z_{пр}$ определяется по мерзлотомеру: резиновая трубка с дистиллированной водой, помещаемая в защитную в вертикальной скважине ($Z_{пр}$ соответствует столбику льда в трубке).

Решение. По результатам корреляционного и регрессионного анализа получены зависимости для грунта, приведенного к грунту $Z_{рп}$ (коэффициентами промерзаемости), с учетом балластного слоя в конструкции пути

$$Z_{рп} = 0,03760 + 0,04268\Sigma(-T_c) + 0,00021[\Sigma(-T_c)]^2;$$

при статистиках $K_{кр} = 0,93$; $F(2,7) = 183,18 > F_{Т(0,05)} = 4,74$ (прил. 1.6).

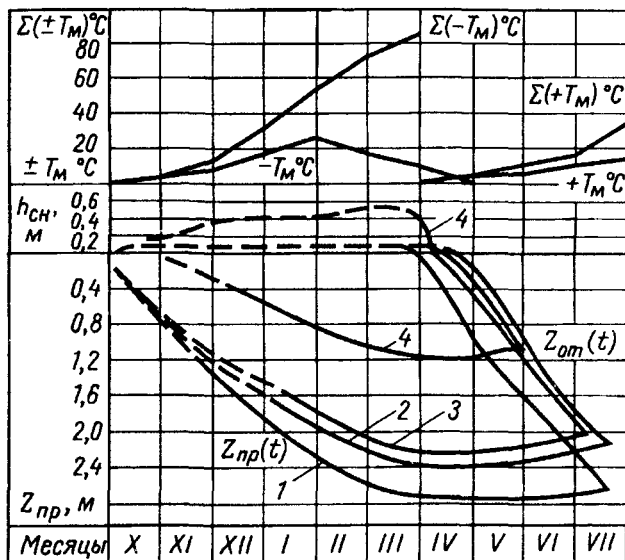


Рис 2.25. Графики промерзания грунта $Z_{пр}(t)$ в зимний период, $Z_{от}(t)$ — оттаивания весной, $Z_{пр}$ — по оси насыпи — 1, нулевого места — 2, выемки — 3, при снежном покрове — 4

Модуль промерзания, как удельная величина, учитывающая $\Sigma(-T_c)$, необходимую для промерзания 0,1 м грунтовой среды, составляет -95°C для насыпей, -100°C для выемок.

Пример 2. Определить зависимость $Z_{пр}(h_{сн})$, учитывающую влияние снежного покрова на промерзание грунтовой среды ОЗП.

Известны данные наблюдений в районе Среднего Урала с $\Sigma(-T_c)$ 1800—1900°С, приведенные в корреляционной таблице 2.30 (по 42 годоучасткам наблюдений).

Решение. Выполняем статистический анализ в форме корреляционной ЭТ (табл. 2.30.), аппроксимацию результатов полиномиальной зависимостью (табл. 2.31).

$$Z_{пр} = 0,01(215,81101 - 2,52262h_{сн} + 0,00375h_{сн}^2), \text{ м.}$$

Статистики: коэффициенты уравнения, корреляции — 0,966, критерий Фишера $F = 34,779$ приведены в табл. 2.31 (при степенях свободы 2 и 5). Табличное значение $F_{T(0,05)} = 5,79$ (при уровне значимости 0,05, прил. 1.6).

Пример 3. Определить зависимость $Z_{пр}[\Sigma(-T_M), h_{сн}]$, учитывающую влияние отрицательных температур и снежного покрова на промерзание грунтовой среды ОЗП.

Известны данные наблюдений в районе Среднего Урала с $\Sigma(-T_c)$ 1800—1900°С, приведенные в табл. 2.32.

Таблица 2.30

Анализ зависимости $Z_{пр}(h_{сн})$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ (ЭТ-KORTAV)												
2													
3	-----												
4	Параметр А		Параметр В — интервалы и средние значения — $h_{сн}, м$										
5	Интер-	Средние	-----										
6	валы	значен.	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	0	Количе-	Средние
7		$Z_{пр}, м$	.05	.15	.25	.35	.45	.55	.65	.75	0.00	ство	по В
8	-----												
9	.4	.20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	.75
10	.8	.60	0	0	0	0	0	0	2	2	0	4	.70
11	1.2	1.00	0	0	0	2	4	2	1	0	0	9	.47
12	1.6	1.40	1	1	4	1	3	1	0	0	0	11	.31
13	2	1.80	1	2	2	4	1	0	0	0	0	10	.27
14	2.4	2.20	4	1	2	0	0	0	0	0	0	7	.12
15	0	.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.00
15	-----												
16	Количество		6	4	8	7	8	3	3	3	0	42	.35
17	Средние по А		2.00	1.80	1.70	1.51	1.25	1.13	.73	.47	.00	1.62	
18	-----												

Таблица 2.31

Аппроксимация зависимости $Z_{пр}(h_{сн})$

РЕГРЕССИЯ ПОРЯДКА М			
ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ ТОЧЕК			
КОЭФФ. ПРИ СТЕПЕНИ '0'	=	215.81101	
КОЭФФ. ПРИ СТЕПЕНИ '1'	=	-2.52262	
КОЭФФ. ПРИ СТЕПЕНИ '2'	=	.00375	
Таблица регрессии			
	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ
РЕГРЕССИЯ	20771.773	2	10385.886
ОСТАТОК	1493.101	5	298.620
ВСЕГО	22264.875	7	
F=34.779			
КВАДРАТ СМЕШАННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ = 932			
ВЫБОРОЧНЫЙ КОЭФФ. КОРРЕЛЯЦИИ = .966			
СТАНДАРТН. ОТКЛОНЕНИЕ ОЦЕНКИ = 17.280			

Решение. Выполняем дисперсионный анализ и аппроксимацию по стандартной программе линейной регрессии RLM

$$Z_{пр} = 0,22345 + 0,02334\Sigma(-T_M) - 0,01158h_{сн}.$$

Статистики приведены в табл. 2.32.

Табличное значение $F_{T(2,6, 0,05)} = 5,14$ (прил. 1.6).

При $\Sigma(-T_C)$ $Z_{пр} = 1,6000 + 0,0004\Sigma(-T_C) - 2,5900 h_{сн}.$

Таблица 2.32

Аппроксимация зависимости $Z_{пр} = [\Sigma(-T_M), h_{сн}]$

Таблица данных			
10	$\Sigma(-T_M)$, град	20.4	$h_{сн} 10^{-2}$, м
14.2		26.1	
20.5		23.3	
49.6		45	
46		35	
48		33.9	
69.3		25	
61.7		30	
75		30	
		.1	$Z_{пр}$, м
		.3	
		.5	
		.7	
		.9	
		1.1	
		1.3	
		1.5	
		1.7	
			0.22
			$Z_{пр}$ маш, м
			0.25
			0.43
			0.85
			0.89
			0.95
			1.32
			1.55
			1.63
Коэффициенты уравнения регрессии			
B (	) =	.22345	
B (	) =	2.33360E-02	
B (	) =	-1.1583E-02	
Таблица анализа дисперсии			
КОМПОНЕНТЫ ДИСПЕРСИИ	СУММА КВАДРАТОВ	ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ	СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ СУММЫ КВАДРАТОВ
РЕГРЕССИЯ	2.228	2	1.114
ОСТАТОК	171	6	2.860E-02
ИТОГО	2.4	8	
F=38.952			
КВАДРАТ СМЕШАННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ		= .928	
КОЭФФ. МНОЖЕСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ		= 963	
СТАНДАРТНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ОЦЕНКИ		= .169	

Пример 4. Определить зависимость $Z_{от}[\Sigma(+T_C)]$, учитывающую влияние положительных температур на оттаивание грунтовой среды ОЗП.

Известны данные термометрических наблюдений в районе Среднего Урала, приведенные в корреляционной табл. 2.33 (по 69 годоучасткам наблюдений).

Решение. Выполняем статистический анализ в форме корреляционной ЭТ (табл. 2.33.), аппроксимируем результаты по программе RPM, получаем зависимость

$$Z_{от} = 0,01 \{0,045471 + 0,004719\Sigma(+T_C) - 0,000002[\Sigma(+T_C)]^2\}, \text{ м.}$$

Такая зависимость близка к линейной, имеющей вид

$$Z_{от} = 2,8 \cdot 10^{-3} [\Sigma(+T_C)], \text{ м.}$$

Модуль оттаивания: удельная $\Sigma(+T_C)$, необходимая для оттаивания 0,1 м грунтовой среды — до +35°C для насыпей и больше для выемок.

Таблица 2. 33

Анализ зависимости $Z_{от}[\Sigma(+T_c)]$

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ (ЭТ-КОРТАВ)														
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2														
3	-----													
4	Параметр А	Параметр х — интервалы и средние значения — $Z_{от}$ м												
5	Интер- Средние	-----												
6	валы значен.	.2	.4	.6	.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2Количе-		Средние	
7	$\Sigma(+T_c)$	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	ство	по В
8	-----													
9	450	425.00	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1.70	
10	400	375.00	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	1.60	
11	350	325.00	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	1.25	
12	300	275.00	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3	1.30	
13	250	225.00	0	0	0	0	3	1	1	0	0	5	1.02	
14	200	175.00	0	0	0	5	2	1	0	0	0	8	.60	
15	150	125.00	0	1	5	5	1	0	0	0	0	12	60	
16	100	75.00	0	9	8	2	0	0	0	0	0	19	43	
17	50	25.00	7	5	0	0	0	0	0	0	0	12	18	
18	-----													
19	Количество	7	15	13	12	6	5	4	4	1	2	69	.69	
20	Средние по А	25.0	61.67	94	23	137.5	191.6	265	0	300.0	350.0	375.0	400.0	128.13
21	-----													

Задача 2.45. Определить толщину слоев усадочного трещинообразования в подбалластной зоне и у подошвы насыпи.

Исходные данные. Район, H_N , W_L , период эксплуатации $t_{эк}$ ОЗП.

Решение. Глубина слоев трещинообразования определяется [10] по формулам для нижней части и подошвы откоса

$$H_{тн} = 10 a_{ну} \delta_{ис},$$

где $a_{ну}$ — обобщенный показатель набухания-усадки грунта насыпи;

$\delta_{ис}$ — испаряемость с поверхности, принимаемая по карте 164 Климатического атласа.

Для верхней части (подбалластной зоны) насыпи

$$H_{тв} = H_{тн}(1 + a_{ну} \lg t_{эк})[1 + \lg(H_N/H_{тн})],$$

где $t_{эк}$ — эксплуатационный период функционирования.

Показатель набухания-усадки определяется по зависимости

$$a_{ну} = 0,105/W_L - 0,45.$$

Пример. Известно: участок Транссибирской жел. дороги, построенной в 1896 г.; $H_N = 7,6$ м; $W_L = 47,5\%$; $t_{эк} = 99$ лет; $\delta_{ис} = 0,35$ м.

Решение. Вычисляем $a_{ну} = 0,105/47,5 - 0,45 = 0,27$;

$$H_{тн} = 10 \cdot 0,27 \cdot 0,35 = 0,94 \text{ м.}$$

$$H_{тв} = 0,94(1 + 0,27 \cdot \lg 99)[1 + \lg(7,6/0,94)] = 2,76 \text{ м.}$$

Глубина усадочного трещинообразования обычно больше глубины промерзания $Z_{пр}$: $H_{тв} > Z_{пр} + 0,5$ м.

Задача 2.46. Определить возможное распределение плотности и влажности в откосных зонах ОЗП.

Исходные данные: данные наблюдений в поперечных профилях насыпей и выемок.

Решение. Бытовое состояние грунтовой среды в поверхностных слоях откосных зон (зоны выветривания) характеризуется некоторым разуплотнением во времени под влиянием факторов ПКС (увлажнение-высыхание, набухание-усадка, промерзание-оттаивание) и структурными изменениями в грунтовой среде (рис. 2.26-Г).

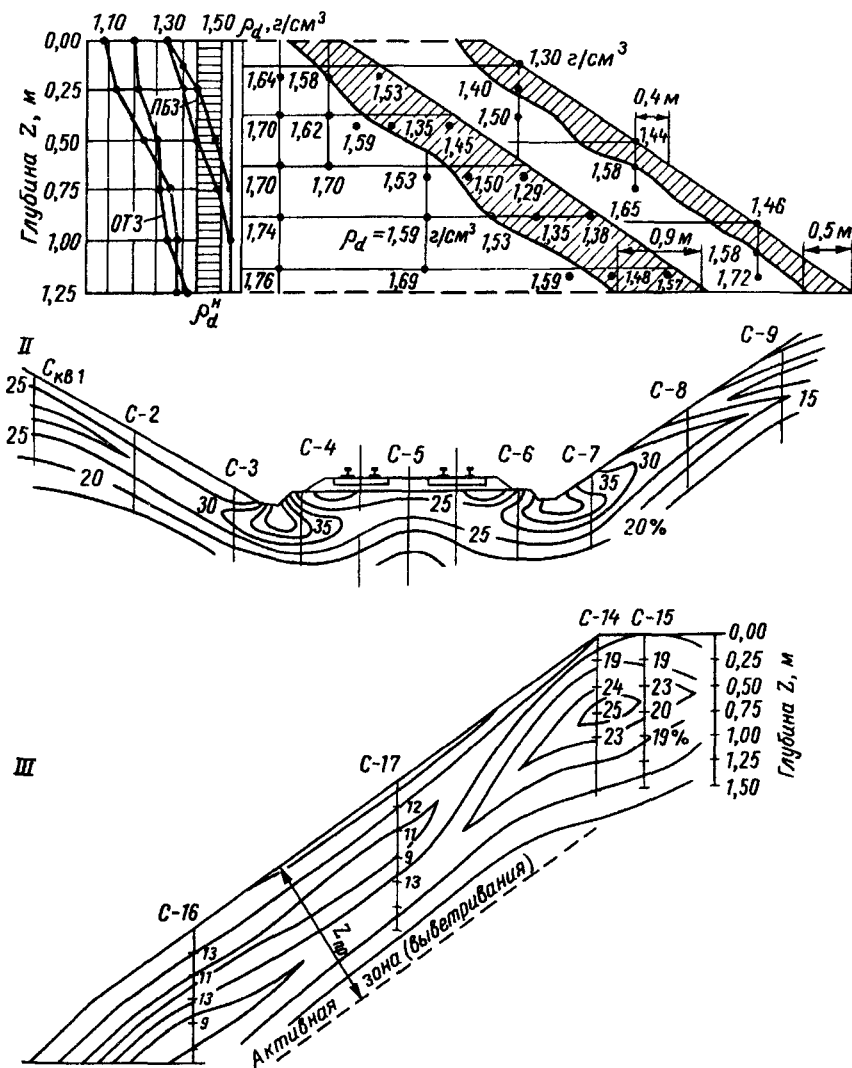


Рис. 2.26. Распределение W , ρ_d в ОЗП: I — параметры плотности грунтов в откосах; II — выемка 3 км (май), III — насыпь 2087 км (апрель)

Распределение бытовых значений плотности в откосных зонах характеризуется зависимостью

$$\rho_d = K_0 + A \cdot Z_{\text{пр}}^\alpha; \quad K_0 = 0,76 \pm 0,002.$$

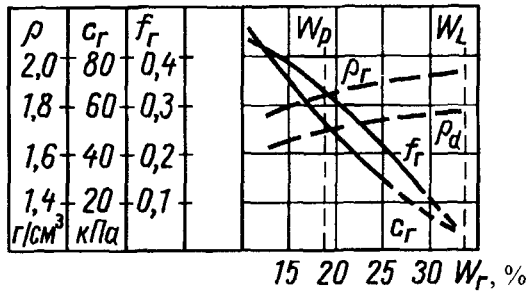
Здесь коэффициент уравнения $A = 0,116$, показатель степени $\alpha = 2/3$.

Распределение бытовых значений влажности в поперечных профилях ОЗП в годовом цикле изменяется: в весенний и осенний периоды наибольшая W в бровочных частях (имеющих трещинное разуплотнение), в выемках — в кюветной зоне, что наглядно по изолиниям W_r в откосных зонах на рис 2.26- II, III.

Задача 2.47. Определить изменчивость прочностных (сдвиговых) характеристик грунтовой среды ОЗП в годовом цикле.

Пример. Определить прогнозную изменчивость $f_r(t)$, $c_r(t)$ в годовом цикле для грунтовой среды откоса выемки 118 км (Алтайская-Артышта).

I



II

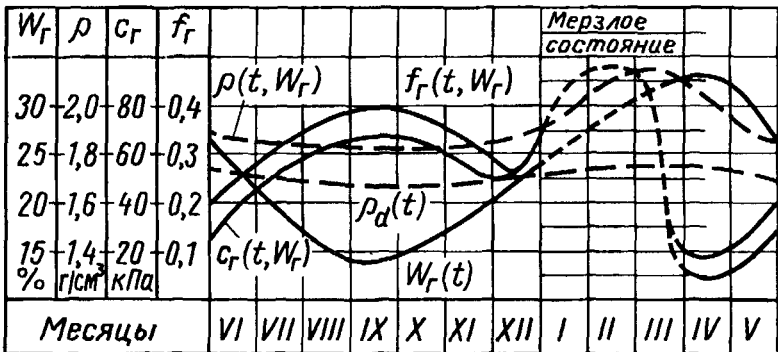


Рис 2.27. Определение изменчивости параметров ГС в годовом цикле: I — зависимости состояния грунта от влажности, II — изменчивость W_r, ρ_d, c_r, f_r во времени

Известны: изменчивость $W_{\Gamma}(t)$ по данным наблюдений на ОЗП, зависимости $f_{\Gamma}(W_{\Gamma})$, $c_{\Gamma}(W_{\Gamma})$ по данным лабораторных (ЦНИИС) испытаний суглинка (пылеватого) для выемки 118 км (рис. 2.27-*I*).

Решение. Строим график изменчивости W_{Γ} суглинка в откосе выемки в годовом цикле по данным натуральных наблюдений (рис. 2.27-*II*). Устанавливая соответствие значений параметров c_{Γ} и f_{Γ} по графикам (*I*) величинам влажности W_{Γ} на графике (*II*), вычерчиваем графики $c_{\Gamma}(t, W_{\Gamma})$ и $f_{\Gamma}(t, W_{\Gamma})$, как показано на рис. 2.27-*II*.

Перераспределение W_{Γ} в зимний период предопределяется тепломассопереносом, миграционными процессами, перемещением воды из нижних талых слоев в верхние к опускающемуся фронту промерзания.

Изменчивость параметров грунтовой среды $W_{\Gamma}(t)$, $c_{\Gamma}(t, W_{\Gamma})$, $f_{\Gamma}(t, W_{\Gamma})$ в годовом цикле следует учитывать при расчетах показателей и прогнозах стабильности ОЗП.

Раздел 3

ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ СТАБИЛЬНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

3.1. Общие положения

Стабильность ОЗП определяется их конструкцией (структурой St , размерными параметрами P_{Π}) и влиянием внешней среды ($P_{\text{пкс}}$, $P_{\text{св}}$), которая воздействует на состояние грунтовой среды $P_{\text{гс}}$.

В годовом цикле функционирования ОЗП параметры состояний изменяются в пределах некоторого уровня бытовых значений. Повышение уровней факторов влияния ПКС в условиях интенсивных вибродинамических нагрузок приводит к ситуациям деформативности, образованию деформаций ОЗП.

Деформативность — свойство грунтовой конструкции изменять свои геометрические размеры и форму при изменении (нарушении) состояния грунтовой среды под влиянием факторов природной среды и силового воздействия.

Деформации Дф возникают на пересечении :

$$\langle St, P_{\Pi} \rangle \cap \langle P_{\text{гс}} = f(P_{\text{пкс}}, P_{\text{св}}) \rangle \Rightarrow \text{Дф.}$$

Возможны деформации упругие (обратимые), остаточные (необратимые), избыточные. Последние характеризуются состояниями ОЗП, при которых величины их размерных, функциональных параметров недопустимы по нормативным, проектным значениям. Упругие осадки, например, на ВСМ — до 1 мм. Возможны дефекты — нарушения размеров и формы элементов ОЗП в пределах допустимых значений (предельно допустимых).

Деформации могут привести к состоянию ограниченной работоспособности железнодорожного пути (с предупреждениями о снижении скоростей

движения поездов), к аварийным ситуациям (полным отказам системы с перерывами в движении поездов).

Для проявления деформаций в период сооружения земляного полотна и послепостроечный период, когда нарушено природное состояние и еще не сформировалось бытовое, характерно влияние сезонных процессов ПКС (дождевые ливневые осадки, промерзание и оттаивание). Для деформаций, формирующихся в период длительной эксплуатации (функционирования ОЗП) характерны процессы ползучести, структурных, усталостных изменений, релаксации напряжений и стабильности, развивающихся непрерывно в многолетнем периоде. Эти процессы особенно интенсивны в высоких насыпях [34, 111].

Деформации определяются местоположением, характером и периодом проявления, признаками и размерными параметрами, причинно-следственными отношениями. Деформации проявляются не только и не столько за счет увеличения динамических нагрузок, сколько за счет изменения (ухудшения) состояния грунтовой среды ОЗП при сопутствующих биогенных и техногенных факторах. Существенно влияние литологической неоднородности, увлажнения грунтов дождевыми, талыми, грунтовыми (подземными) водами, пойменными, русловыми, водоемов [32, 33, 95, 96].

Комплексная ступенчатая классификация деформаций, приведенная в приложении 3.1, согласуется с целевым назначением и структурой земляного полотна, обусловленностью деформативности, характером возможных отказов, устанавливает параметрические связи между признаками и деформациями (основа диагностики), причинами и деформациями (основа прогнозистики), служит информационной базой для принятия оптимальных технических решений. Деформации могут медленно формироваться и медленно проявляться (пучины, оседания и др.). В этом случае эволюция их развития: от упругих и остаточных (допустимых) до избыточных (недопустимых по нормам содержания). Другие деформации могут медленно формироваться и внезапно проявляться, например, смещения грунтовых масс при достижении критического состояния по соотношению сил, моментов сил удерживающих и сдвигающих [15, 39, 98]. Внезапно проявляются сейсмореформации.

На формирование деформаций существенно влияние напряженного состояния ОЗП. Напряжения определяются по закономерностям теории упругости. При оценке компрессионных свойств начальное состояние допустимо принимать согласно бытовому состоянию в откосах. При рассмотрении упруго-деформированного состояния определяются связи между напряжениями и перемещениями, перемещениями и деформациями (по закону Гука). Для анализа напряженно-деформированного состояния сплошных сред ОЗП эффективно применение методов конечных элементов (МКЭ), конечных разностей (МКР), относящихся к вариационным, как одно из направлений диактики (исследований по частям) и успешно реализуемых на ПК [1, 17, 77].

В решении прогностических ситуаций весьма существенны данные обследований и диагностики состояния ОЗП. Для целей диагностики, которая в настоящее время активно развивается, используются

— георадиолокационный метод, который состоит в излучении импульсов через антенну и приеме отраженных (в слоях с разными электромагнитными свойствами) импульсов на георадар, предусматривает выявление балластных углублений в ПБЗ, уровней грунтовых вод, промерзания (при движении Геодефектоскопа);

— сейсмический метод на базе компьютеризированной сейсмостанции «Диоген», предусматривает получение геофизических ПП насыпей и выявление деформативных участков;

— натурные измерения размерных параметров (и определения их изменений во времени), наблюдения по глубинным реперам, обследования геофизическими методами, обработка путеизмерительных лент и другие методы

Система диагностики включает комплекс современных методов, технических средств, технологических приемов. Разрабатывается вагон-лаборатория инженерно-геологических обследований (ВГИО) ОЗП с оснащением диагностической аппаратурой, буровым оборудованием, автомобилем для геодезических, геолого-разведочных, геофизических (сейсмических, радиолокационных, электрометрических, электродинамических) и других способов обследований ОЗП.

На основе данных обследований и в соответствии с причинной обусловленностью возможно прогнозирование формирования деформаций ОЗП и их элементов расчетами устойчивости откосов и склонов, осадок основания насыпей и подбалластных зон выемок от выпирания (пластических деформаций), эрозионных, пучинных и других. Напряженное состояние позволяет прогнозировать возможные деформации оседания, выпирания, смещения. Оседания зависят от плотности и компрессионных свойств грунтов. Смещения возникают при предельных значениях критериев устойчивости [69, 71, 78, 118].

Диагностика определяет достоверные параметры текущего состояния ОЗП, деформативность и ее причинную обусловленность. Прогнозирование устанавливает причинно-следственные отношения и определяет будущие состояния ОЗП (в функции времени), возможные деформации.

Поскольку проявление деформаций является откликом на несоответствие (неадекватность) конструкции ОЗП, его грунтовой среды, региональным условиям факторов внешней среды, для предотвращения (и ликвидации) деформаций необходимы технические решения управления, которые рассматриваются в последующих разделах:

— оптимальные конструкции ОЗП (структура и размерные параметры) в соответствии с конкретными условиями ПКС;

— правильное использование свойств местных грунтов, при необходимости улучшение состояния грунтовой среды ОЗП;

- регулирование влияния факторов ПКС на состояние грунтовой среды и стабильность ОЗП,
- строгое соблюдение технологических правил при сооружении и ремонтах ОЗП;
- прогнозно-профилактическая система содержания и ремонтов земляного полотна.

3.2. Деформативность и деформации земляного полотна

Задача 3.1. Учитывая причинно-следственную обусловленность деформативности ОЗП под воздействием факторов ПКС конкретизировать влияние условий и уровней параметров ПКС на формирование деформаций ОЗП.

Решение. Учитываем условия ПКС: грунты скальные (Ск), крупнообломочные (Коб), пески, супеси, суглинки, глины; состояние основания по трассе (по оси ОЗП) из скальных грунтов, песчаных, глинистых, избыточное увлажнение, заболоченность; крутизну откосов, склонов (морфологию рельефа), гравитацию, сейсмичность, а также климатические условия: температуру воздуха (и суммы температур $\Sigma \pm T$), скорости ветров U_{BT} , количество годовых осадков $\Sigma \delta_i$, наличие и уровень грунтовых вод $H_{угв}$, паводковых $H_{ст}$ (и волнового воздействия λ_b, h_b, L_{bb}), гидрографию и в табличной форме графически отображаем влияние перечисленных факторов на образование деформаций. Процессы промерзания избыточно увлажненных грунтов приводят к пучинообразованию (Пч), криогенным деформациям; процессы компрессионной сжимаемости, консолидации — к уплотнению грунтов и осадкам (Ос); вязко-пластические процессы к смещениям (См), фильтрация, суффозия, течение воды — к размывам, разрушениям (Рз); нарушения, смещения откосов выемок, нагорных склонов, продуктов выветривания на них — к загромождениям (Зг) — табл. 3.1.

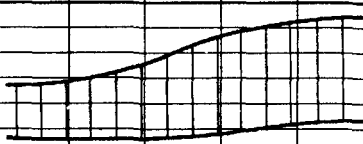
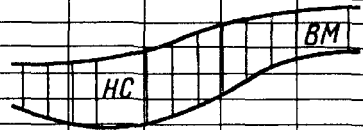
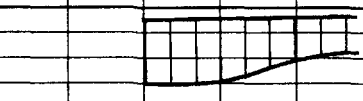
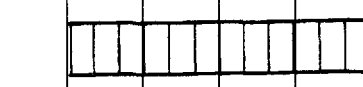

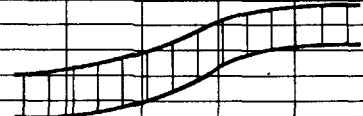
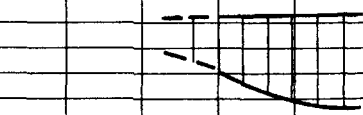


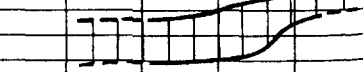
Задача 3.2. Учитывая многофакторную зависимость условий деформативности ОЗП, описать причинную обусловленность формирования деформаций на уровне структурных зон ОЗП.

Решение. В ситуациях многофакторной взаимообусловленности деформации формируются на пересечении (произведении) множеств параметров грунтовой среды ГС, (грунты глинистые ГГ, песчаные ГП и др., состояние водонасыщенное ГВ и др.), параметров ПКС (температуры воздуха $\pm T$, ветра U_{BT} , увлажнения водами дождевыми УД, грунтовыми УГ и др.), силовых воздействий СВ (поездного Рп и др.)

$$Dф \Rightarrow \langle ГС \times ПКС \times СВ \rangle \text{ или } \langle ГС \wedge ПКС \wedge СВ \rangle \Rightarrow (Dф \vee \bar{D}ф).$$

Таблица 3.1

Параметрическая обусловленность деформативности ОЗП

Условия ПКС		Деформации ОЗП				
Параметры	Уровни	Пч	Ос	См	Рз	Зг
Природные	Грунты					
	Основание (грунты, состояние)					
	Склоны, морфология рельефа					
	Гравитация					
	Сейсмичность, баллы					
В т ч. климатические	Температура (воздуха) $\Sigma \pm T_v$, град.					
	Ветер $U_{вт}$, м/с					
	Осадки $\Sigma \delta_i$, мм					
	Грунтовые воды, $H_{угв}$, м					
	Паводковые воды $H_{ст}$, м ($L_{вв}, \lambda_{в}, h_{в}$)					

Пример. Пучинообразование в подбалластной зоне

$$\Gamma\Gamma \wedge (\text{УД} \wedge (\text{УГ} \vee \overline{\text{УГ}}) \wedge (-T) \Rightarrow \text{Пч.}$$

Смещения в откосной зоне (насыпи)

$$\text{См} \Rightarrow (\Gamma\Gamma \vee \Gamma\Pi) \wedge (\text{УД} \wedge (\text{Рп} \vee \overline{\text{Рп}}).$$

Оседания в опорной зоне насыпи

$$\text{Ос} \Rightarrow \Gamma\Gamma (\wedge \Gamma\text{В}) \wedge (\text{Рп} \vee \overline{\text{Рп}}) \wedge ((\text{УГ} \vee \overline{\text{УГ}}) \wedge \text{УД}).$$

Здесь \wedge — конъюнкция (и), \vee — дизъюнкция (или), \Rightarrow импликация (следует), \neg — отрицание.

На рис. 3.1 показано влияние напряженного состояния, промерзания, увлажнения на формирование балластных корыт.

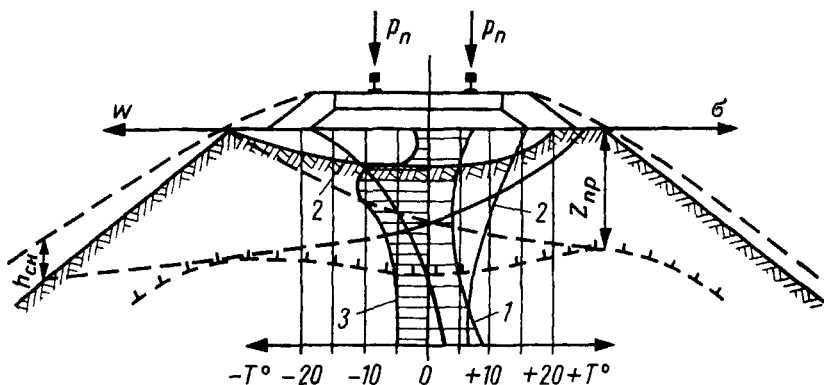


Рис 3.1. Причинная обусловленность образования балластных корыт:

1 — напряжения σ ; 2 — таухроны $\pm T^\circ$, 3 — влажность $W(Z)$, $Z_{пр}$ — глубина промерзания, $h_{ср}$ — толщина снегового покрова

Задача 3.3. Определить возможные объемы ветровой эрозии.

Решение. Эродируемость грунтовых поверхностей характеризуется показателем ветровой эрозии $\Pi_{эвт}$. Объем возможной ветровой эрозии можно определить по модулю ветровой эрозии $M_{эвт}$ — среднегодовой величине перемещений (наносов) песка, пыли на единице поверхности (предложен автором)

$$M_{эвт} = \Pi_{эвт} R_{\text{в}ij} \cos\beta_R, \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ (год)},$$

где $R_{\text{в}ij}$ — вектор равнодействующей (суммы) скоростей ветров (всех градаций i и направлений j за год); β_R — угол между направлением $R_{\text{в}ij}$ и нормалью к оси пути.

Пример. Определить возможные наносы песка (в годовом периоде) на ст. Улан-Холл.

Исходные данные. Величина равнодействующей (многоугольника) скоростей ветров $R_{\text{в}ij} = 490 \text{ м/с}$; $\beta_R = 21^\circ$;

$$\Pi_{эвт} = 0,2 \dots 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ (для линии Кизляр-Астрахань)}.$$

Решение. Расчетную величину равнодействующей принимаем для U_{\max} с переводным коэффициентом 1,6 (задача 2.6)

$$M_{\text{эвт}} = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 490 \cdot 0,934 = 0,29 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

Наносы песка на перегоне показаны на рис. 3.2.

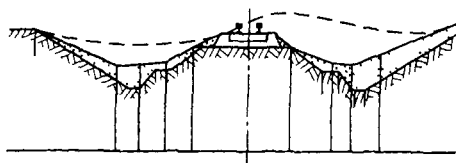


Рис 3.2 Ветроэрозионные наносы песка, пыли на пк 2117 + 50

Аналогично объемы водной эрозии можно определить по модулю водной эрозии $M_{\text{эвд}}$ [96] за летний период (в зависимости от расхода стокообразующих дождей $\Sigma\delta_{>3}$)

$$M_{\text{эвд}} = 0,0316 P_{\text{эвд}} \Sigma\delta_{>3} l_{\text{д}}^{0,5} l_{\text{от}}^{-0,5}, \text{ м}^3/\text{м}^2,$$

где $i_{\text{д}}$ — средняя интенсивность дождя $i_{\text{д}} = \delta_{\text{д}}/t_{\text{д}}$, $l_{\text{от}}$ — длина откоса, $P_{\text{эвд}}$ — показатель водной эрозии (эродируемости) для суглинков пылеватых 0,17—0,20, легких 0,14, растительного грунта 0,045

Задача 3.4. Определить параметры возможных сплывов откосов (пластических деформаций) в поверхностных слоях.

Решение Поверхностная устойчивость откосов (от локальных сплывов) оценивается коэффициентом устойчивости по состоянию грунтов ($\gamma_{\text{Г}}$, $c_{\text{Г}}$, $\phi_{\text{Г}}$) при возможных поверхностях смещения плоской, линейной (рис. 3.3)

$$K_{\text{ус}} = \text{tg}\phi_{\text{Г}}/\text{tg}\alpha_{\text{от}} + c_{\text{Г}}/(\gamma_{\text{Г}}h_{\text{с}}\sin\alpha_{\text{от}}).$$

где $\alpha_{\text{от}}$ — угол крутизны откоса, $h_{\text{с}}$ — глубина сплыва [111];

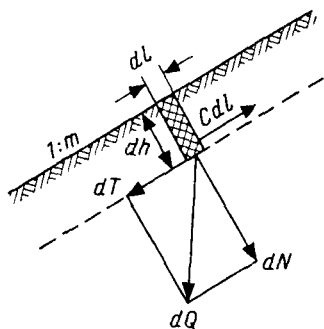


Рис 3.3 Расчетная схема плоского смещения откоса

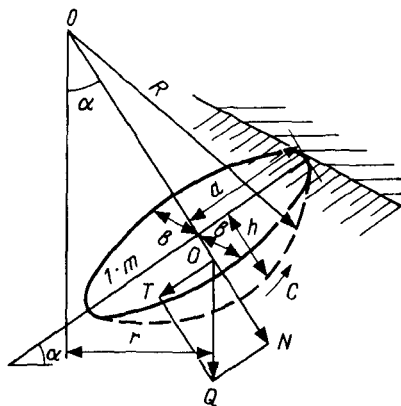


Рис 3.4 Расчетная схема смещения по криволинейной поверхности (шаровому сегменту)

криволинейной (пространственной) — по шаровому сегменту (предложено автором), рис. 3.4

$$K_{yc} = 6c_r(a^2 + h_c^2)/[\gamma_r h_c(3a^2 + h_c^2)\sin\alpha_{от}] + \operatorname{tg}\varphi_r \operatorname{ctg}\alpha_{от},$$

при полуторной крутизне откоса

$$K_{yc} = 3,61c_r/(\gamma_r h_c) + 1,5\operatorname{tg}\varphi_r.$$

Пример. Определить возможную (критическую) глубину сплыва при плоской поверхности смещения на насыпи 1108 км (Качево-Сунуково).

Исходные данные: $\gamma_r = 19,6 \text{ кН/м}^3$;
 $W_r = 28\%$; $c_r = 7,5 \text{ кПа}$; $\varphi_r = 15,1^\circ$, $\alpha_{от} = 34^\circ$.

Решение. Используя условие предельного равновесия ($K_{yc} = 1,0$) получим

$$h_c = c_r/[\gamma_r (\sin\alpha_{от} - \operatorname{tg}\varphi_r \cos\alpha_{от})] =$$

$$= 7,5/[19,6(0,559 - 0,270 \cdot 0,829)] = 1,14 \text{ м}$$

Зная зависимости $c_r(W_r)$ и W_r по лабораторным испытаниям, можно определить критические значения $W_{кр}$ по глубине поверхностных слоев h_c откоса. Такая кривая $h_c(W_{кр})$, ограничивающая область возможных смещений для грунтов насыпи 1108 км (прил. 7.2) показана на рис. 3.5 (были сплывы h_c до 1,0 м).

Задача 3.5. Определить классификационные показатели: формы, виды, типы пучинных деформаций с учетом пучинных искажений рельсовых нитей в продольном и поперечных профилях и причинной обусловленности пучинообразования.

Решение. Морозное пучение происходит в условиях промерзания избыточно увлажненных глинистых (пучинистых) грунтов (при термомассопереносе, миграции воды, льдообразовании) и характеризуется величиной поднятия пути (по головкам рельсовых нитей Г.Р.) $h_{п}$, интенсивностью пучения $f_{п} = dh_{п}/dZ_{пр}$, коэффициентом пучения $K_{пч} = h_{п}/Z_{пр}$ (при $f_{п} = \text{const}$), а также изменением величины пучения по глубине промерзания $h_{п} = f(Z_{пр})$ — графиком пучения по глубине [18].

Пучинами являются местные неровности (искажения) пути по рельсовым нитям в продольном и поперечном профилях, которые больше допустимых (крутизна $i_{д}$, величина $h_{д}$) при текущем содержании пути на пучинах (ИПП) и возникают при неоднородном литологическом составе грунтов по глубине и простираению, неравномерном увлажнении их атмосферными, грунтовыми водами, неодинаковым промерзании в подбалластной зоне, а также при наличии балластных углублений ОП, неисправностях водоотводов

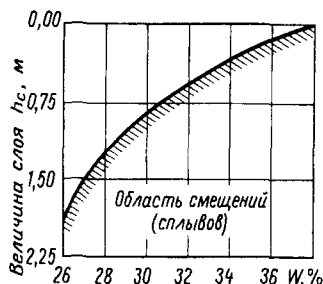


Рис 3.5. График предельных состояний устойчивости откоса $h_c(W_{кр})$

Формы пучин определяются по пучинным искажениям положения рельсовых нитей в продольном профиле: пучинные горбы, впадины, перепады (рис. 3. 6). Виды пучин определяются по пучинным искажениям левой и правой рельсовых нитей (параметрам величины $h_{п}$, длины $l_{п}$ пучины, рис. 3.6) [18]:

прямые $h_{л} = h_{п}$, $l_{л} = l_{п}$; косые $h_{л} \leq h_{п}$, $l_{л} = l_{п}$;

перекосные $h_{л} \leq h_{п}$, $l_{л} \leq l_{п}$; односторонние ($h_{л} \vee h_{п}$) = 0.

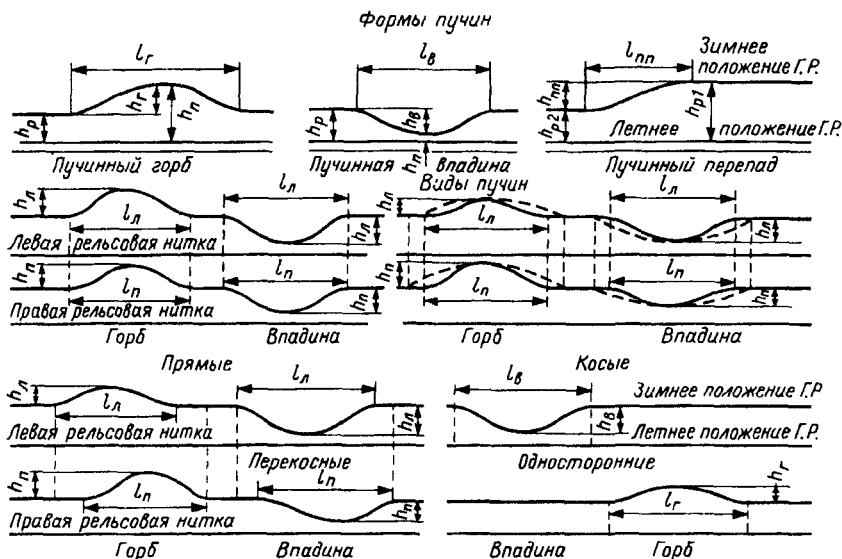


Рис 3.6 Формы и виды пучин

Типы пучин определяются в зависимости от местоположения пучинообразующего слоя (в подбалластной зоне промерзания) и характера увлажнения (атмосферными, грунтовыми водами) — прил. 3.2.

Задача 3.6. Определить размерные параметры и очертания пучинных горбов.

Решение. Размерными параметрами пучинного горба (рис 3.7) являются длина $l_{п}$, высота $h_{г} = h_{п} - h_{р}$,

где $h_{п}$, $h_{р}$ — величины полного, равномерного пучения;

величина неравномерного пучения $h_{н} = h_{г} - h_{д}$,

где $h_{д}$ — величина допустимого пучения (со средним уклоном $i_{ср} \leq i_{д}$, по Инструкции [41]); $h_{д} = 0,5l_{п} \cdot i_{д}$;

крутизна отвода $i_{от} = h_{г} / (0,5l_{п}) = 2h_{г} / l_{п} = i_{ср}$;

пологость $0,5l_{п} / h_{г}$.

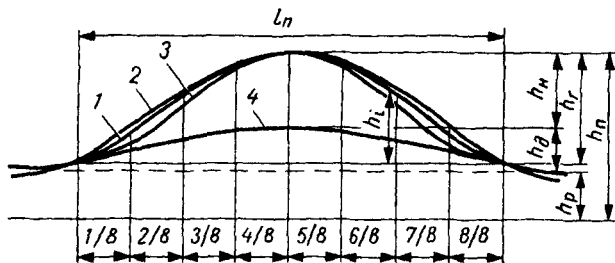


Рис 3 7. Размерные параметры пучинного горба. 1 — фактические (по средним статистическим ординатам для Восточной Сибири), 2 — по параболе; 3 — по косинусоиде, 4 — допустимые.

Зависимость $h_{п}(Z_{пр})$ близка к линейной [69];

для прогноза пучения $h_{пj} = K_{пч}[Z_{пр} - \Sigma(6_{ij}/K_{6i})]$,

где $K_{пч}$ — коэффициент пучения, равный (в большинстве случаев)

0,02 (до 0,04) для равномерного пучения;

0,05 для полного пучения (0,09 при увлажнении грунтовыми водами).

Очертания пучинных горбов близкие

к параболическим с ординатами

$$h_{гi} = [A_0 + A_1(l_i/l_n) + A_2(l_i/l_n)^2] 10^3$$

при значениях коэффициентов уравнения регрессии: для районов Урала, Западной Сибири $A_0 = -0,41$; $A_1 = 9,5$, $A_2 = -9,5$; для Восточной Сибири соответственно $-0,2$; $6,0$; $-6,0$;

к косинусоидальным (рис. 3 7) $h_{гi} = 0,5 h_r(1 - \cos 2\pi l_i/l_n)$;

уклоны $i = dh_r/dl_n = \pi(h_r/l_n)\sin 2\pi(l_i/l_n)$;

при $l_i = 0,25l_n$ $i_{max} = \pi h_r/l_n$;

кривизна $1/\rho = d^2h_r/dl_n^2 = 2\pi^2(h_r/l_n^2)\cos 2\pi(l_i/l_n)$;

усредненный радиус при $l_i = 0,5l_n$ $R_n = l_n^2/(2\pi^2 h_r) \approx 0,05l_n^2/h_r$.

Пример. Дано: $h_n = 62$ мм; $h_p = 20$ мм; $l_n = 14$ м; $i_d = 0,002$.

Тогда $h_r = 62 - 20 = 42$ мм; $h_n = 42 - 0,5 \cdot 14 \cdot 0,002 = 28$ мм;

уклон $i = 0,042/(0,5 \cdot 14) = 0,0060$; $i_{max} = \pi \cdot 0,042/14 = 0,0094$;

радиус $R_n = 0,05 \cdot 14^2/0,042 = 233$ м.

Задача 3.7. Установить зависимости размерных параметров пучинных горбов $l_n(h_n)$ по данным натуральных определений.

Пример. Имеются вариационные ряды натуральных измерений h_r, l_n на 138 участках в регионе Урала и Западной Сибири

Решение. Корреляционный анализ парной зависимости выполняем, пользуясь корреляционной таблицей ЭТ (табл. 3.2).

По максимальным частотам сгруппированных рядов устанавливаем наибольшие значения (моды) $h_r = 45$ мм; $l_n = 20,0$ м.

По результатам регрессионного анализа натуральных данных получена линейная зависимости $l_n = 8,773 + 273 h_r$, м.

Таблица 3.2

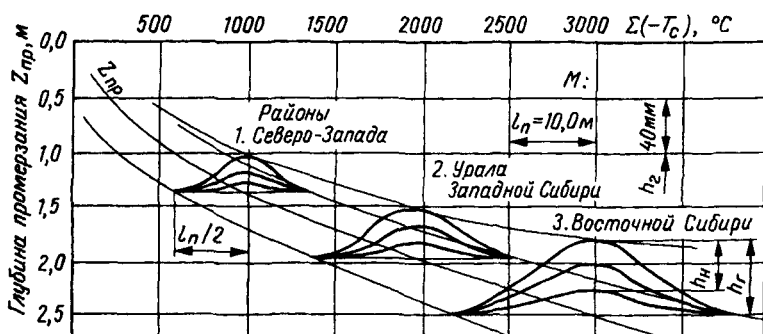
Анализ зависимости $I_n(h_r)$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2														
3														
4	Параметр А	Параметр В — интервалы и средние значения — $h_r \cdot 10^{-3}$, м												
5														
6	Интер-валы	Средние значения	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Количество	Средние по В
7		l_n , м	5 00	15 00	25 00	35 00	45 00	55 00	65 00	75 00	85 00	95 00		
8														
9	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
10	56	52 00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	90 00
11	48	44 00	0	0	0	1	2	2	2	1	1	1	10	62 00
12	40	36 00	0	0	1	3	7	2	2	3	1	1	20	54 50
13	32	28 00	0	1	2	4	9	7	1	2	1	1	28	49 64
14	24	20 00	0	1	10	11	14	6	4	1	1	0	48	42 29
15	16	12 00	2	10	6	4	3	2	0	0	0	0	27	25 74
16	8	4 00	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8 33
17														
18	Количество		4	13	19	23	35	19	9	7	5	4	136	43 70
19	Средние по А		8 00	13 23	19 16	23 13	25 94	26 32	29 78	32 57	36 00	40 00	22 93	
20														

Задача 3.8. Определить размерные параметры пучинных горбов для региональных условий при известных параметрах температурного режима (температуры воздуха).

Решение. Пучинные деформации (пучинные горбы), преимущественно полной зоны промерзания (II типа), имеют практически линейную зависимость величины пучения от глубины промерзания $h_n(Z_{пр})$ [69].

Размерные параметры можно изобразить графической номограммой, отражающей зависимости $h_n\{Z_{пр}[\Sigma(-T_c)]\}$ и размерные параметры пучинных горбов: h_r , h_n , l_n (рис. 3.8).

Рис. 3.8. Параметрические зависимости $h_n\{Z_{пр}[\Sigma(-T_c)]\}$

Пример. Определить возможные размерные параметры пучинных горбов на участке пути у ст. Красноуфимск. Сумма среднесуточных отрицательных температур воздуха за зимний период (морозный индекс) — $[\Sigma(-T_c)] = 1810^\circ\text{C}$.

Решение. По номограмме рис. 3.8. в масштабе графиков получаем $h_{\Gamma} = 36\text{ мм}$, $l_{\Pi} = 22\text{ м}$.

Задача 3.9. Определить размерные параметры пучинных горбов по глубине промерзания с заданной вероятностью превышения $p\%$.

Пример. Имеется кривая обеспеченности $Z_{\text{пр}}$ для участка Тюмень—Тобол (рис. 3.9). Задана обеспеченность $p = 1,0\%$. Известен коэффициент пучения

$$K_{\text{пч}} = h_{\Gamma}/Z_{\text{пр}} = 0,02.$$

Решение. По кривой обеспеченности находим $Z_{\text{пр}i} = 2,4\text{ м}$.

Соответственно определяем размеры пучинного горба:

$$\text{высоту } h_{\Gamma} = 0,02 \cdot 2,4 = 0,048\text{ м (48 мм);}$$

$$\text{длину } l_{\Pi} = 8,777 + 273,0 \cdot 0,048 = 21,88\text{ м.}$$

Задача 3.10. Определить напряжения в рельсах на пучинном горбе.

Решение. Нормальные напряжения в рельсах от изгиба определяются по величине изгибающего момента $M = EI/P$;

$$\sigma_{\text{р}} = M/W = Ey/R,$$

где I , W — моменты инерции, сопротивления; E — модуль упругости рельсовой стали; y — расстояние волокна, в котором определяются напряжения, от нейтральной оси рельса.

Пример. Размерные параметры пучины: $l_{\Pi} = 22\text{ м}$; $h_{\Gamma} = 48\text{ мм}$; рельсы типа Р65: момент инерции $I = 3548\text{ см}^4$; момент сопротивления $W = 359\text{ см}^3$ и соответствующее $y = 9,87\text{ см}$; модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^5\text{ МПа}$.

Решение. Определяем вертикальный радиус пучинной неровности (горба) $R_{\Gamma} = 0,05l_{\Pi}^2/h_{\Gamma} = 0,05 \cdot 22^2/0,048 = 504\text{ м}$;

$$\text{вычисляем напряжения } \sigma_{\text{р}} = 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,0987/504 = 41,1\text{ МПа.}$$

$$\text{При } l_{\Pi} = 14\text{ м } \sigma_{\text{р}} = 101,6\text{ МПа; при } l_{\Pi} = 10\text{ м } \sigma_{\text{р}} = 200\text{ МПа.}$$

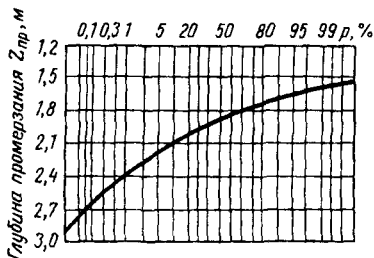


Рис. 3.9 Кривая обеспеченности $Z_{\text{пр}}$

3.3. Прогнозные расчеты устойчивости откосов, склонов

Задача 3.11. Оценить устойчивость откосов ОЗП от смещений.

Исходные данные: параметры ОЗП H_i , $B_{\text{оп}}$, $m_{\text{от}}$; нагрузок p_{Π} , b_{Π} , $p_{\text{вс}}$, $b_{\text{вс}}$; возможного состояния грунта γ_{Γ} , c_{Γ} , ϕ_{Γ} .

Решение. Устойчивость ОЗП от смещений определяется коэффициентом устойчивости $K_{\text{ус}}$, величиной и направлением равнодействующей E_{Π} , которые зависят от вида и состояния грунтов.

Рассматриваются возможные поверхности смещения: плоские в песчаных сыпучих грунтах, криволинейные (круглоцилиндрические) в глинистых, предопределенные геологической структурой откосов выемки, склона.

Расчеты выполняются графо-аналитическими или аналитическими методами при основных (гипотетических) предпосылках: сползающий массив рассматривается как единый блок, который делится на отсеки в пределах изменения формы (переломов поперечного профиля), основания, среды; нагрузки поездная и верхнего строения пути заменяются эквивалентной грунтовой; расчет ведется на 1 п. м длины ОЗП.

Рассматриваются активные силы, действующие в каждом отсеке и равновесие массива в целом. В каждом i -м отсеке площадью ω_i с уклоном его основания под углом касания β_i в гравитационном поле ПКС действует (вертикально вниз) сила Q_i , соответствующая весу этого отсека (блока) $Q_i = \gamma_{\Gamma} \omega_i$.

Составляющими Q_i являются нормальная сила, направленная по нормали (перпендикулярно) к плоскости смещения $N_i = Q_i \cos \beta_i$, которая с коэффициентом трения $f_{\Gamma} = \operatorname{tg} \varphi_{\Gamma}$ образует удерживающую силу трения, и тангенциальная сила смещения $T_i = Q_i \sin \beta_i$, направленная параллельно плоскости смещения, которая является сдвигающей силой. По плоскости возможного смещения l_i действует другая удерживающая сила — сцепления, равная $c_{\Gamma} l_i$.

Коэффициент устойчивости равен отношению сил (или моментов) удерживающих (трения, сцепления) к сдвигающим (тангенциальная)

$$K_{yc} = (f_{\Gamma} \gamma_{\Gamma} \omega_i \cos \beta_i + c_{\Gamma} l_i) / (\gamma_{\Gamma} \omega_i \sin \beta_i).$$

Критической поверхности смещения (из нескольких возможных) соответствует K_{\min} , который должен быть больше заданного $K_{\min} > K_3$. Величина $K_3 \geq 1,2$ [71,84], в предельном состоянии $K_3 = 1,0$. Равнодействующая активных сил в предельном состоянии $E_H = 0,0$ кН.

Пример. Оценить устойчивость откоса насыпи из песчаных грунтов.

Исходные данные: $H_H = 8,0$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; $m = 1,5$;

параметры нагрузок $p_{п} = 80$ кПа; $b_{п} = 2,75$ м; $p_{вс} = 15$ кПа; $b_{вс} = 4,3$ м;

параметры состояния грунтов $\gamma_{\Gamma} = 19$ кН/м³; $c_{\Gamma} = 2,0$ кПа; $\varphi_{\Gamma} = 35^{\circ}$.

Решение. Устойчивость откоса насыпи оцениваем коэффициентом устойчивости при возможных плоских поверхностях смещения

$$K_{yc} = (f_{\Gamma} N + c_{\Gamma} l) / T = f_{\Gamma} / \operatorname{tg} \beta + c_{\Gamma} l / (\omega \gamma_{\Gamma} \sin \beta) > K_3.$$

Расчетная схема на рис. 3.10.

Принимаем несколько вариантов возможных плоских поверхностей смещения с углами наклона (крутизной) $\beta_1 = 30^{\circ}$; $\beta_2 = 28^{\circ}$; $\beta_3 = 22^{\circ}$; $\beta_4 = 18^{\circ}$.

Определяем параметры нагрузки, эквивалентной $p_{п}$, $p_{вс}$ (на ширине $B_{оп}$): высота (интенсивность)

$$h_3 = (p_{п} b_{п} + p_{вс} b_{вс}) / \gamma_{\Gamma} B_{оп} = (80,0 \cdot 2,75 + 15,0 \cdot 4,3) / (6,0 \cdot 19,0) = 2,5 \text{ м};$$

$$\text{площадь нагрузки } \omega_3 = 6,0 \cdot 2,5 = 15,0 \text{ м}^2, \quad f_{\Gamma} = \operatorname{tg} 35^{\circ} = 0,7002.$$

Расчет выполняем в табличной форме (табл. 3.3).

По данным табл. 3.3 и графика коэффициентов устойчивости (рис. 3.10)

$$K_{yc\min} = K_2 = 1,52 > K_3 = 1,2. \text{ Откос насыпи будет устойчивым.}$$

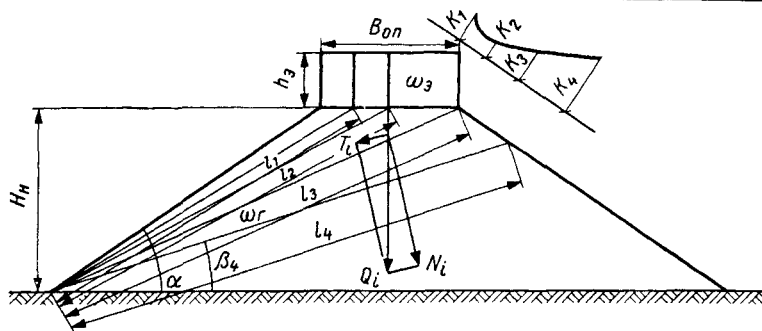


Рис. 3.10. Расчетная схема для прогноза устойчивости (определения K_{yc}) насыпи из песчаных грунтов

Таблица 3.3

Определение $K_{уст\min}$ по расчетным параметрам

Расчетные параметры	Значения расчетных параметров при β_i , град			
	30	28	22	18
$tg\beta_i$	0,5773	0,5317	0,4040	0,3249
$A_i = f_r / tg\beta_i$	1,213	1,317	1,733	2,155
l_i , м	15,8	17,0	19,6	21,2
$c_r l_i$, кН	31,60	34,00	39,20	42,40
w_H , м ²	5,53	11,05	23,5	39,0
$w_i = w_H + w_э$, м ²	9,23	18,75	38,5	54,0
$\sin\beta_i$	0,5000	0,4695	0,3746	0,3090
$\gamma_r w_i \sin\beta_i$, кН	88,16	167,26	214,02	317,03
$B_i = c_r l_i / \gamma_r w_i \sin\beta_i$	0,358	0,203	0,183	0,134
$K_{yci} = A_i + B_i$	1,571	1,520	1,916	2,289

Задача 3.12. Определить минимальный коэффициент устойчивости откоса выемки в песчаных грунтах и положение плоскости возможного смещения.

Исходные данные: размерные параметры выемки: H_B , $m_{от}$; банкета: $h_б$, $b_б$; кавальера: $h_{кв}$, $b_{кв}$, $m_{кв}$; обреза $l_{об}$, ψ ; характеристики грунта: c_r , F_r , γ_r . Расчетная схема на рис. 3.11.

Решение. Нагрузки банкета, кавальера приводятся к эквивалентному слою $h_э$

$$h_э = [0,5b_бh_б + (b_{кв} + m_{кв}h_{кв})h_{кв}] / l_э;$$

$$l_э = l_{об} + b_{кв} + 2m_{кв}h_{кв}; p_э = \gamma_r h_э;$$

угол α соответственно $m_{от}$,

$$U = 2c_r / (\gamma_r H'); H' = H_B + 2p_э \sin\alpha / [\gamma_r \sin(\alpha - \psi)].$$

Коэффициент устойчивости откоса [121]

$$\min K_{yc} = (2U + f_r) / tg\alpha + 2\sqrt{U(U + f_r)} / \sin\alpha.$$

Положение плоскости возможного смещения определяется величиной β_c

$$\operatorname{tg} \beta_c = [1/\operatorname{tg} \alpha + \sqrt{U/(U + f_r)}/\sin \alpha]^{-1} = \sin \alpha / [\cos \alpha + \sqrt{U/(U + f_r)}]$$

Пример. Дано: $H_B = 8,0$ м, $m_{OT} = 1,5$; $h_6 = 0,6$ м, $b_6 = 4,0$ м; $h_{KB} = 3,0$ м, $b_{KB} = 5,0$ м, $m_{KB} = 1,5$; $l_{OB} = 6,5$ м, $\psi = 8^\circ$;

грунт — песок мелкий: $c_r = 2,0$ кПа, $\varphi_r = 36^\circ$, $\gamma_r = 19,5$ кН/м³; $K_3 = 1,2$.

Расчетная схема на рис. 3.11.

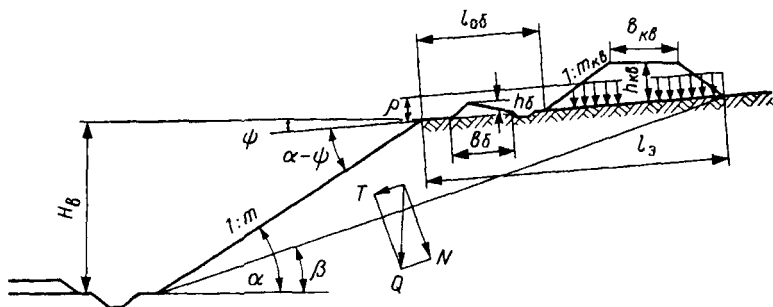


Рис. 3.11. Расчетная схема для прогноза устойчивости (определения K_{yc}) откоса выемки в песчаных грунтах

Решение. Вычисляем $l_3 = 6,5 + 4,0 + 2 \cdot 1,5 \cdot 3,0 = 19,5$ м;

$$h_3 = [0,5 \cdot 4,0 \cdot 0,6 + (5,0 + 1,5 \cdot 3,0) \cdot 3,0] / 19,5 = 1,52 \text{ м};$$

$$p_3 = 19,5 \cdot 1,52 = 29,6 \text{ кПа}.$$

При $m = 1,5$, $\alpha = 33^\circ 40'$; $\sin \alpha = 0,5544$; $\sin(\alpha - \psi) = \sin 25^\circ 40' = 0,4332$;
 $\operatorname{tg} \alpha = 0,6662$; $f_r = \operatorname{tg} 30^\circ = 0,5773$.

$$H' = 8,0 + 2 \cdot 29,6 \cdot 0,5544 / (19,5 \cdot 0,4332) = 11,89 \text{ м};$$

$$U = 2 \cdot 2,0 / (19,5 \cdot 11,89) = 0,02.$$

$$\operatorname{tg} \beta_c = [1/0,6662 + \sqrt{0,02}(0,02 + 0,5773)/0,5544]^{-1} = 0,5461.$$

Плоскость возможного смещения направлена под углом $\beta_c = 28^\circ 38'$.

$$K_{yc \min} = (2 \cdot 0,02 + 0,5773) / 0,6662 + 2\sqrt{0,02}(0,02 + 0,5773) / 0,5544 = 1,32.$$

Так как $K_{yc \min} > K_3 = 1,2$, то откос выемки устойчив.

Задача 3.13. Определить устойчивость выемки в глинистых грунтах.

Исходные данные: размерные параметры выемки H_B , $V_{оп}$, $m_{от}$; характеристики грунта: γ_r , c_r , φ_r ; K_3 .

Расчетная схема: масштабный поперечный профиль выемки.

Графические построения (рис. 3.12). Характерные точки B , C и D за откосной бровкой соединяются прямыми хордами с основанием откоса в точке A_0 . В серединах хорд восстанавливаются перпендикуляры. К каждой точке под углом 30 — 36° проводятся вспомогательные линии. На пересечении перпендикуляров (линий центров) и вспомогательных линий получают центры O_A , O_B , O_C , O_D , из которых описывают круговые кривые возможного смещения откоса выемки и опускают вертикали.

Решение. Измеряются R_j , α_j , x_{ij} , размеры элементов отсеков h_{i-1} , h_i , b_i . Вычисляются $\sin\beta_{ij} = x_{ij}/R_j$, l_{ij} , ω_{ij} , результаты записываются в табличной форме.

$$K_{yc} = [\gamma_r \gamma_r \Sigma(\omega_i \cos\beta_i) + c_r l_i + \gamma_r \Sigma(\omega_i \sin\beta_i)_{уд}] / [\gamma_r \Sigma(\omega_i \sin\beta_i)_{сд}].$$

Вычисляются K_{yci} и строится график K_{ycminj} .

Для обеспечения устойчивости откоса необходимо соблюдение условия

$$K_{ycminmin} \geq K_3.$$

Пример. Устойчивость выемки оценивается в неблагоприятный период весеннего оттаивания, в условиях избыточного увлажнения грунтов. Параметры выемки: $H_B = 12$ м, $m_{от} = 1,5$. Коэффициент $K_3 = 1,2$.

Характеристики грунта: $\gamma_r = 19,6$ кН/м³, $c_r = 14$ кПа, $\varphi_r = 21^\circ$.

Расчетная схема на рис. 3.12.

Графические построения: из центра O_A , полученного на пересечении нормали к хорде AA_0 и вспомогательной линии AO_A , через точки A_0 и A описываем кривую возможного смещения (A_0A), опускаем вертикаль $O_A A_1$.

Решение. Измеряем $R_A = 29,2$ м; $\alpha_A = 45^\circ$.

Вычисляем длину дуги кривой $l_A = \pi R \alpha / 180 = \pi \cdot 29,2 \cdot 45 / 180 = 22,93$ м.

Массив разбиваем на отсеки.

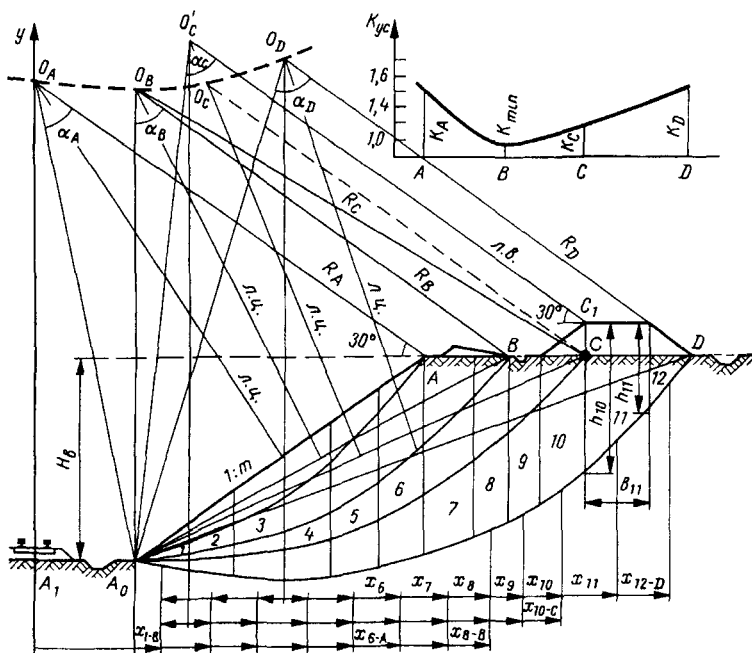


Рис. 3.12. Расчетная схема для прогноза устойчивости (определения K_{ycmin}) выемки в глинистых грунтах

Измеряем горизонтальные расстояния x_i от вертикали до середины каждого отсека, определяем $\sin\beta_i = x_i/R_A$, $\cos\beta_i$.

Измеряем высоты h_{i-1} , h_i , ширину отсеков b_i и вычисляем площади $\omega_i = 0,5(h_{i-1} + h_i)b_i$, элементы сил нормальных $N_i = \omega_i \cos\beta_i$, тангенциальных $T_i = \omega_i \sin\beta_i$ (в табличной форме); $f_r = \operatorname{tg}21^\circ = 0,3839$.

Аналогичные построения и вычисления выполняем для кривых A_0B , A_0C , A_0D . По расчетным параметрам вычисляем значения K_{ycj}

$$K_A = (0,3839 \cdot 9,6 \cdot 25,2613 + 14,0 \cdot 22,93)/(19,6 \cdot 15,7650) = 1,65;$$

$$K_B = (0,3839 \cdot 19,6 \cdot 87,2456 + 14,0 \cdot 26,40)/(19,6 \cdot 48,6203) = 1,08;$$

$$K_C = (0,3839 \cdot 19,6 \cdot 124,8314 + 14,0 \cdot 33,43 + 1,955)/(19,6 \cdot 55,6075) = 1,29;$$

$$K_D = (0,3839 \cdot 19,6 \cdot 243,0210 + 14,0 \cdot 39,71) + 39,214/(19,6 \cdot 81,8092) = 1,51.$$

Строим график K_{ycj} , по которому устанавливаем:

$$K_{yc\min\min} = 1,08 < K_3 = 1,2.$$

Откос выемки неустойчив. Требуется уположение откоса, разгрузочная полка или другие меры.

Задача 3.14. Определить устойчивость (сопротивление смещению) склона у железнодорожного пути при известном геологическом его строении.

Исходные данные: размерные параметры склона, положение поверхности вероятного смещения, вид и характеристики грунта: γ_r , c_r , φ_r .

Расчетная схема: поперечный профиль склона в масштабе 1:100 (1:50, 1:200); поверхность вероятного смещения грунтов (по слоям пластов). Графические построения: разбивка массива на отсеки шириной 3—6 м таким образом, чтобы основание каждого отсека составляло плоскость; определение площадей отсеков, сил-векторов, действующих в каждом отсеке.

Решение. Определяются в каждом отсеке: графически β_i , ω_i , l_i ; затем $\sin\beta_i$, $\cos\beta_i$, $\gamma_i \omega_i$;

вычисляются $N_i = \gamma_i \omega_i \cos\beta_i$, $T_i = \gamma_i \omega_i \sin\beta_i$, $c_i l_i$.

Устойчивость склона оценивается коэффициентом устойчивости

$$K_{yc} = [\sum (f_i N_i + c_i l_i + T_{iyд}) \cos\varphi_i / \cos(\beta_i - \varphi_i)] / [\sum T_{icд} \cos\varphi_i / \cos(\beta_i - \varphi_i)];$$

величиной равнодействующей всех сил, приложенных к отсекам, и ее направлением

$$E_{\Pi} = \pm \sum (K T_{icд} - f_i N_i - c_i l_i - T_{iyд}) \cos\varphi_i / \cos(\beta_i - \varphi_i).$$

Пример. Дано: склон из суглинков,

$$\gamma_r = 20,1 \text{ кН/м}^3; c_r = 9,0 \text{ кПа}; \varphi_r = 21^\circ; K_3 = 1,2.$$

Расчетная схема: поперечный профиль склона, поверхность возможного смещения (рис. 3.13) по геологическим параметрам.

Решение. Определяем

$$f_r = \operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}21^\circ = 0,3839; \quad \cos21^\circ = 0,9336;$$

графически β_i , ω_i , l_i . Расчетные величины для отсеков вычисляем в табличной форме (табл. 3.4).

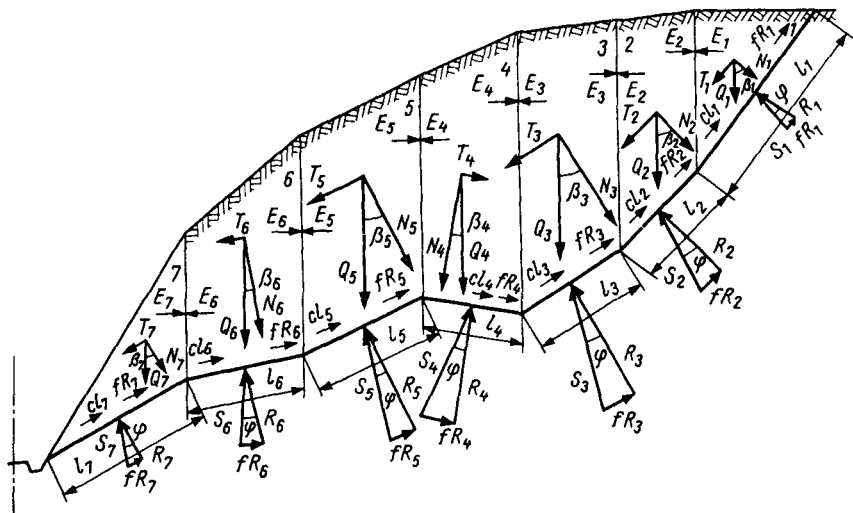


Рис. 3.13. Расчетная схема для прогноза устойчивости (определения K_{yc}) склона

Таблица 3.4.

Расчетные параметры для определения K_{yc} склона

Расчетные параметры	Значения расчетных параметров по отсекам							Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	
β_i , град.	51	44	31	11	26	10	30	
$\cos\beta_i$	0,6293	0,7193	0,8572	0,9816	0,8987	0,9848	0,8660	
$\sin\beta_i$	0,7772	0,6947	0,5150	0,1908	0,4384	0,1737	0,5	
$\beta_i - \varphi_0$, град.	30	23	10	-10	5	-11	-9	
$\cos(\beta_i - \varphi_0)$	0,8660	0,9205	0,9848	0,9848	0,9962	0,9816	0,9677	
$\cos\varphi_0 / \cos(\beta_i - \varphi_0) = K_{c\cos}$	1,0780	1,0142	0,9480	0,9480	0,9371	0,9511	0,9647	
w_i , м ²	6,00	9,80	17,13	15,63	20,30	13,80	7,04	
γw_i , кН	120,6	197,0	344,3	314,2	408,0	277,4	141,5	
$N_i = \gamma w_i \cos\beta_i$, кН	75,9	141,7	295,1	308,4	366,7	273,2	122,5	
$f_r N_i$, кН	29,1	54,4	113,3	118,3	140,8	104,9	47,0	
$F_{исд} = T_i = \gamma w_i \sin\beta_{исд}$, кН	93,7	136,9	177,3	—	178,8	47,5	70,8	
$T_i = \gamma w_i \sin\beta_{иуд}$, кН	—	—	—	59,9	—	—	—	
l_i , м	5,1	2,8	2,9	2,6	3,4	3,0	4,0	
c/l_i , кН	61,2	33,6	34,8	31,2	40,8	36,0	48,0	
$F_{иуд} = f_r N_i + c_r l_i + T_{иуд}$, кН	90,3	88,0	128,1	209,4	181,6	140,9	95,0	
$F_{иуд} \cdot K_{c\cos}$, кН	97,3	89,2	140,4	198,5	170,2	134,0	91,6	921,2
$F_{исд} \cdot K_{c\cos}$, кН	101,0	138,8	168,0	—	167,6	45,2	68,3	688,8

В таблице $K_{\cos} = \cos\varphi_i / \cos(\beta_i - \varphi_i)$;

$$\Sigma F_{уд} K_{\cos} = 921,2 \text{ кН}; \Sigma F_{сд} K_{\cos} = 688,8 \text{ кН}.$$

По суммарным значениям расчетных параметров вычисляем $K_{\text{ус}}$ склона.

$$K_{\text{ус}} = \Sigma F_{уд} K_{\cos} / \Sigma F_{сд} K_{\cos} = 921,2 / 688,8 = 1,34 > 1,2.$$

Склон в устойчивом состоянии.

Задача 3.15. Определить устойчивость склона у железнодорожного пути при известной (геологически предопределенной) поверхности смещения (консеквентного оползня).

Исходные данные: вид и характеристики грунта.

Расчетная схема: поперечный профиль склона; поверхность возможного смещения (по слоям пластов).

Решение. Устойчивость склона оценивается по величине и направлению равнодействующей E_n графическим способом.

Массив разбивается на отдельные отсеки вертикальными линиями.

Вычисляются площади каждого отсека $\omega_i = 0,5(h_{i-1} + h_i)b_i$,

где h_{i-1} , h_i — высоты сторон (граней) отсека; b_i — ширина отсека; h_{i-1} , h_i , b_i измеряются на расчетной масштабной схеме.

Вычисляется вес каждого отсека Q_i : $Q_i = \gamma_{\Gamma} \omega_i$.

В каждом отсеке Q_i раскладывается на составляющие: нормальную силу N_i и тангенциальную T_i . Под углом φ (внутреннего трения грунта) к нормали строится по каждому отсеку сила S_i (равнодействующая силы трения $f_i R_i$ и нормальной реакции R_i).

$$S_i = R_i \sqrt{1 + f_i^2}.$$

Измеряется длина основания l_i каждого отсека и вычисляется сила сцепления $c_{\Gamma} l_i$. Направление сил E_i (взаимных реакций каждого отсека с соседним) принимается горизонтальным.

Условие устойчивости для каждого отсека $K_3 \Sigma T_{сд} = \Sigma T_{уд}$, где K_3 — заданный (нормативный) коэффициент устойчивости.

Величины неизвестных S_i , E_i определяются при построении многоугольника сил для каждого отсека.

Построение многоугольников сил выполняется, начиная с 1-го отсека (для которого $E_{i-1} = 0, 0$. Реакцию E_1 , найденную для 1-го отсека, принимают равной по величине (и обратно направленной) реакции второго отсека и аналогично E_i для последующих отсеков.

Если реакция результирующей силы E_n имеет направление реальное (возникающее при наличии поддерживающего сооружения), то массив неустойчив. Если направление равнодействующей E_n нереальное (в сторону возможного смещения), массив устойчив.

Пример. Дано: грунт — суглинок, $\gamma_{\Gamma} = 19,0 \text{ кН/м}^3$, $\varphi_{\Gamma} = 16^\circ$, $c_{\Gamma} = 9,0 \text{ кПа}$; $K_3 = 1,20$.

Расчетная схема: поперечный профиль склона (в масштабе), поверхность возможного смещения (рис. 3.13).

Решение. Графическим методом: построением многоугольников сил. Измеряем по 1-му отсеку $h_1 = 8,0 \text{ м}$, $b_1 = 6,0 \text{ м}$;

Вычисляем $l_1 = \sqrt{64 + 36} = 10,0$ м;

$\omega_1 = 0,5 \cdot 8,0 \cdot 6,0 = 24,0$ м²;

$Q_1 = 19,0 \cdot 24,0 = 456,0$ кН;

$c_{\Gamma} l_1 = 9,0 \cdot 10,0 = 90,0$ кН.

Раскладываем векторы веса Q_1 и измеряем величины составляющих $N_1 = 320$ кН, $T_1 = 400$ кН.

Аналогичными приемами определяем значения сил во 2-м и других отсеках (табл. 3.5).

Выполняем построение многоугольников сил в отсеках, начиная с 1-го, в такой последовательности (рис. 3.14):

S_i — направление под углом φ от нормали к плоскости смещения;

$KT_i - c_i l_i$ — параллельно плоскости смещения отсека;

N_i — по нормали к плоскости смещения;

E_i — направление горизонтальное.

При замыкании многоугольника определяются величины S_i и E_i .

Для последующего отсека E_i принимается равной по величине и обратно направленной $E_i = -E_{i-1}$.

Результирующая — равнодействующая всех сил в массиве $E_{\Pi} = 0,9$ МПа реального направления. Следовательно, склон неустойчив.

По величине оползневого давления можно рассчитывать удерживающее сооружение (подпорную стену, контрбанкет или др.).

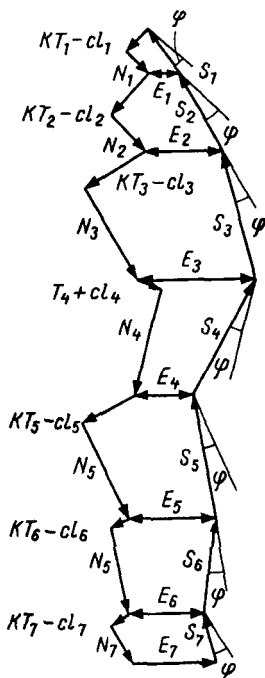


Рис. 3.14. Определение $K_{\text{ус}}$ склона графически (построением многоугольника сил)

Таблица 3.5.

Расчетные величины сил в отсеках склона

Отсеки	Размеры элементов					Силы в отсеках, кН				
	h_{i-1} м	h_i м	b_i м	l_i м	ω_i м ²	Вычисленные		Измеренные		$KT_i - c_i l_i$
						c_i	Q_i	N_i	T_i	
1	0	8,0	6,0	10,0	24,0	90	456	320	400	390
2	8,0	11,6	4,0	5,7	39,2	51	745	560	560	621
3	11,6	14,1	5,0	5,9	64,2	53	1220	1080	680	763
4	14,1	11,0	5,0	5,2	64,7	47	1229	1120	-240	-287
5	11,0	11,1	6,0	6,6	66,3	59	1260	1100	580	637
6	11,1	7,3	6,0	6,2	55,2	56	1049	960	200	184
7	7,3	0,0	7,0	8,1	25,5	73	485	440	220	191

3.4. Прогнозные расчеты напряжений в основании насыпей

Задача 3.16. Определить напряжения в основании насыпи.

Решение. Напряжения в основании насыпи определяются по формуле

$$\sigma_{oi} = \sigma_{\gamma i} + \sum \sigma_{pi},$$

где $\sigma_{\gamma i}$ — напряжения от собственного веса грунта основания;

$\sum \sigma_{pi}$ — суммарные напряжения от j -х нагрузок, временной поездной $\sigma_{пi}$, верхнего строения пути $\sigma_{всi}$ в i -х точках.

Напряжения σ_{pi} в точках различных сечений основания насыпи можно определять, пользуясь табулированными (вспомогательными) значениями $I_i = \sigma_i/p_j$ (прил. 1.4, 1.5) с разбивкой эпюр нагрузок насыпи на элементарные прямоугольные и треугольные; удельными значениями I_{ji} по графикам (Остерберга, прил. 3.3) с разбивкой эпюр нагрузок сложных очертаний на трапеции, при условии, что каждая нагрузка приложена к плоскости основания (полупространства)

В случае высоких насыпей ($H_n \geq 12$) влиянием $p_{пi}$, $p_{всi}$ на основание можно пренебречь и вертикальные напряжения от нагрузок на контакте насыпи и основания каждого вертикального сечения определять по формуле

$$\sigma_{oi} = \sum \gamma_i h_i = \gamma_{ср} H_{ni}$$

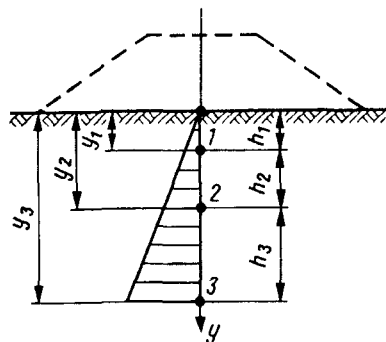


Рис 3.15 Расчетная схема для определения напряжений $\sigma_{пр}$ в основании насыпи

В расчетных точках основания напряжения определяются от каждой элементарной нагрузки и суммируются

Пример Определить природные напряжения $\sigma_{пр}$ в основании (до возведения) насыпи в точках по глубине y_i .

Дано: грунты основания — глины, $\gamma_d = 15,6 \text{ кН/м}^3$; $W_{oc} = 0,21$.

Расчетная схема на рис. 3.15:

$y_1 = 2,0$; $y_2 = 5,0$; $y_3 = 10,0 \text{ м}$.

Решение. $\sigma_{пр} = \sigma_{\gamma} = \gamma_{г} y_i$;

$\gamma_{г} = 15,6(1 + 0,21) = 18,9 \text{ кН/м}^3$;

$\sigma_1 = 18,9 \cdot 2,0 = 37,8 \text{ кПа}$;

$\sigma_2 = 18,9 \cdot 5,0 = 94,5 \text{ кПа}$;

$\sigma_3 = 18,9 \cdot 10,0 = 189,0 \text{ кПа}$.

Задача 3.17. Определить напряжения на контакте основания однопутевой насыпи.

Исходные данные: параметры насыпи: H_n , $B_{оп}$, H_1 , H_2 , $m_{от}$; нагрузок $p_{пi}$, $p_{всi}$, грунта насыпи $\gamma_{нср}$

Расчетная схема. масштабная схема поперечного профиля насыпи согласно заданным размерам (рис. 3.16).

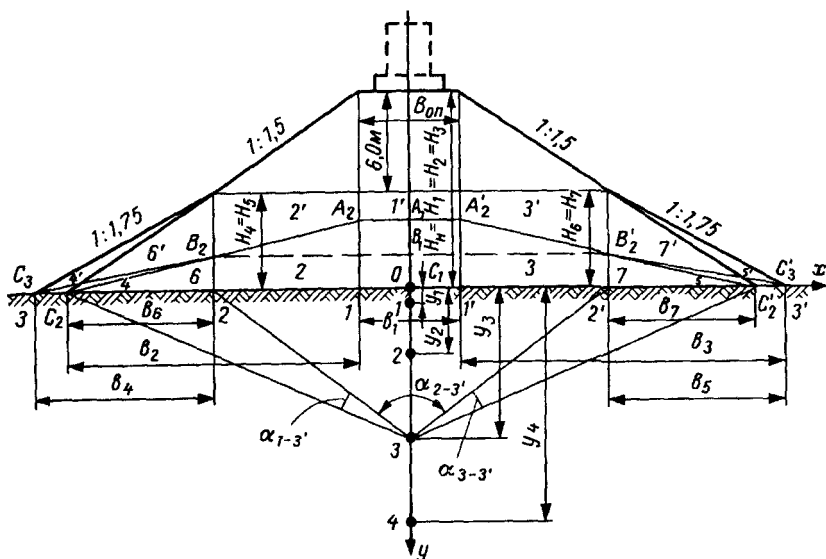


Рис 3.16 Расчетная схема для определения напряжений в основании насыпи.

Нагрузки 1 — $1A_2 A_2' 1'$, 2 — $1A_2 C_2$, 3 — $1'A_2' C_2'$, 4 — $2B_2 3$, 5 — $2' B_2' 3'$; 6 — $2 B_2 C_2$, 7 — $2' B_2' C_2'$

Решение. Определяются вертикальные напряжения в точках 0, 1, 2, 3 ($1'$, $2'$, $3'$) на контакте насыпи и основания, принимаемые в качестве нагрузок на основание.

В точках 0, 1 ($y_1 = H_H$)

напряжения от поездной нагрузки $\sigma_{п1} = I_{п1} p_{п1}$;

$I_{п1} = f(x_{п1}/b_{п1}; y_{п1}/b_{п1})$ по табл. (прил. 1.4);

напряжения от верхнего строения пути $\sigma_{вс1} = I_{вс1} p_{вс}$;

$I_{вс1} = f(x_{вс1}/b_{вс}; y_{вс1}/b_{вс})$ по табл. (прил. 1.4);

напряжения от собственного веса грунта $\sigma_{\gamma 1} = \gamma_{нгр} y_1$;

суммарные напряжения в точке 1 $\sigma_{о1} = \sigma_{п1} + \sigma_{вс1} + \sigma_{\gamma 1}$.

В точке 2 ($y_2 = H_H - 6,0$ м)

$\sigma_{п2} = I_{п2} p_{п1}$; $I_{п2} = f(x_{п2}/b_{п1}; y_{п2}/b_{п1})$;

$\sigma_{вс2} = I_{вс2} p_{вс}$; $I_{вс2} = f(x_{вс2}/b_{вс}; y_{вс2}/b_{вс})$;

$\sigma_{\gamma 2} = \gamma_{нгр} y_2$; $\sigma_{о2} = \sigma_{п2} + \sigma_{вс2} + \sigma_{\gamma 2}$.

В точке 3 ($y_3 = 0,0$) $\sigma_{о3} = 0,0$.

По полученным значениям $\sigma_{о1}$ вычерчивается эпюра суммарных напряжений, которая разбивается на элементарные фигуры, прямоугольные и треугольные (рис. 3.16) шириной b_j и с абсциссами x_j .

Пример. Дано: $H_H = 11,8$; $B_{оп} = 5,8$; $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; $p_{вс} = 15,0$; $p_{п} = 80,0$ кПа; $\gamma_{нгр} = 19,5$ кН/м³.

Расчетная схема показана на рис. 3.16.

Решение. Определяем напряжения.

В точке 0 ($x_0 = 0,0$; $y_0 = 11,8$ м);

$$I_{п0} = f(0,0/2,75; 11,8/2,75) = f(0,0; 4,29) = 0,151;$$

$$\sigma_{п0} = 0,151 \cdot 80 = 12,1 \text{ кПа};$$

$$I_{вс0} = f(0,0/4,60; 11,8/4,60) = f(0,0; 2,57) = 0,253;$$

$$\sigma_{вс0} = 0,253 \cdot 15 = 3,8 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{\gamma 0} = 19,5 \cdot 11,8 = 230,1 \text{ кПа}; \quad \sigma_{о0} = 12,1 + 3,8 + 230,1 = 246,0 \text{ кПа}.$$

В точке 1 ($x_1 = 2,9$; $y_1 = 11,8$ м);

$$I_{п1} = f(2,90/2,75; 11,8/2,75) = 0,134; \quad \sigma_{п1} = 0,134 \cdot 80 = 10,7 \text{ кПа};$$

$$I_{вс1} = f(2,90/4,60; 11,8/4,60) = 0,227; \quad \sigma_{вс1} = 0,227 \cdot 15 = 3,4 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{\gamma 1} = 19,5 \cdot 11,8 = 230,1 \text{ кПа}; \quad \sigma_{о1} = 10,7 + 3,4 + 230,1 = 244,2 \text{ кПа}.$$

В точке 2 ($x_2 = 11,9$; $y_2 = 5,8$ м);

$$I_{п2} = f(11,9/2,75; 5,8/2,75) = 0,023; \quad \sigma_{п2} = 0,023 \cdot 80 = 1,84 \text{ кПа};$$

$$I_{вс2} = f(11,9/4,60; 5,8/4,60) = 0,035; \quad \sigma_{вс2} = 0,035 \cdot 15 = 0,53 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{\gamma 2} = 19,5 \cdot 5,8 = 113,10 \text{ кПа}; \quad \sigma_{о2} = 1,84 + 0,53 + 113,10 = 115,47 \text{ кПа}.$$

В точке 3' суммарных напряжения $\sigma_{о3} = 0,0$ кПа.

По полученным напряжениям вычерчиваем эпюры суммарных напряжений (нагрузки от насыпи), которые разбиваем на прямоугольные и треугольные (полосовые) нагрузки (рис. 3.16).

Задача 3.18. Определить напряжения в основании однопутной насыпи (без бермы) по оси пути.

Исходные данные: высота насыпи H_n , ширина ОП $B_{оп}$, размеры H_j , m_j ; характеристики грунтов насыпи $\gamma_{нсп}$, основания $\gamma_{оср}$.

Расчетная схема. Масштабная схема ПП насыпи с разбиением на элементарные фигуры (прямоугольные, треугольные) и основания насыпи по слоям соответственно ординатам точек y_i (рис.3.16).

Решение. Определяется интенсивность элементарных нагрузок (по методике решения задачи 3.17).

В расчетных точках основания с координатами x_i , y_i напряжения от элементарных нагрузок определяются с учетом соотношений x_i/b_j ; y_i/b_j (прил. 1.4, 1.5). $I_{ji} = f(x_i/b_j; y_i/b_j)$; $\sigma_j = I_{ji} p_j$.

Определяются напряжения $\Sigma \sigma_{ji}$, от собственного веса грунта основания $\sigma_{\gamma i} = \gamma_{оср} y_i$, суммарные $\sigma_{oi} = \Sigma \sigma_{ji} + \sigma_{\gamma i}$.

Пример. Дано: $H_n = 11,8$ м; $B_{оп} = 5,8$ м; $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; $\gamma_{нсп} = 19,0$ кН/м³; $\gamma_{оср} = 19,3$ кН/м³.

Расчетная схема на рис 3.16.

$$H_1 = H_2 = H_3; \quad H_4 = H_5 = H_6 = H_7; \quad b_1; \quad b_2 = b_3; \quad b_4 = b_5; \quad b_6 = b_7.$$

Решение. Интенсивности нагрузок:

$$p_1 = p_2 = p_3 = 19,0 \cdot 11,8 = 224,2 \text{ кПа};$$

$$p_4 = p_5 = p_6 = p_7 = 19,0(11,8 - 6,0) = 110,2 \text{ кПа}.$$

Расчет напряжений от всех элементарных нагрузок (фигур) выполняем в табличной форме (табл. 3.6).

$$x_i = 0,0 \text{ м}; \quad y_i = 1,0 \dots 20,0 \text{ м};$$

$$\Sigma \sigma_{ji} = \sigma_{1i} + 2\sigma_{2(3)i} + 2\sigma_{4(5)i} - 2\sigma_{6(7)i}; \quad \sigma_2 = \sigma_3; \quad \sigma_4 = \sigma_5; \quad \sigma_6 = \sigma_7.$$

Таблица 3.6

**Параметры напряжений в точках основания насыпи
по оси пути ($x_i = 0,0$ м)**

Точки по оси насыпи	Расчетные параметры	Значения расчетных параметров для нагрузок				Напряжения, кПа		
		1	2 = 3	4 = 5	6 = 7	$\Sigma\sigma_{ji}$	$\sigma_{\gamma i}$	σ_{oi}
$\frac{N_T}{y_j}$	H_j , м	11,80	11,80	5,8	5,8			
	p_j , кПа	224,20	224,20	110,20	110,20			
	b_j , м	6,00	17,70	10,15	8,70			
	τ_j , м	0,00	20,70	22,15	20,70			
	x_j/b_j	0,00	1,17	2,18	2,38			
$\frac{3}{10,00}$	y_3/b_j	1,67	0,57	0,99	1,15			
	I_{j3}	0,379	0,246	0,035	0,029			
	$\sigma_{j3} = I_{j3} p_j$	84,97	55,15	3,86	3,20	196,59	193,00	389,59
$\frac{4}{15,00}$	y_4/b_j	2,50	0,85	1,48	1,72			
	I_{j4}	0,242	0,216	0,054	0,042			
	$\sigma_{j4} = I_{j4} p_j$	54,26	48,43	5,95	4,63	153,76	289,50	443,26

Нагрузки: 1 — прямоугольная, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — треугольные, все приложенные к основанию.

I_{ji} определяется по таблицам двойным интерполированием (прил. 1.4, 1.5).

Для верхней части основания насыпей табличные значения параметров, учитывающие влияние треугольных нагрузок, дают несколько завышенные результаты. Воспользуемся методикой определения напряжений по трапецидальным нагрузкам и графиком (прил. 3.3).

Выделим трапецидальные нагрузки (приложенные к основанию):

$$1' - C_2 A_2 A_2' C_2'; \quad 2' - C_3 B_2 B_2' C_3'; \quad 3' - C_2 B_2 B_2' C_2'.$$

Тогда напряжения в любых i -х точках будут равны сумме напряжений от трех j -х нагрузок в форме полутрапеций

$$\sigma_i = \sigma_{i1} + \sigma_{i2} - \sigma_{i3},$$

где $\sigma_{ij} = 2I_{ji} p_j$ — напряжения в i -х точках от j -х нагрузок;

$I_{ji} = f(a_j/y_i; b_j/y_i)$ — функция относительных координатных величин для i -х точек, соответствует удельному значению напряжений в этих точках;

a_j' , b_j' — размерные параметры полутрапеций:

$$a_1' = 1 - C_2; \quad b_1' = 0 - 1; \quad a_2' = 2 - 3; \quad b_2' = 0 - 2; \quad a_3' = 2 - C_2; \quad b_3' = 0 - 2;$$

p_j — интенсивность нагрузок.

Расчеты выполняются в табличной форме (табл. 3.7).

Напряжения от трапецидальных нагрузок в осевых точках основания при $x = 0$, $\alpha_1 = \alpha_3$ можно определять по формуле

$$\sigma_i = (p_j/\pi)[(2\alpha_1 + \alpha_2) + (2b_{пр}/a_{тр})\alpha_1],$$

где $2b_{пр}$ — ширина трапеции поверху (прямоугольной части);

Таблица 3.7

**Параметры напряжений в точках основания насыпи
по оси пути ($x_j=0,0$ м)**

Точки по оси насыпи	Расчетные параметры	Значения расчетных параметров для нагрузок			Напряжения, кПа		
		1'	2'	3'	$\Sigma\sigma_{ji}$	$\sigma_{\gamma i}$	σ_{oi}
N_T y_j	H , м	11,8	5,80	5,80			
	m	1,50	1,75	1,50			
	p_j , кПа	224,20	110,20	110,20			
	a_j , м	17,70	10,15	8,70			
	b_j , м	3,00	12,00	12,00			
1 1,0	a_j/y_1	17,70	10,15	8,70			
	b_j/y_1	3,00	12,00	12,00			
	I_{j1}	0,50	0,50	0,50			
	$\sigma_{j1} = I_{j1} p_j$, кПа	224,20	110,20	110,20	224,20	19,30	243,50
2 5,0	a_j/y_2	3,54	2,03	1,74			
	b_j/y_2	0,60	2,40	2,40			
	I_{j2}	0,45	0,50	0,50			
	σ_{j2} , кПа	201,78	110,20	110,20	201,78	96,50	298,28
3 10,0	a_j/y_3	1,77	1,015	0,87			
	b_j/y_3	0,30	1,20	1,20			
	I_{j3}	0,39	0,47	0,46			
	σ_{j3} , кПа	174,88	103,59	101,38	177,09	193,00	370,09
4 15,0	a_j/y_4	1,18	0,68	0,58			
	b_j/y_4	0,20	0,80	0,80			
	I_{j4}	0,34	0,42	0,41			
	σ_{j4} , кПа	152,46	92,57	90,36	154,67	289,50	444,17
5 20,0	a_j/y_5	0,88	0,51	0,435			
	b_j/y_5	0,15	0,60	0,60			
	I_{j5}	0,29	0,37	0,36			
	σ_{j5} , кПа	130,04	81,55	79,34	132,25	386,00	518,25

Примечание. При $y_0 = 0,0$ м $a_j/y_0 \rightarrow \infty$, $b_j/y_0 \rightarrow \infty$, $I_{j0} = 0,5$;
 $\sigma_{j0} = 2 \cdot 0,5 \cdot 224,2 = 224,2$ кПа.

a_{TP} — ширина треугольной части трапеции, проекция (заложение) откоса;

α_1, α_2 — углы видимости (рис. 3.16);

$\alpha_1 = \arctg[(b_{TP} + a_{TP})/y_i] - \arctg(b_{TP}/y_i)$; $\alpha_2 = 2\arctg(b_{TP}/y_i)$.

Задача 3.19. Определить напряжения в точках по оси пути основания высокой однопутной насыпи сложных очертаний (с бермами).

Исходные данные: H_n ; $B_{оп}$; $B_б$; H_j ; m_j ; $\gamma_{нр}$; $\gamma_{оср}$.

Расчетная схема на рис. 3.17. ПП насыпи с разбивкой на элементарные фигуры — трапеции с соответствующими координатами: a_j для треугольных, b_j для прямоугольных частей нагрузок; несколько горизонтальных сечений основания на уровнях y_i .

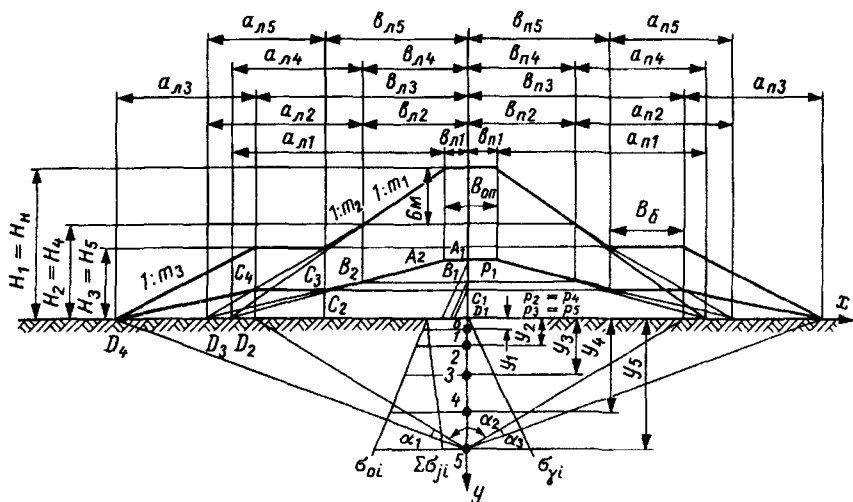


Рис. 3.17. Расчетная схема для определения напряжений в основании насыпи (с бермами по оси пути). Нагрузки: 1 — $D_1 A_1 D_2$; 2 — $D_1 B_1 B_2 D_3$; 3 — $D_1 C_1 C_4 D_4$; 4 — $D_1 B_1 B_2 D_2$; 5 — $D_1 C_1 C_3 D_3$

Решение. Влияние $p_{п}$, $p_{вс}$ в условиях высоких насыпей пренебрежимо мало и можно не учитывать.

Интенсивность нагрузок $p_j = \gamma_{нсп} H_j$.

напряжения в точке 0 ($y_0 = 0,0$ м) $\sigma_{00} = \gamma_{нсп} H_n$.

В точке 1 ($y_1 = h_1$) напряжения от элементарных нагрузок (правой и левой полутрапеций): $\sigma_{j1} = (I_{п1} + I_{л1})p_j$;

$\sigma_{j1} = 2I_1 p_j$ при симметричной нагрузке.

$I_{п1} = I_{л1} = f(a_j/y_1; b_j/y_1)$ по графику (прил. 3.3)

$\sigma_{\gamma 1} = \gamma_{осcp} y_1$; $\sigma_{01} = \sum \sigma_{j1} + \sigma_{\gamma 1}$; $\sum \sigma_{j1} = \sigma_{11} + \sigma_{21} + \sigma_{31} - \sigma_{41} - \sigma_{51}$.

В точке 2 ($y_2 = h_1 + h_2$) σ_{0i} от элементарных нагрузок вычисляются аналогично.

$$\sigma_{\gamma 2} = \sigma_{\gamma 1} + \gamma_{осcp}(y_2 - y_1); \sum \sigma_{02} = \sum \sigma_{j2} + \sigma_{\gamma 2}.$$

Также определяются напряжения в других точках.

По результатам вычислений вычерчиваются эпюры $\sum \sigma_{ji}$, $\sigma_{\gamma i}$, σ_{0i} .

Пример. Дано: $H_n = 16,0$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; $B_б = 8,0$ м; $H_1 = 16,0$; $H_2 = 10,0$; $H_3 = 7,9$ м; $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; $m_3 = 1,2$; $\gamma_{нсп} = 19,4$ кН/м³; $\gamma_{осcp} = 19,1$ кН/м³.

Расчетная схема на рис. 3.17. Горизонтальные сечения принимаются в уровнях: $y_1 = 1,0$; $y_2 = 3,0$; $y_3 = 5,0$; $y_4 = 10,0$; $y_5 = 15,0$ м.

Решение. Определяем $p_1 = 19,4 \cdot 16,0 = 310,4$ кПа;

$p_2 = p_4 = 19,4 \cdot 10,0 = 194,0$ кПа; $p_3 = p_5 = 19,4 \cdot 7,9 = 153,26$ кПа.

$$\sigma_{00} = 19,4 \cdot 16,0 = 310,4 \text{ кПа.}$$

$$\Sigma \sigma_{ji} = \sigma_{1i} + \sigma_{2i} + \sigma_{3i} - \sigma_{4i} - \sigma_{5i}.$$

Результаты расчета напряжений от трапецидальных нагрузок для точек 1, 2, 3, 4, 5, 6 записываем в табличной форме (табл. 3.8).

Эпюры напряжений $\Sigma \sigma_{ji}$; $\sigma_{\gamma i}$; σ_{oi} показаны на рис. 3.17.

Напряжения в осевых точках основания можно вычислять также (рис. 3.17) по формуле

$$\sigma_i = (p/\pi)[(2\alpha_1 + \alpha_2) + (2b_j/a_j)\alpha_1],$$

где $\alpha_1 = \arctg[(a_j + b_j)/y_i] - \arctg(b_j/y_i)$; $\alpha_2 = 2\arctg(b_j/y_i)$; $\alpha_3 = \alpha_1$ — углы видимости.

Таблица 3.8

**Параметры напряжений в основании высокой насыпи
по оси пути ($x_i = 0,0$ м)**

Точки по оси насыпи	Расчетные параметры	Значения расчетных параметров для нагрузок					Напряжения, кПа		
		1	2	3	4	5	$\Sigma \sigma_{ji}$	$\sigma_{\gamma i}$	σ_{oi}
N_T y_j	H , м	16,00	10,00	7,90	10,00	7,90			
	p_j , кПа	310,40	194,00	153,26	194,00	153,26			
	a_j , м	24,00	17,50	15,80	15,00	13,82			
	b_j , м	3,00	12,00	23,68	12,00	15,68			
1 1,0	a_j/y_1	24,00	17,50	15,80	15,00	13,80			
	b_j/y_1	3,00	12,00	23,68	12,00	15,68			
	I_{j1}	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50			
	$\sigma_{j1} = 2I_{j1} p_j$, кПа	310,40	194,00	153,26	194,00	153,26	310,40	19,10	329,50
2 3,0	a_j/y_2	8,00	5,83	5,27	5,00	4,60			
	b_j/y_2	1,00	4,00	7,90	4,00	5,23			
	I_{j2}	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50			
	σ_{j2} , кПа	304,20	194,00	153,26	194,00	153,26	304,20	57,30	361,50
3 5,0	a_j/y_3	4,80	3,50	3,16	3,00	2,76			
	b_j/y_3	0,60	2,40	4,74	2,40	3,14			
	I_{j3}	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50			
	σ_{j3} , кПа	287,57	194,00	153,26	194,00	153,26	285,57	95,50	381,07
4 10,0	a_j/y_4	2,40	1,75	1,58	1,50	1,38			
	b_j/y_4	0,30	1,20	2,37	1,20	1,57			
	I_{j4}	0,41	0,48	0,49	0,47	0,48			
	σ_{j4} , кПа	254,53	186,24	150,23	182,36	147,17	261,47	191,00	452,47
5 15,0	a_j/y_5	1,60	1,17	1,05	1,00	0,92			
	b_j/y_5	0,20	0,80	1,58	0,80	1,05			
	I_{j5}	0,36	0,44	0,48	0,44	0,45			
	σ_{j5} , кПа	223,49	170,72	147,17	170,72	137,94	232,72	286,50	519,22
6 20,0	a_j/y_6	1,20	0,875	0,79	0,75	0,69			
	b_j/y_6	0,15	0,60	2,185	0,60	0,785			
	I_{j6}	0,32	0,40	0,39	0,39	0,42			
	σ_{j6} , кПа	198,66	155,20	119,57	151,32	128,77	193,34	382,00	575,34

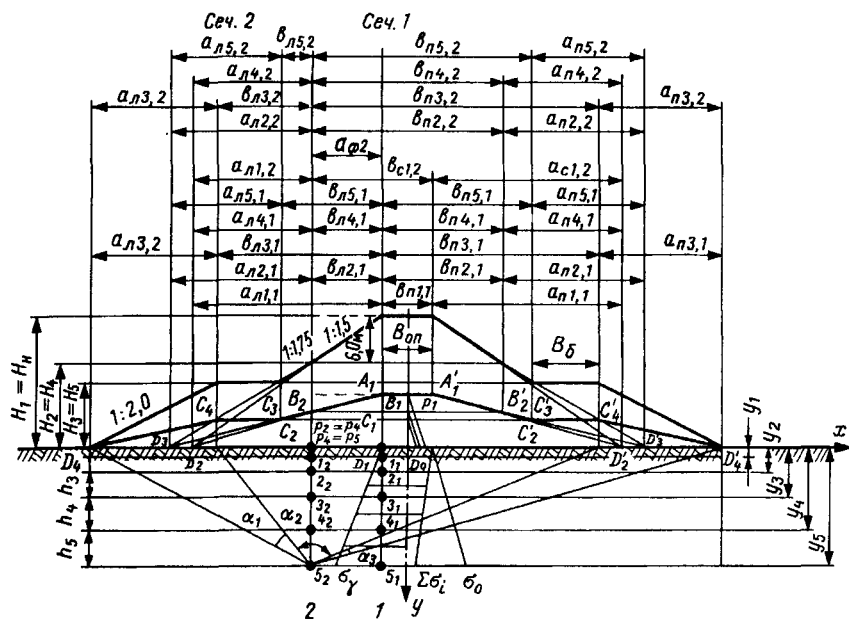


Рис. 3.18. Расчетная схема для определения напряжений в сечениях основания насыпи.

Нагрузки (1—1) левые: 1 — $D_1 A_1 D_2$; 2 — $D_1 B_1 B_2 D_2$; 3 — $D_1 C_1 C_4 D_4$; 4 — $D_1 B_1 B_2 D_2$; 5 — $D_1 C_1 C_3 D_3$; правые: 1 — $D_1 A_1 A'_1 D'_1$; 2 — $D_1 B_1 B'_1 D'_1$; 3 — $D_1 C_1 C_4' D_4'$; 4 — $D_1 B_1 B'_1 D'_1$; 5 — $D_1 C_1 C_3' D_3'$.

Задача 3.20. Определить напряжения в поперечном профиле (в сечениях ПП) основания высокой насыпи.

Исходные данные: H_H ; $B_{оп}$; H_j ; m_j ; $\gamma_{нсп}$; $\gamma_{осп}$.

Расчетная схема на рис. 3.18. Поперечный профиль насыпи с разбивкой на трапеции 1...5 и координатами a_j для треугольных, b_j прямоугольных частей нагрузок; вертикальные сечения 0—0; 1—1; 2—2 (в характерных точках поперечного профиля насыпи).

Решение. Напряжения в точках каждого вертикального сечения определяются по методике решения задачи 3.19

$$\sigma_{ji} = (I_{лj} - I_{пj})p_j.$$

Для точек, находящихся вне полосы нагрузки, до вертикали, проходящей через точку M_i , добавляется фиктивная полосовая нагрузка

$$\sigma_{ji} = (I_{сj} - I_{фj})p_j,$$

где $I_{сj}$, $I_{фj}$ — соответственно суммарная и фиктивная части нагрузки.

$$\sigma_{\gamma i} = \gamma_{осп} y_i; \quad \sigma_{oi} = \Sigma \sigma_{ji} + \sigma_{\gamma i}.$$

Результаты вычисления σ_{oi} записываются в табличной форме.

Пример. Дано. $H_n = 16,0$ м; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м, $B_6 = 8,0$ м; $H_1 = 16,0$; $H_2 = 10,0$, $H_3 = 7,9$ м, $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; $m_3 = 2,0$; $\gamma_{\text{нсп}} = 19,4$ кН/м³; $\gamma_{\text{осер}} = 19,1$ кН/м³.

Расчетная схема на рис. 3.18. Вертикальные сечения выбираем по оси пути (0—0), по бровке насыпи (1—1), на расстоянии 12,0 м от оси пути (2—2), горизонтальные сечения в уровнях $y_1 = 1,0$; $y_2 = 3,0$; $y_3 = 5,0$; $y_4 = 10,0$, $y_5 = 15,0$ м.

Решение. Определяем $p_1 = 310,4$; $p_2 = p_4 = 194,0$; $p_3 = p_5 = 153,3$ кПа.

Напряжения от элементарных нагрузок для точек $1_i, 2_i, 3_i, 4_i$ определяем, пользуясь графиком (прил. 3.3) и записываем в табличной форме: для сечений 0—0 — табл. 3.8 (задача 3.19); 1—1 — табл. 3.9.

Эпюры напряжений $\Sigma\sigma_j$; σ_{γ_i} ; σ_{o_i} показаны на рис. 3.18.

Расчеты по сечению 2—2 выполняются аналогично (и несколько сложнее). Размерные параметры a_j, b_j показаны на расчетной схеме рис. 3.18

Параметры фиктивной нагрузки. $H_{\text{ф}} = 6,0$ м; $p_{\text{ф}} = 116,40$ кПа.

Напряжения в точках любого сечения от трапецидальных нагрузок можно определять по формуле

$$\sigma_i = [p_j/(\pi a_j)] [a_j(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_j(\alpha_1 + \alpha_3) + x_i(\alpha_1 - \alpha_3)].$$

Задача 3.21. Определить напряженное состояние основания высокой насыпи.

Решение. Параметры напряженного состояния высокой насыпи определяются с использованием ЭТ.

Пример. Расчет напряжений в основании одно-двухпутной насыпи по программе ЭТ — NAPROS.

Алгоритм программы реализует расчеты напряжений от всех нагрузок: $p_{\text{п}}, p_{\text{вс}}$, от насыпи $\Sigma\sigma_j$, от собственного веса грунтовой среды основания σ_{γ} в точках любых сечений одно-двухпутных насыпей.

Расчетная схема на рис. 3.19 (однопутная насыпь, $B_M = 0$ м)

Напряжения от полосовых нагрузок определяются в точках основания насыпи по формуле

$$\sigma_j = p_j (\beta_1 + 0,5\sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5\sin \beta_2) / \pi.$$

Поперечный профиль насыпи, как аналог эпюры нагрузок (от насыпи) имитируется комбинацией нескольких (для высоких насыпей пяти) трапецидальных нагрузок таким образом, чтобы каждая из них была приложена к основанию и совместное их воздействие было бы эквивалентно расчетной эпюре нагрузок

$$\Sigma\sigma_j = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5.$$

Вертикальные сжимающие напряжения от каждой трапецидальной нагрузки вычисляются по формуле

$$\sigma_j = p_j (a_j(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_j(\alpha_1 + \alpha_3) + x_i(\alpha_1 + \alpha_3)) / (\pi a_j),$$

где a_j, b_j — размерные параметры треугольных и прямоугольных элементов трапецидальных нагрузок;

Таблица 3.9

Параметры напряжений в основании насыпи
(в различных сечениях, $x_j = B_{оп}/2 = 3,00$ м)

Параметры сечений Сечения Точки		Расчетные величины	Значения расчетных параметров для нагрузок					Напряжения, кПа			
			1	2	3	4	5	Φ	$\Sigma\sigma_{ji}$	σ_{yi}	σ_{oi}
1	x_1 y_1	H_j , м p_j , кПа	16,00 310,40	10,00 194,00	7,90 153,26	10,00 194,00	7,90 153,26	6,00 116,40			
1	3,0 $\frac{B_{оп}}{2}$	$a_{лj}$, м $b_{лj}$, м $a_{пj}$, м $b_{пj}$, м	24,00 0,00 24,00 6,00	17,50 9,00 17,50 15,00	15,80 20,68 15,80 26,68	15,00 9,00 15,00 15,00	13,82 12,68 13,82 18,68				
1	1,0	$a_{л/y_1}$, м $b_{л/y_1}$, м $I_{п1}$ $a_{п/y_1}$, м $b_{п/y_1}$, м $I_{п1}$ σ_{j1}	24,00 0,00 0,50 24,00 6,00 0,50 310,40	17,50 9,00 0,50 17,50 15,00 0,50 194,00	15,80 20,68 0,50 15,80 26,68 0,50 153,26	15,00 9,00 0,50 15,00 15,00 0,50 194,00	13,82 12,68 0,50 13,82 18,68 0,50 153,26		310,40	19,10	329,50
2	3,0	$a_{л/y_2}$, м $b_{л/y_2}$, м $I_{п2}$ $a_{п/y_2}$, м $b_{п/y_2}$, м $I_{п2}$ σ_{j2}	8,00 0,00 0,45 8,00 2,00 0,50 294,88	5,83 3,00 0,50 5,83 5,00 0,50 194,00	5,27 6,90 0,50 5,27 8,90 0,50 153,26	5,00 3,00 0,50 5,00 5,00 0,50 194,00	4,60 4,23 0,50 4,60 6,23 0,50 153,26		294,88	57,30	352,18
3	5,0	$a_{л/y_3}$, м $b_{л/y_3}$, м $I_{п3}$ $a_{п/y_3}$, м $b_{п/y_3}$, м $I_{п3}$ σ_{j3}	4,80 0,00 0,42 4,80 1,20 0,49 282,46	3,50 1,80 0,49 3,50 3,00 0,50 192,06	3,16 4,14 0,50 3,16 5,34 0,50 153,26	3,00 1,80 0,49 3,00 3,00 0,50 192,06	2,76 2,54 0,50 2,76 3,74 0,50 153,26		282,46	95,50	377,96
4	10,0	$a_{л/y_4}$, м $b_{л/y_4}$, м $I_{п4}$ $a_{п/y_4}$, м $b_{п/y_4}$, м $I_{п4}$ σ_{j4}	2,40 0,00 0,36 2,40 0,60 0,44 248,32	1,75 0,90 0,46 1,75 1,50 0,49 184,30	1,58 2,07 0,49 1,58 2,67 0,49 150,19	1,5 0,90 0,45 1,50 1,50 0,49 182,36	1,38 1,27 0,47 1,38 1,87 0,49 147,13		253,32	191,00	444,32
5	15,0	$a_{л/y_5}$, м $b_{л/y_5}$, м $I_{п5}$ $a_{п/y_5}$, м $b_{п/y_5}$, м $I_{п5}$ σ_{j5}	1,60 0,00 0,30 1,60 0,40 0,40 217,28	1,17 0,60 0,42 1,17 1,00 0,46 170,72	1,05 1,38 0,48 1,05 1,78 0,49 148,66	1,00 0,60 0,41 1,00 1,00 0,46 168,78	0,92 0,85 0,43 0,92 1,25 0,47 137,93		229,95	286,50	516,45

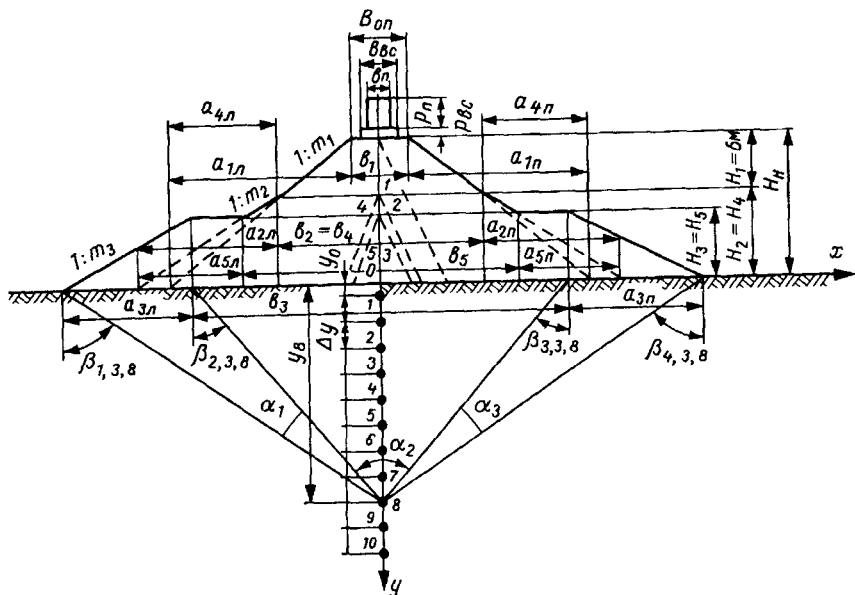


Рис 3 19 Расчетная схема к алгоритму определения $\Sigma\sigma$ в основании насыпи

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — углы видимости для треугольных элементов (α_1, α_3), прямоугольных (α_2), образованные лучами, проведенными из i -х расчетных точек, и вертикалями, ограничивающими прямоугольные и треугольные элементы трапециевидальных нагрузок.

Структура ЭТ (табл. 3.10-1). Блок исходной информации (в верхней части ЭТ) содержит параметры насыпи $H_n, B_{оп}, B_{ос}; m_j$,

нагрузок p_j, b_j ; грунтов $\gamma_n, \gamma_{ос}$;

расчетные (вычисляемые) размерные параметры прямоугольных b_j , треугольных a_j элементов трапециевидальных нагрузок насыпи; $a_1 = m_1 H_1$; $b_1 = B_{оп}$; $a_2 = m_2 H_2$; $b_2 = B_{оп} + 2m_1 H_1$; $a_3 = m_3 H_3$; $b_3 = b_2 + 2m_2 (H_2 - H_3) + 2B_{ос}$; $a_4 = m_1 H_2$; $b_4 = b_2$; $a_5 = m_2 H_3$; $b_5 = b_2 + 2m_2 (H_2 - H_3)$; $H_1 = 6$ м.

управляющие параметры. координаты сечения x_i и шаг y_i по сечению основания насыпи — в столбце А.

В первом расчетном блоке вычисляются напряжения от $p_{пj}, p_{вс}$ в точках основания насыпи (на границах прямоугольных элементов трапеций по b_j), суммарные в столбце L.

Во втором расчетном блоке для каждой точки вычисляются напряжения от p_j нагрузок (количество строк по числу нагрузок), в последующей строке —

напряжения суммарные от нагрузок, от собственного веса грунтовой среды и полные в каждой i -ой точке.

В табл. 3.10-1 приведен расчет $\sigma_{\text{оци}}$ двухпутной насыпи, ($B_M = 4,1$ м).

Таблица может быть продолжена для размещения нескольких сечений и вычисления напряжений в точках этих сечений или, изменяя параметры управления, можно получить необходимые результаты, пользуясь расчетными блоками одного сечения.

Содержимое расчетных блоков ЭТ (B15:L18; A20:L21) приведено в табл. 3.10-2.

Задача 3.22. По результатам расчетов напряжений показать напряженное состояние объектов земляного полотна.

Решение. Пользуясь результатами вычисленных величин напряжений (в характерных сечениях поперечных профилей) напряженное состояние насыпей и выемок можно показать изотонами (линиями одинаковых величин напряжений).

Пример. На рис. 3.20 изотоны σ_j показаны на поперечных профилях однопутной насыпи, двухпутной, двухпутной полувыемки с нулевым местом.

По изотонам видно влияние поездной нагрузки: на однопутной насыпи распределение напряжений отдельно от поездной нагрузки ($p_n = 80$ кПа) и верхнего строения ($p_{\text{вс}} \approx 20$ кПа) показано пунктирными линиями, сплошными линиями показаны суммарные напряжения $\sigma_{\text{оци}}$ (от всех нагрузок $\Sigma\sigma_j$ и собственного веса σ_γ).

На рис. 3.20-5 показано образование упругого ядра (клина активного давления) под поездными нагрузками на каждом пути, формирование поверхностей скольжения, деформаций в ПБЗ — возможно выпора, балластных углублений на ОП (и параметры противодеформационной подушки).

Задача 3.23. Определить напряженно-деформированное состояние ОЗП (насыпи).

Решение. Методом конечных элементов (МКЭ). ОЗП рассматривается в поперечном профиле, как сплошная упругая среда. Решается двумерная задача о распределении напряжений и деформаций на плоскости [1].

Сплошная среда расчленяется на некоторое количество конечных элементов (например, треугольников), которые связаны в узловых точках. Связь между усилиями и деформациями устанавливается на основе физического уравнения обобщенного закона Гука (для плоской задачи)

$$\sigma_x = E_d(\epsilon_x + \mu\epsilon_y)/(1 - \mu^2),$$

где ϵ_x, ϵ_y — перемещения по x, y ; E_d — модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона (отношение поперечной и продольной деформаций).

Для изотропной грунтовой среды уравнение равновесия

$$|P| = |K| \cdot |S|,$$

где $|P|$ — матрица-столбец узловых сил;

$|K|$ — матрица жесткости;

$|S|$ — матрица-столбец узловых перемещений.

Таблица 3.10-2

Содержимое ячеек B15:L18; A20:L21 программы ЭТ—NAPROS

B15	\$	=	B10/2
C15	\$	=	ATAN((B15-(C6-E6)/2)/A6)
D15	\$	=	ATAN((B15-(C6+E6)/2)/A6)
E15	\$	=	ATAN((B15+(C6+E6)/2)/A6)
F15	\$	=	ATAN((B15+(C6-E6)/2)/A6)
G15	\$	=	ATAN((B15+I6/2)/A6)
H15	\$	=	ATAN((B15-I6/2)/A6)
I15	\$	=	D6 * (C15 + 5 * SIN(2 * C15) - D15 - 5 * SIN(2 * D15)) / P1
J15	\$	=	F6 * (E15 + 5 * SIN(2 * E15) - F15 - 5 * SIN(2 * F15)) / P1
K15	\$	=	H6 * (G15 + 5 * SIN(2 * G15) - H15 - 5 * SIN(2 * H15)) / P1
L15	\$	=	I15 + J15 + K15
B16	\$	=	E10/2
C16	\$	=	ATAN((B16-(C6-E6)/2)/A6)
D16	\$	=	ATAN((B16-(C6+E6)/2)/A6)
E16	\$	=	ATAN((B16+(C6+E6)/2)/A6)
F16	\$	=	ATAN((B16+(C6-E6)/2)/A6)
G16	\$	=	ATAN((B16+I6/2)/A6)
H16	\$	=	ATAN((B16-I6/2)/A6)
I16	\$	=	D6 * (C16 + 5 * SIN(2 * C16) - D16 - 5 * SIN(2 * D16)) / P1
J16	\$	=	F6 * (E16 + 5 * SIN(2 * E16) - F16 - 5 * SIN(2 * F16)) / P1
K16	\$	=	H6 * (G16 + 5 * SIN(2 * G16) - H16 - 5 * SIN(2 * H16)) / P1
L16	\$	=	I16 + J16 + K16
A20	\$	=	* x _i , m =
B20	\$	=	A21
C20	\$	=	1
D20	\$	=	ATAN((B20+K6/2+L8)/C20)
E20	\$	=	ATAN((B20+K6/2)/C20)
F20	\$	=	ATAN(ABS(B20-K6/2)/C20)
G20	\$	=	ATAN(ABS(B20-K6/2-L8)/C20)
H20	\$	=	D20-E20
I20	\$	=	E20+F20
J20	\$	=	G20-F20
K20	\$	=	(J8+L14) * (L8 * (H20+I20+J20)+(K6/2) * (H20+J20)+B20 * (H20-J20)) / P1 * L8
L20	\$	=	*Нар-ка 1
A21	\$	=	0
B21	\$	=	A21
C21	\$	=	1
D21	\$	=	ATAN((B21+B10/2+C10)/C21)
E21	\$	=	ATAN((B21+B10/2)/C21)
F21	\$	=	ATAN(ABS(B21-B10/2)/C21))
G21	\$	=	ATAN(ABS(B21-B10/2-C10)/C21))
H21	\$	=	D21-E21
I21	\$	=	E21+F21
J21	\$	=	G21-F21
K21	\$	=	(A10+L15) * (C10 * (H21+I21+J21)+(B10/2) * (H21+J21)+B21 * (H21-J21)) / (P1 * C10)
L21	\$	=	*Нар-ка 2

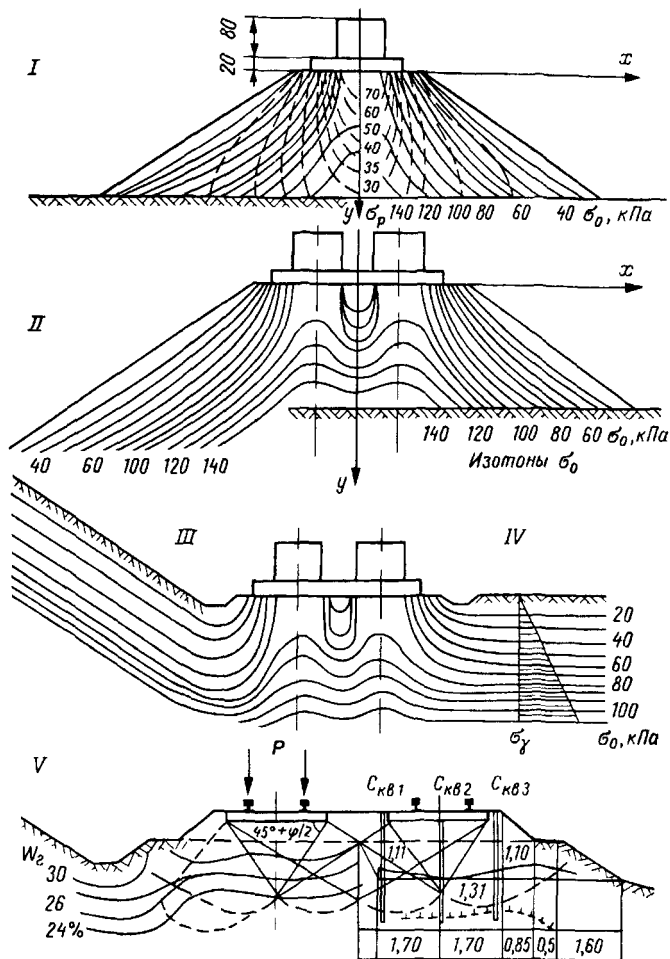


Рис 3 20 Напряженное состояние ОЗП

I — насыпь однопутная *II* — насыпь двухпутная *III* — полувыемка.

IV — нулевое место *V* — формирование деформаций в РБЗ

$$|K| = |B|^T |D| |B| F_{\Delta},$$

где $|B|$ — матрица связи перемещений и деформаций;

$|D|$ — матрица упругости (с характеристиками материала);

F_{Δ} — площадь треугольника.

По деформациям (как функциям перемещений в узловых точках) определяются напряжения внутри элемента

Связи между касательными и главными напряжениями

$$\tau_{\max} = 0,5(\sigma_1 - \sigma_2) = 0,5\sqrt{(\sigma_y - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xy}^2}.$$

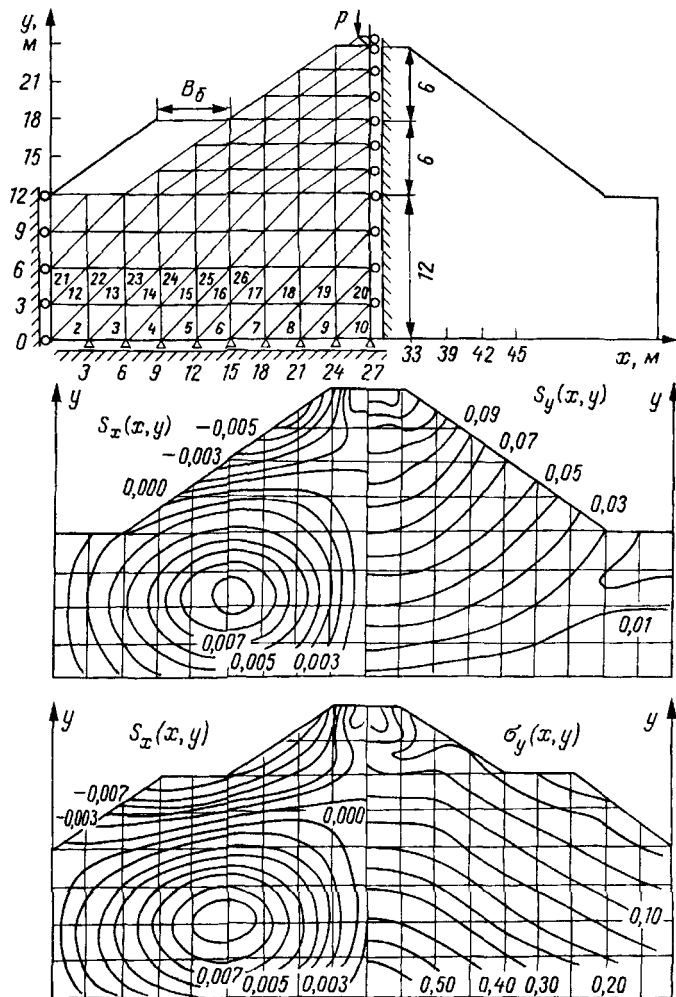


Рис 3 21 Определение перемещений, напряжений в насыпи МКЭ

Пример Решение по программе РГУПС (на языке Fortran, версия Лес, ЭВМ ЕС)

Модели насыпи на полный ПП, симметричной — на полупрофиль (рис 3.21). Насыпь $H_H = 12$ м типовых очертаний, $B_{ол} = 6,0$ м, $m_{от} = 1,5$ с берменной частью $B_б = 6$ м, основанием на глубину 12,0 м

Дискретизация сплошной среды (насыпи) на треугольные элементы (Э) с узловыми точками (У).

Ввод исходных данных: количество узловых точек $У$, элементов $Э$, граничных точек; координаты узлов, элементов; свойства материалов: E_d от 4 до 80 МПа; μ от 0,1 до 0,5; $\gamma_r = 20$ кН/м³; граничные условия: перемещения в узлах основания $S_x = S_y = 0$; по оси и граничному сечению $S_x = 0$, $S_y \neq 0$; нагрузки в каждом узле.

Результирующие графики на рис. 3.21 показывают, что МКЭ параметрически полнее характеризует деформативность грунтовой среды насыпи и ее основания (перемещения на графике S_j в м, напряжения σ_j в МПа).

Наибольшие вертикальные перемещения S_y характерны для осевой зоны. Горизонтальные перемещения S_x по величине значительно (на порядок) меньше вертикальных, направлены в верхней части к оси насыпи, в нижней от оси насыпи. Наибольшие S_x в подбалластной зоне и в нижней части — у подошвы откоса, где возможно формирование локальных пластических областей и выпирание грунтов основания насыпи. Распределение перемещений S_x и S_y согласуется с процессами формирования деформаций, проявления деформативности насыпи в поле гравитационных сил ПКС.

Вертикальные напряжения, как видно по изотонам σ_y , возрастают с глубиной, в меньшей степени в откосах. Распределение нормальных (сжимающих) напряжений согласуется с закономерностями геостатического распределения вертикальных напряжений, бытового давления ($\sigma = \gamma_r h$). Концентрация напряжений наблюдается в подбалластной зоне и у подошвы откосов насыпи. Берменная часть уменьшает концентрацию напряжений, отдаляет эллипс (эллипсоид) наибольших перемещений, снижает касательные напряжения τ_{xy} и соответственно вероятность выпора грунта основания.

3.5. Прогнозные расчеты возможных осадок насыпей

Задача 3.24. Выполнить прогноз возможной вертикальной осадки основной площадки насыпи и выемки.

Решение. Величина возможной вертикальной осадки основной площадки насыпи, вызываемой сооружением насыпи, зависит от величины осадки ее основания S_{oc} , которая определяется на основе теории компрессионного уплотнения, как сумма осадок S_i слоев грунта основания h_i в зоне разбивки (на глубину y_i) и дополнительной (добавочной) $S_{дб}$ в зоне ниже расположенного массива

$$S_{oc} = \sum S_i + S_{дб}.$$

Величина осадки каждого слоя равна $S_i = \eta_i h_i = \Delta h_i$; где η_i — относительная осадка слоя (модуль осадки);

$$\eta_i = (e_{при} - e_{oi}) / (1 + e_{при}) = \Delta h_i / h_i;$$

h_i — толщина слоя (основания), $h_i = y_i - y_{i-1}$.

Значения коэффициентов пористости:

$e_{\text{пр}i}$ — природного состояния (до возведения насыпи) определяются по компрессионной кривой грунта основания при известных напряжениях от собственного веса основания $\sigma_{\text{пр}i}$;

e_{oi} — расчетные (после возведения насыпи), определяются по компрессионной кривой грунта основания по напряжениям от собственного веса грунта основания $\sigma_{\gamma oi}$, насыпи $\Sigma \sigma_{\text{р}i}$, верхнего строения $\sigma_{\text{вс}i}$, поездной нагрузки $\sigma_{\text{п}i}$.

При определении осадок основания высокой насыпи воздействием нагрузок от верхнего строения и временной поездной (ввиду их малости у основания) можно пренебречь.

Величина возможной вертикальной осадки основной площадки насыпи

$$S_{\text{оп}} = K_{\text{ос}} S_{\text{ос}} - K_{\text{по}} H_{\text{н}} + S_{\text{н}},$$

где $K_{\text{ос}}$ — коэффициент, учитывающий долю полной осадки основания, реализуемой после возведения насыпи;

$K_{\text{по}}$ — коэффициент погашения осадки основания в теле насыпи;

$S_{\text{н}}$ — величина возможной осадки насыпи при недостаточной плотности грунта. Для ВСМ $K_{\text{ос}} = 0$; $K_{\text{оп}} = 0$; $S_{\text{н}} = 0$.

Величина осадки (возможно, подъемки) основной площадки выемки вычисляется по формуле

$$S_{\text{ов}} = K_{\text{ос}} S_{\text{в}},$$

где $K_{\text{ос}}$ — коэффициент, учитывающий долю полной осадки (подъемки) основной площадки после разработки выемки;

$S_{\text{в}}$ — расчетная величина полной осадки подбалластной зоны выемки.

Отношение $S_{\text{оп}}/H_{\text{н}} = K_{\text{од}}$ выражает коэффициент оседания (в % соответствует запасу на осадку, сопоставимому с нормативным).

Задача 3.25. Определить возможную величину (вертикальной) осадки основания насыпи $S_{\text{ос}}$ по оси пути.

Исходные данные: участок одно-двухпутный, размерные параметры: $H_{\text{н}}$, $B_{\text{оп}}$, m_j ; характеристики грунта: $\gamma_{\text{сос}}$, $W_{\text{ос}}$; напряжения от нагрузок насыпи $\Sigma \sigma_{\text{р}i}$ (см. раздел 3.4); компрессионная кривая (ветвь нагрузки грунта основания насыпи).

Расчетная схема: ПП насыпи; основание разбивается горизонталями в уровнях u_i на несколько слоев h_i .

Решение. Методом послойного суммирования (осадок). Сначала определяются $e_{\text{пр}i}$ для природного состояния (до возведения насыпи) методом последовательного приближения (при недостающих величинах $\gamma_{\text{ос}i}$).

В точке 0 ($x_0 = 0,0$ м; $y_0 = 0,0$ м), $h_0 = 0,0$ м; $\sigma_{\text{пр}0} = 0,0$ кПа.

По компрессионной кривой для $\sigma_{\text{пр}0}$ определяется $e_{\text{пр}0}$, вычисляется удельный вес $\gamma_{\text{пр}0} = \gamma_{\text{сос}}(1 + W_{\text{ос}})/(1 + e_{\text{пр}0})$.

В точке 1 ($x_1 = 0,0$ м; y_1), $h_1 = y_1$ принимается (недостающая) величина удельного веса грунта основания $\gamma_{\text{пр}1}' = \gamma_{\text{пр}0} + (0,05 \dots 0,2)$, кН/м³ и определяются напряжения $\sigma_{\gamma \text{пр}i} = 0,5(\gamma_{\text{пр}0} + \gamma_{\text{пр}1}') h_1 = \sigma_{\text{пр}1}$.

По компрессионной кривой для $\sigma_{\text{пр}1}$ определяется $e_{\text{пр}1}$, вычисляется $\gamma_{\text{пр}1} = \gamma_{\text{соч}}(1 + W_{\text{оч}})/(1 + e_{\text{пр}1})$ и проверяется правильность принятого $\gamma_{\text{пр}1}'$ (с допуском, например, 0,05 кПа).

Должно быть $|\gamma_{\text{пр}1}' - \gamma_{\text{пр}1}| < 0,05$ кПа. Если условие не соблюдается, то принимается $\gamma_{\text{пр}1}' = \gamma_{\text{пр}1}$ и производится перерасчет $\gamma_{\text{пр}1}$.

Аналогично $e_{\text{пр}i}$ определяются в точках 2, 3... n.

$$\sigma_{\gamma_{\text{пр}i}} = \sigma_{\gamma_{\text{пр}(i-1)}} + 0,5(\gamma_{\text{пр}i}' + \gamma_{\text{пр}i}) h_i.$$

Затем определяются e_{0i} (с учетом нагрузок от насыпи).

В точке 0 — определяется σ_{00} , пренебрегая влиянием $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{вс}}$ (для основания насыпи), $\sigma_{00} = \sum \gamma_i h_i = \gamma_{\text{срн}} H_{\text{н}}$.

По компрессионной кривой для σ_{00} определяется e_{00} и вычисляется удельный вес $\gamma_{00} = \gamma_{\text{соч}}(1 + W_{\text{оч}})/(1 + e_{00})$.

В точке 1 принимается $\gamma_{01}' = \gamma_{00} + (0,1 \dots 0,2)$ кН/м³, определяются напряжения от веса грунта $\sigma_{\gamma 1} = 0,5(\gamma_{00} + \gamma_{01}') h_1$, суммарные $\sigma_{01} = \sigma_{\text{пр}1} + \sigma_{\gamma 1}$.

По компрессионной кривой для σ_{01} определяется e_{01} , вычисляется удельный вес $\gamma_{01} = \gamma_{\text{соч}}(1 + W_{\text{оч}})/(1 + e_{01})$ и проверяется условие $|\gamma_{01} - \gamma_{01}'| < 0,05$ кН/м³.

Аналогично определяются e_{0i} в точках 2, 3... n.

По полученным значениям $e_{\text{пр}i}$ и e_{0i} вычисляются величины относительных осадок η_i для каждого слоя h_i : $\eta_i = (e_{\text{пр}i} - e_{0i})/(1 + e_{\text{пр}i})$.

Вычерчивается график относительных осадок по глубине $\eta_i = f(y_i)$, который экстраполируется до пересечения с осью y в точке $M(y_m)$.

Определяются осадки по слоям

$$S_i = 0,5(\eta_{i-1} + \eta_i) h_i.$$

добавочная осадка, ниже слоев разбиения $S_{\text{дб}} = 0,5\eta_n(y_m - y_n)$;

суммарная осадка основания насыпи по оси пути $S_{\text{ос}} = \sum S_i + S_{\text{дб}}$.

Все расчеты удобно выполнять в табличной форме.

Пример. Дано: участок однопутный, $H_{\text{н}} = 16,0$ м; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $\gamma_{\text{соч}} = 26,8$ кН/м³; $W_{\text{оч}} = 20$ %. Компрессионные характеристики грунта (суглинка) даны в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Компрессионные характеристики суглинка

p_i , кПа	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
e_i — ветвь нагрузки	0,720	0,679	0,651	0,633	0,621	0,614	0,611

Напряжения от насыпи $\sum \sigma_i$ в точках 0, 1, 2, 3, 4:

$\sigma_{00} = 322,6$; $\sigma_{01} = 302,4$; $\sigma_{02} = 292,3$; $\sigma_{03} = 277,0$; $\sigma_{04} = 251,0$ кПа.

Расчетная схема приведена на рис. 3.22, компрессионная кривая на рис. 3.23. $y_1 = 2,0$; $y_2 = 5,0$; $y_3 = 10,0$; $y_4 = 15,0$ м;

Решение. Методом послойного суммирования. Определяем $e_{\text{пр}i}$.

В точке 0 (0,0; 0,0) $h_0 = 0,0$ м; $\sigma_{\text{пр}0} = 0,0$ кПа.

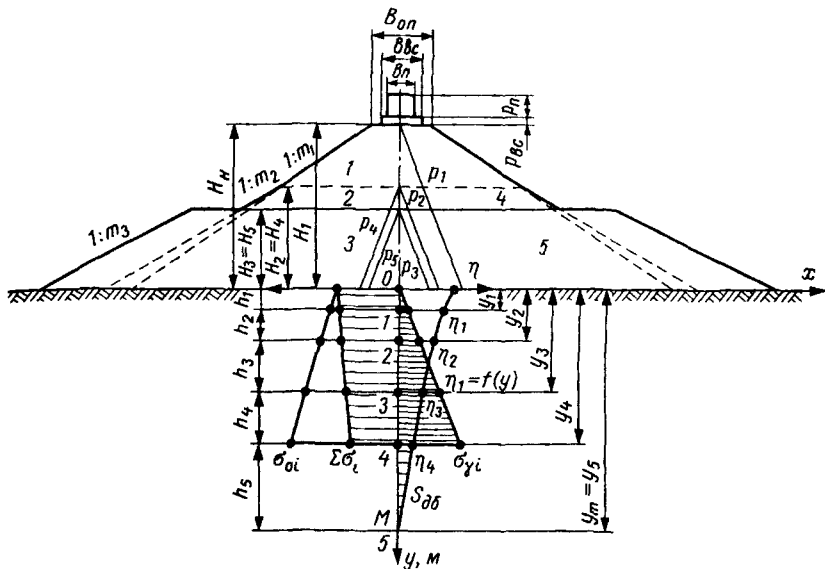


Рис. 3.22 Расчетная схема для определения возможной осадки основания по оси насыпи

По компрессионной кривой $e_{про} = 0,720$. Вычисляем удельный вес

$$\gamma_{про} = 26,8(1 + 0,2)/(1 + 0,720) = 18,70 \text{ кН/м}^3.$$

В точке 1 (0,0; 2,0) $h_i = 2,0$ м.

Принимаем $\gamma_{пр1}' = 18,70 + 0,10 = 18,80 \text{ кН/м}^3$;

тогда $\sigma_{пр1} = 0,5(18,70 + 18,80)2,0 = 37,50 \text{ кПа}$; $e_{пр1} = 0,703$.

Вычисляем $\gamma_{пр1} = 26,8(1 + 0,2)/(1 + 0,703) = 18,88 \text{ кН/м}^3$.

Проверка $|18,88 - 18,80| = 0,08 > 0,05 \text{ кН/м}^3$.

Выполняем перерасчет, приняв $\gamma_{пр1}'' = 18,88 \text{ кН/м}^3$

$\sigma_{пр1}' = 0,5(18,7 + 18,88)2,0 = 37,58 \text{ кПа}$;

$$e_{пр1}' = 0,701;$$

$\gamma_{пр1}' = 26,8(1 + 0,2)/1,701 = 18,91 \text{ кН/м}^3$.

Проверка

$$|18,91 - 18,88| = 0,03 < 0,05 \text{ кН/м}^3,$$

условие подбора $\gamma_{пр1}$ обеспечивается.

В точке 2 (0,0; 5,0) $h_i = 5,0 - 2,0 = 3,0$ м.

Принимаем

$\gamma_{пр2}' = 18,91 + 0,10 = 19,01 \text{ кН/м}^3$;

тогда $\sigma_{пр2} = 37,58 + 0,5(18,91 + 19,01)3,0 =$

$$= 94,46 \text{ кПа}; e_{пр2} = 0,683;$$

$\gamma_{пр2} = 26,8 \cdot 1,2/1,683 = 19,11 \text{ кН/м}^3$.

Проверка

$$|19,11 - 19,01| = 0,10 > 0,05 \text{ кН/м}^3.$$

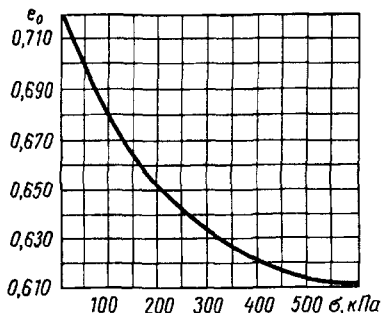


Рис. 3.23 Компрессионная кривая грунта основания насыпи (ветвь нагрузки, уплотнения)

Выполняем перерасчет, приняв $\gamma_{\text{пр}2}'' = 19,11 \text{ кН/м}^3$;

$$\sigma_{\text{пр}2}' = 37,58 + 0,5(18,91 + 19,11)3,0 = 94,61 \text{ кПа}; e_{\text{пр}2}' = 0,682;$$

$$\gamma_{\text{пр}2}' = 26,8(1,2)/1,682 = 19,12 \text{ кН/м}^3.$$

Проверка $|19,12 - 19,11| = 0,01 < 0,05 \text{ кН/м}^3$.

Аналогично определяем $e_{\text{пр}i}$ для точек 3, 4 (табл. 3.12).

Определяем e_{oi} .

В точке 0 после возведения насыпи $\sigma_{o0} = 322,6 \text{ кПа}$; $e_{o0} = 0,629$;

вычисляем $\gamma_{o0} = 26,8 \cdot 1,2/(1 + 0,628) = 19,75 \text{ кН/м}^3$.

В точке 1 (0,0; 2,0) $h_i = 2,0 \text{ м}$.

Принимаем $\gamma_{o1}' = 19,75 + 0,20 = 19,95 \text{ кН/м}^3$;

$$\text{тогда } \sigma_{\gamma 1} = 0,5(19,75 + 19,95)2,0 = 39,70 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{o1} = 302,4 + 39,7 = 342,1 \text{ кПа}; e_{o1} = 0,626.$$

Вычисляем $\gamma_{o1} = 26,8 \cdot 1,2/1,626 = 19,78 \text{ кН/м}^3$.

Проверка $|19,95 - 19,78| = 0,17 > 0,05 \text{ кН/м}^3$.

Выполняем перерасчет, приняв $\gamma_{o1}'' = 19,78 \text{ кН/м}^3$;

$$\sigma_{\gamma 1}' = 0,5(19,75 + 19,78) 2,0 = 39,53 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{o1}' = 302,40 + 39,53 = 341,93 \text{ кПа}; e_{o1}' = 0,626;$$

$$\gamma_{o1}' = 26,8 \cdot 1,2/1,626 = 19,78 \text{ кН/м}^3.$$

Проверка $|19,78 - 19,78| = 0,00 < 0,05 \text{ кН/м}^3$.

В точке 2 $y_2 = 5,0 \text{ м}$; $h_i = 3,0 \text{ м}$.

Принимаем $\gamma_{o2} = 19,81 \text{ кН/м}^3$.

$$\text{тогда } \sigma_{\gamma 2} = 39,53 + 0,5(19,76 + 19,81)3,0 = 98,89 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{o2} = 292,3 + 98,89 = 391,19 \text{ кПа}; e_{o2} = 0,623;$$

$$\gamma_{o2} = 26,8 \cdot 1,2/1,623 = 19,80 \text{ кН/м}^3.$$

Проверка $|19,81 - 19,80| = 0,01 < 0,05 \text{ кН/м}^3$.

Аналогично определяем e_{oi} для точек 3, 4 (табл. 3.12).

Вычисляем величины относительных осадок

$$\eta_0 = (0,720 - 0,629)/(1 + 0,720) = 0,053;$$

$$\eta_1 = (0,701 - 0,626)/(1 + 0,701) = 0,044;$$

$$\eta_2 = 0,033; \eta_3 = 0,016; y_5 = 23,4 \text{ м}.$$

Определяем осадки по слоям

$$S_1 = 0,5(0,053 + 0,044)2,0 = 0,097 \text{ м};$$

$$S_2 = 0,5(0,044 + 0,033)3,0 = 0,116 \text{ м};$$

$$S_3 = 0,140; S_4 = 0,098 \text{ м};$$

добавочную при $y_5 - y_4 = 23,4 - 15,0 = 8,4 \text{ м}$

$$S_{\text{дб}} = 0,5 \cdot 0,016 \cdot 8,4 = 0,067;$$

полную осадку основания насыпи по оси пути

$$S_{\text{ос}} = 0,451 + 0,067 = 0,518 \text{ м}.$$

Задача 3.26. Определить возможные осадки основания, основной площадки насыпи в сечениях основания одно- двухпутной насыпи.

Решение. Расчет возможных осадок в любом сечении и уровне основания насыпи выполняется с использованием ЭТ.

Таблица 3.12

Параметры определения S_i по оси однопутной насыпи

Расчетные величины	Значения расчетных параметров по оси пути в точках				
	0	1	2	3	4
y_i , м	0,00	2,00	5,00	10,00	15,00
h_i , м	0,00	2,00	3,00	5,00	5,00
Определение $e_{при}$:					
$\gamma'_{при}$, кН/м ³	—	18,88	19,11	19,42	19,52
$\sigma_{при}$, кПа	0,00	37,58	94,61	190,10	287,50
$e_{при}$	0,720	0,701	0,682	0,654	0,640
$\gamma_{при}$, кН/м ³	18,70	18,91	19,12	19,44	19,57
$|\gamma'_{при} - \gamma_{при}|$, кН/м ³	—	0,03	0,01	0,02	0,05
Определение e_{oi} :					
$\Sigma\sigma_{pi}$, кПа	322,60	302,40	292,30	277,00	251,00
γ'_{oi} , кН/м ³	—	19,78	19,81	19,90	19,96
$\sigma_{\gamma i}$, кПа	0,00	39,53	98,89	198,17	297,82
σ_{oi} , кПа	322,60	341,93	391,19	475,27	548,82
e_{oi}	0,629	0,626	0,623	0,617	0,613
γ_{oi} , кН/м ³	19,75	19,78	19,80	19,91	19,93
$|\gamma'_{oi} - \gamma_{oi}|$, кН/м ³	—	0,00	0,01	0,01	0,03
Определение S_i :					
η_i	0,053	0,044	0,033	0,023	0,016
S_i	—	0,097	0,116	0,140	0,098

Расчетная схема на рис. 3.24 (однопутная насыпь, $B_M = O_M$).

Алгоритмом расчета с учетом методики решения задачи 3.25. предусмотрено определение осадок, как суммы осадок по слоям основания насыпи

$$S_i = \eta_{срi} h_i$$

где $\eta_{срi} = 0,5(\eta_{i-1} + \eta_i)$; $\eta_i = (e_{при} - e_{oi}) / (1 + e_{при})$.

Все обозначения по задаче 3.25.

Коэффициенты пористости e_i вычисляются по уравнению компрессионной кривой $e_i = A_0 + A_1\sigma_i + A_2\sigma_i^2$

Напряжения для определения природных значений $e_{при}$ рассчитываются с учетом собственного веса грунтовой среды основания; для определения e_{oi} — дополнительно, с учетом нагрузок возведенной насыпи $p_{вс}$, $p_{п}$. $\sigma_i = \sigma_{\gamma} + \Sigma\sigma_{pi}$.

Влияние насыпи моделируется комбинацией (для выслыких насыпей пяти) трапецеидальных нагрузок, каждая из которых приложена к основанию и суммарное воздействие которых эквивалентно эпюре нагрузок от насыпи.

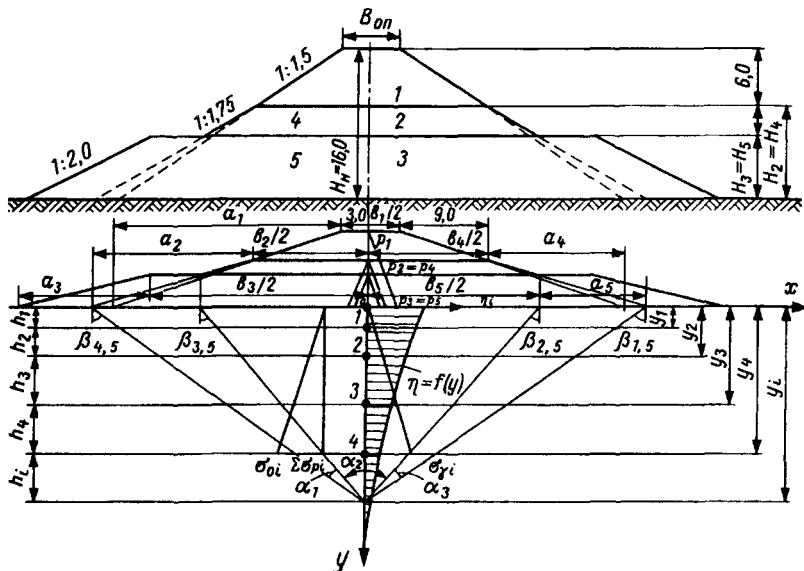


Рис. 3.24. Расчетная схема к алгоритму определения возможной осадки основания насыпи. (Размеры в м)

Вертикальные сжимающие напряжения от каждой j -ой трапецидальной нагрузки вычисляются по формуле

$$\sigma_i = p_j(a_j(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_j(\alpha_1 + \alpha_3) + y_i(\alpha_1 - \alpha_3))/(\pi a_j),$$

где a_j, b_j — размерные параметры трапецидальных нагрузок; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — углы видимости для прямоугольной (α_2) и треугольных (α_1, α_3) элементов трапецидальных нагрузок. На расчетной схеме лучи и углы a_i показаны для 5-й нагрузки.

Пример. Расчет возможных осадок одно- двухпутной насыпи в любом сечении основания на ЭТ по программе OSADKI (табл. 3.13-1).

Структура ЭТ. Блок исходной информации (в верхней части таблицы) содержит размерные параметры насыпи: $H_H, B_{оп}, B_M, t_j$ интенсивности p_j , ширину b_j полосовых нагрузок ($p_{п}, p_{вс}$); параметры грунтов насыпи и основания γ_i, γ_{si} , влажность W_i , коэффициенты уравнения компрессионной кривой A_0, A_1, A_2 ; расчетные параметры прямоугольных и треугольных элементов всех трапецидальных нагрузок p_j, a_j, b_j , используемые в последующих вычислениях. Параметры управления: координата сечения x_i и шаг по y_i в столбце А.

При использовании вычислительных возможностей ЭТ, в ячейки введены сложные расчетные формулы, например, для определения напряжений в точках на основании насыпи в одну ячейку E16

$$\sigma = p \{ \arctg((x_i - (B_M - b_{п})/2)/y_i) + 0,5 \sin[2 \arctg((x_i - (B_M - b_{п})/2)/y_i)] - \arctg((x_i - (B_M + b_{п})/2)/y_i) - 0,5 \sin[2 \arctg((x_i - (B_M + b_{п})/2)/y_i)] \} / \pi.$$

Таблица 3.13-1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	РАСЧЕТ ВОЗМОЖНЫХ ОСАДКОВ НАСЫПИ (программа OSADKI — ЭТ)									
2										
3	-----									
4	Исходные данные: H_i, B_i, a_i, b_i , в м; p_i в кПа; γ_i в кН/м ³ .									
5	В.нас. H_H	Ш.оп. $B_{оп}$	Ш.мп. B_M	Ин.пн. p_1	Ш.пн. b_1	Ин.пн. p_2	Ш.пн. b_2	Ин.вс $p_{вс}$	Ш.вс $b_{вс}$	
6	17.6	6	4.1	80	2.5	70	2.7	16	4.6	
7	Уд.в. γ_H	Уд.в. $\gamma_{сн}$	Вп.н. W_H	Уд.в. $\gamma_{сос}$	Вп.ос. $W_{ос}$	К.укк. A_0	К.укк. A_1	К.укк. A_2		
8	18.7	26.4	24	27.1	23	.717429	-.000399	.00000003		
9	Кр. $m_1 = m_4$	$H_3 = H_5$	Кр. m_3	$H_2 = H_4$	Кр. $m_2 = m_5$	Ш.бер. B_6	Инт.н. p_1	Пр.н. b_1	Тр.н. a_1	
10	1.5	8	2	11.6	1.75	6	329.12	10.1	26.4	
11	Ин. $p_2 = p_4$	Пн. $b_2 = b_4$	Тр.н. a_2	Ин. $p_3 = p_5$	Пр.н. b_3	Тр.н. a_3	Пр.н. b_5	Тр.н. a_5	Тр.н. a_4	
12	216.92	28.1	20.3	149.6	52.7	16	40.7	14	17.4	
13	-----									
14	Напряжения от $p_n, p_{вс}$ (углы β_i в рад., напряжения σ в кПа). Сечение:									
15	Коорд-ты	$x_i, м$	$y_i, м$		σ_{n1i}	σ_{n2i}	$\sigma_{всi}$	σ_{oi}	$x_i, м =$	
16	Точка 0о	5.05	17.60		6.81	4.68	2.53	14.02	2.05	
17	Точка 1о	14.05	17.60		3.38	2.27	1.98	7.62	Шаг $y_i, м =$	
18	Точка 2о	26.35	17.60		1.96	2.03	1.10	5.10	4.50	
19	-----									
20	Напряжения от нагрузок насыпи p_i и основания p_γ (углы α_i в рад., σ_i в кПа).									
21	Коорд. x_i	Коорд. y_i	Угол α_1	Угол α_2	Угол α_3	Напр. σ_i	Пар. $\sigma_{прi}$	Пар. σ_{oi}	Осадки:	
22	2.05	1.00	.11	2.68	.29	342.98	19.44	20.62	342.98	
23	2.05	1.00	.03	3.00	.05	224.53	19.44	363.60		
24	2.05	1.00	.01	3.07	.02	154.70	.71	.62	.0550243	
25	2.05	1.00	.03	3.00	.05	224.53	19.50	20.63	.06	
26	2.05	1.00	.02	3.04	.02	154.69	.29	.07	.06	
27	Точка 2 -----									
28	2.05	5.50	.50	1.41	.89	330.75	19.53	20.59	331.25	
29	2.05	5.50	.18	2.38	.26	222.96	107.24	456.34		
30	2.05	5.50	.07	273	.09	154.40	.68	.60	.0445421	
31	2.05	5.50	.17	2.38	.24	222.77	19.86	20.79	.22	
32	2.05	5.50	.09	2.61	.12	154.10	1.68	.94	.28	
33	Точка 3 -----									
34	2.05	10.00	.66	.91	.95	306.94	19.89	20.54	309.32	
35	2.05	10.00	.29	1.89	.39	216.89	196.67	549.32		
36	2.05	10.00	.12	2.41	.15	153.05	.65	.60	.0329483	
37	2.05	10.00	.27	1.89	.37	216.03	20.18	20.87	.17	
38	2.05	10.00	.15	2.22	.20	151.53	1.45	1.59	.45	
39	Точка 4 -----									
40	2.05	14.50	.71	.66	.91	280.52	120.21	20.48	285.98	
41	2.05	14.50	.35	1.53	.46	206.69	287.56	642.35		
42	2.05	14.50	.16	2.13	.19	150.22	.63	.60	.0204607	
43	2.05	14.50	.32	1.53	.42	204.83	20.45	20.88	.12	
44	2.05	14.50	.20	1.90	.25	146.62	1.17	1.92	.57	
45	Точка 5 -----									
46	2.05	19.00	.70	.51	.84	255.04	20.48	20.42	263.99	
47	2.05	19.00	.39	1.27	.48	194.18	379.66	735.27		
48	2.05	19.00	.19	1.89	.22	145.97	.61	.60	.0073413	
49	2.05	19.00	.35	1.27	.43	191.31	20.66	20.82	.06	
50	2.05	19.00	.22	1.63	.27	139.88	.87	1.91	.64	
51	-----									
52	Общая осадка основания насыпи (в данном сечении) —								$S_{ос}, м =$	.64

В столбцах G и H вычисляются коэффициенты пористости $e_{\text{при}}$, e_{oi} с учетом соответствующих напряжений $\sigma_{\text{при}}$, σ_{oi} , определяются $\gamma_{\text{при}}$, γ_{oi} . В последних строках столбца I вычисляются относительные осадки η_i , осадки по слоям S_i и общие. В каждой ячейке помещаются (и в других ячейках повторяются) формулы для вычисления соответствующих значений параметров в точках (x_i, y_i) . Содержание ячеек фрагментарно (блоки А14:119 и А22:127) приведено в табл. 3.13-2.

Анализируя результаты расчета, устанавливаем, что осадка затухает на глубине 19,0 м, где $\eta_i = 0,007$ м. Общая осадка $S_{oc} = 0,64$ м. Варьируя шаг y_i , можно в любом сечении определить глубину затухания (при $\eta_i \rightarrow 0$) и величину осадок.

Изменяя входные данные можно анализировать параметрические зависимости осадок основания насыпей. В частности, на величину осадки существенно влияют компрессионные характеристики грунта, параметры сжимаемости и соответственно компрессионной кривой.

3.6. Прогнозные расчеты устойчивости основания насыпей

Задача 3.27. Рассчитать величину осадки насыпи во времени на торфяном основании.

Исходные данные: толщина слоя торфяного основания H_Φ , величина полной осадки S_{oc} ; консолидационные кривые.

Решение. Время завершения первичной осадки T_i определяется [87] по формуле

$$T_i = b_{\lambda p} H_\Phi^2,$$

где $b_{\lambda p}$ — консолидационный параметр, определяется как угловой коэффициент графика $t_\lambda = f(h_\Phi^2)$; h_Φ — величина (образца) грунта основания, уплотненного под расчетной нагрузкой.

Прогноз хода осадки во времени (первичной осадки) может быть по формулам фильтрационной консолидации, по коэффициенту консолидации

$$C_k = 1,13 h_\Phi^2 / t_{ct},$$

где t_{ct} — время завершения первичной осадки (образца).

Время завершения фильтрационной осадки $T_{ct} = 1,13 H_\Phi^2 / C_k$.

Пример (по ДорНИИ). Исходные данные: кривые консолидации (рис. 3.25), $H_\Phi = 4,0$ м; $h_\Phi = 2$ см; величина полной осадки $S_{oc} = 1,6$ м.

Решение. По консолидационным кривым находим, что завершению первичной осадки $p_1 = 0,075$ МПа соответствует относительная деформация $\lambda = 0,4$.

По графику $t_\lambda = f(h_\Phi^2)$ определяем $b_{\lambda p}$ (как угловой коэффициент прямой $\lambda = 0,4$) $b_{\lambda p} = 20/4 = 5$ мин/см².

Тогда $T_1 = 5 \cdot 400^2 = 800000$ мин = 1,5 года.

Таблица 3.13-2

Содержание ячеек A14:I19 программы ЭТ-OSADKI

A14	= "	Напряжения от P_n, P_{ac} (углы β_i в рад., напряжения σ в кПа).
I14	= "	Сечение:
A15	= "	Коорд-ты
B15	\$ = "	ψ_i , м
C15	\$ = "	U_i , м
D15	\$ = "	
E15	\$ = "	σ_{n1i}
F15	\$ = "	σ_{n2i}
G15	\$ = "	$\sigma_{вс1i}$
H15	\$ = "	σ_{oi}
I15	\$ = "	ψ_i , м =
A16	\$ = "	Точка O_0
B16	\$ = "	$H10/2$
C16	\$ = "	A_6
D16	\$ = "	
E16	\$ = "	$D_6 \cdot (\text{ATAN}((B16-(C6-E6)/2)/C16) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B16-(C6-E6)/2)/C16)) - \text{ATAN}((B16-(C6+E6)/2)/C16) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}(B16-(C6+E6)/2)/C16))) / P1$
F16	\$ = "	$F_6 \cdot (\text{ATAN}((B16+(C6+E6)/2)/C16) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B16+(C6+E6)/2)/C16)) - \text{ATAN}((B16+(C6-E6)/2)/C16) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}(C16-(C6-E6)/2)/C16))) / P1$
G16	\$ = "	$H_6 \cdot (\text{ATAN}(((B16-I6)/2)/C16) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}(((B16+I6)/2)/C16)) - \text{ATAN}(((B16-I6)/2)/C16) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}(((B16-I6)/2)/C16))) / P1$
H16	\$ = "	$E16 + F16 + G16$
I16	\$ = "	$2/05$
A17	\$ = "	Точка 1_0
B17	\$ = "	$B12/2$
C17	\$ = "	A_6
D17	\$ = "	
E17	\$ = "	$D_6 \cdot (\text{ATAN}((B17-(C6-E6)/2)/C17) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B17-(C6-E6)/2)/C17)) - \text{ATAN}((B17-(C6+E6)/2)/C17) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B17-(C6+E6)/2)/C17))) / P1$
F17	\$ = "	$F_6 \cdot (\text{ATAN}((B17+(C6+E6)/2)/C17) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B17+(C6+E6)/2)/C17)) - \text{ATAN}((B17+(C6-E6)/2)/C17) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B17-(C6-E6)/2)/C17))) / P1$
G17	\$ = "	$H_6 \cdot (\text{ATAN}((B17+I6)/2)/C17) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}(((B17+I6)/2)/C17)) - \text{ATAN}(((B17-I6)/2)/C17) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B17-I6)/2)/C17))) / P1$
H17	\$ = "	$E17 + F17 + G17$
I17	\$ = "	Шаг y_h , м =
A18	\$ = "	Точка 2_0
B18	\$ = "	$E12/2$
C18	\$ = "	A_6
D18	\$ = "	
E18	\$ = "	$D_6 \cdot (\text{ATAN}((B18-(C6-E6)/2)/C18) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B18-(C6-E6)/2)/C18)) - \text{ATAN}((B18-(C6+E6)/2)/C18) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((O8+(C6+E6)/2)/C18))) / P1$
F18	\$ = "	$F_6 \cdot (\text{ATAN}((B18+(C6+E6)/2)/C18) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B18+(C6+E6)/2)/C18)) - \text{ATAN}((B18+(C6-E6)/2)/C18) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((O8+(C6-E6)/2)/C18))) / P1$
G18	\$ = "	$H_6 \cdot (\text{ATAN}(((B18+I6)/2)/C18) + 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}(((B18+I6)/2)/C18)) - \text{ATAN}(((B18-I6)/2)/C18) - 5 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{ATAN}((B18-I6)/2)/C18))) / P1$
H18	\$ = "	$E18 + F18 + G18$
I18	\$ = "	4.5
A19	\$ = "	-----

Таблица 3.13-2 (продолжение)

Содержание ячеек A22: C27 программы ЭТ-OSADKI

A22	\$	=	I16
B22	\$	=	1
C22	\$	=	ATAN((A22+H10/2+I10/B22)-ATAN((A22+H10/2)/B22)
D22	\$	=	ATAN((A22+H10/2)/B22)-ATAN((A22-H10/2)/B22)
E22	\$	=	ATAN(ABS(A22-H10/2-I10/B22))-ATAN(ABS((A22-H10/2)/B22)
F22	\$	=	(G10+H16)·(I10·(C22+D22+E22)+(H10/2)·(C22-E22))/P1·I10)
G22	\$	=	D8·(1+E8/100)/(1+F8)+ 03
H22	\$	=	D8·(1+E8/100)/(1+(H8·I22*2+G8·I22+F8))+ 03
I22	\$	=	F22+F23+F24-F25-F26
A23	\$	=	I26
B23	\$	=	1
C23	\$	=	ATAN((A23+B12/2+C12/B23)-ATAN((A23+B12/2)/B23)
D23	\$	=	ATAN((A23+B12/2)/B23)-ATAN((A23+B12/2)/B23)
E23	\$	=	ATAN(ABS(A23-B12/2-C12/B23) ATAN(ABS(A23+B12/2)/B23)
F23	\$	=	(A12+H17)·(C12·(C23+D23+E23)+(B12/2)·(C23+E23)+A23·(C23 E23))/P1·C12)
G23	\$	=	0+ 5·(G22+G22)·(B22-B21)
H23	\$	=	0+ 5·(H22+H22)·(B22-B21)+I22
I23	\$	=	
A24	\$	=	I16
B24	\$	=	1
C24	\$	=	ATAN((A24+E12/2+F12/B24)-ATAN((A24+E12/2)/B24)
D24	\$	=	ATAN((A24+E12/2)/B24) ATAN((A24-E12/2)/B24)
E24	\$	=	ATAN(ABS(A24-E12/2-F12/B24)-ATAN(ABS(A24-E12/2)/B24)
F24	\$	=	(D12+H18)·(F12·(C24+D24+E24)+(E12/2)·(C24+E24)+A24·(C24-E24))/P1·F12)
G24	\$	=	H8·G23*2+G6·G23+F8
H24	\$	=	H8·H23*2+G6·G23+F8
I24	\$	=	(G24-H24)/(1+G24)
A25	\$	=	I16
B25	\$	=	1
C25	\$	=	ATAN((A25+B12/2+I12/B25)-ATAN((A25+B12/2)/B25)
D25	\$	=	ATAN((A25+B12/2)/B25)-ATAN((A25+B12/2)/B25)
E25	\$	=	ATAN(ABS(A25-B12/2-I12/B25)-ATAN(ABS(A25-B12/2)/B25)
F25	\$	=	(A12+H17)·(I12·(C25+D25+E25)+(B12/2)·(C25+E25)+A25·(C25-E25))/P1·I12)
G25	\$	=	D8·(1+e8/100)/(1+G24)
H25	\$	=	D8·(1+e8/100)/(1+H24)
I25	\$	=	I24·B25
A26	\$	=	I26
B26	\$	=	1
C26	\$	=	ATAN((A26+G12/2+H12/B26)-ATAN((A26+G12/2)/B26)
D26	\$	=	ATAN((A26+G12/2)/B26)-ATAN((A26+G12/2)/B26)
E26	\$	=	ATAN(ABS(A26-G12/2-H12/B26)-ATAN(ABS(A26 G12/2)/B26)
F26	\$	=	(D12+H18)·(H12·(C26+D26+E26)+(G12/2)·(C26+E26)+A26·(C26-E26))/P1·H12)
G26	\$	=	ABS(G22-G25)·100/G25
H26	\$	=	ABS(H25-22)·100/H25
I26	\$	=	I25
A27	\$	=	"Точка 2
B27	\$	=	"
C27	\$	=	"

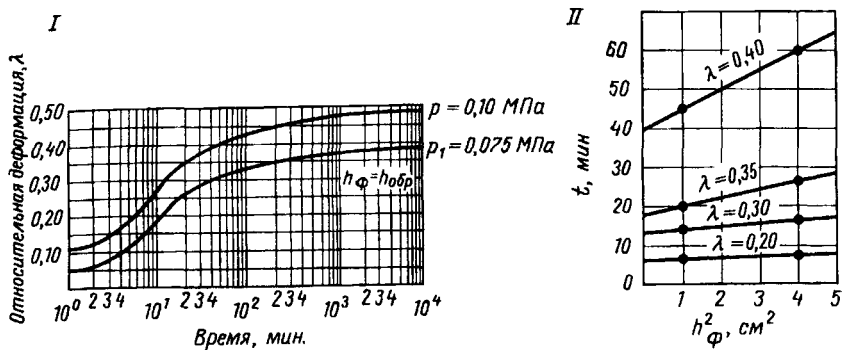


Рис 3.25 Характеристики торфяного основания I — кривые консолидации, II — график зависимости $t_{\lambda} = f(h_{\phi}^2)$

Определим время завершения неполной осадки (75%)

Величина осадки $S_{75} = 0,75 \cdot 1,6 = 1,2$ м

Относительная осадка $\lambda_{75} = 1,2/4,0 = 0,3$.

По графику $t_{\lambda} = f(h_{\phi}^2)$ (рис 3.25-2) консолидационный параметр

$$b_{\lambda p} = 1,1 \text{ мин/см}^2.$$

Тогда $T_{75} = 1,1 \cdot 400^2 = 176000$ мин = 122 суток

Ориентировочный прогноз хода осадки по формулам фильтрационной консолидации (при времени первичной осадки образца $t_{CT} = 0,3$ часа).

Коэффициент консолидации

$$C_k = 1,13 \cdot 2,0^2/0,3 = 15,1 \text{ см}^2/\text{час}.$$

Время завершения фильтрационной осадки (стабилизации) слоя торфа толщиной 4,0 м

$$T_{CT} = 1,13 \cdot 400^2/15,1 = 11973 \text{ часов} = 1,4 \text{ года}$$

Задача 3.28. Выполнить прогнозный расчет устойчивости основания насыпи против сдвига и выпирания

Решение Прогнозный расчет устойчивости против сдвига и выпирания (сложный и трудоемкий) выполняется с использованием ЭТ и программного обеспечения

Явления выпирания связаны с процессами пластических деформаций в основаниях насыпей, подбалластных зонах выемок [122].

Стабильность оценивается по условию Кулона $\tau = f_r \sigma + c_r$, где τ , σ — касательные и нормальные (сжимающие) напряжения в точках грунтового массива

Устойчивость против сдвига и выпирания характеризуется коэффициентом устойчивости $K_{ув} = (f_r \sigma + c_r)/\tau$,

минимальное (расчетное) значение которого, как функции напряженно-го состояния, определяется по формуле

$$K_{уб0} = 2\sqrt{A(A - f_r)}, \quad A = (f_r \sigma_1 + c_r)/(\sigma_1 - \sigma_2),$$

где σ_1 , σ_2 — главные нормальные напряжения.

Устойчивость в точках основания насыпи обеспечивается при $K_{убо} > 1,0$, а изолинии со значениями $K_{убi} < 1,0$ определяют область возможных пластических деформаций.

Расчетная схема показана на рис. 3.26.

Главные нормальные напряжения σ_1, σ_2 , необходимые для определения $K_{убi}$ в каждой i -ой точке от каждой j -ой трапецидальной нагрузки, приложенной к основанию насыпи, вычисляются по формуле

$$\sigma_{1,2} = p_j [a_j(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_j(\alpha_1 + \alpha_3) + x_i(\alpha_1 + \alpha_3) - y_i \ln(R_1 R_4 / R_2 R_3) \pm \pm y_i \sqrt{\ln^2(R_1 R_4 / R_2 R_3) + (\alpha_1 - \alpha_3)^2}] / (\pi a_j),$$

где R_i — длины радиусов векторов; α_i — углы радиусов векторов (углы видимости); p_j — интенсивность равномерно распределенных нагрузок; a_j, b_j — величины соответственно треугольной, прямоугольной элементов трапецидальных нагрузок; x_i, y_i — абсциссы, ординаты точек грунтового массива.

Полные главные нормальные напряжения в точках полупространства определяются по формуле $\sigma_{1,2} = \Sigma \sigma_{1,2} + \gamma_i y_i$.

Параметры R_i, α_i имеют разные значения и вычисляются соответственно координатному положению точек основания насыпи относительно нагрузок по формулам

$$\begin{aligned} R_{1,4} &= \sqrt{y_i^2 + (a_j + b_j \pm x_i)^2}; \\ R_{2,3} &= \sqrt{y_i^2 + (b_j \pm x_i)^2}; \\ \alpha_{1,3} &= \beta_{1i(4i)} \pm \beta_{2i(3i)}; \quad \alpha_2 = \beta_{2i} \pm \beta_{3i}; \\ \beta_{1i,4i} &= \arctg[(x_i \pm a_j \pm b_j) / y_i]; \quad \beta_{2i,3i} = \arctg[(x_i \pm b_j) / y_i]. \end{aligned}$$

Характер формирования зон пластических деформаций ОЗП различный: в выемке такая зона может размещаться в осевой части подбалластного пространства; в основании насыпи имеется три минимума $K_{уб}$ — в осевой зоне глобальный и в подошвенных частях локальные минимумы $K_{уб}$, где возможен выпор грунта.

Пример. Прогнозные расчеты устойчивости основания насыпи от сдвига и выпирания с использованием ЭТ — USTOS.

Структура ЭТ (табл. 3.14-1). Блок исходной информации (в верхней части ЭТ) включает исходные данные: размеры ОЗП — $H_n, B_{оп}, B_m, m_j$; параметры полосовых нагрузок $p_j, b_j, p_{вс}, b_{вс}$; характеристики грунта насыпи γ_n , основания $\gamma_{ос}, \varphi_{ос}, c_{ос}$; расчетные данные: интенсивности p_j и размерные параметры H_j, a_j, b_j, m_j всех трапецидальных нагрузок; параметры управления: координата сечения x_i и величина шага по y_i .

В первом расчетном блоке (строки 12-16) вычисляются напряжения в точках основания от нагрузок p_n и $p_{вс}$. В последующих расчетных блоках (для каждой точки) вычисляются напряжения и $K_{уб}$. В каждой строке блока для одной трапецидальной нагрузки вычисляются величины координатных углов β_{ij} и углов видимости α_{ij} , радиусы векторы R_{ij} . В следующих строках вычисляются составляющие и главные напряжения для каждой нагрузки и суммарные σ_{1i}, σ_{2i} , по которым рассчитывается $K_{уб}$.

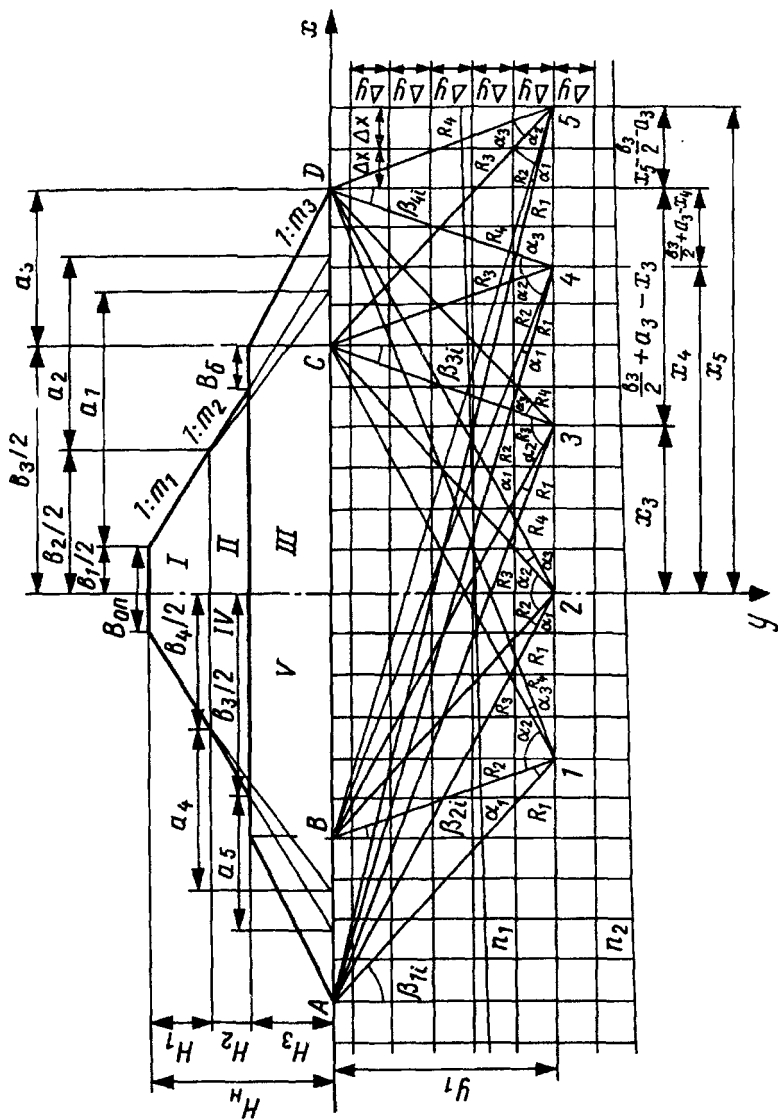


Рис. 3.26. Расчетная схема к алгоритму прогноза устойчивости (определения $K_{ув}$) основания насыпи

Таблица 3.14-1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ (против сдвига и выпирания) —												
2	программа USTOS - ЭТ												
3	-----												
4	Исходные данные H_i B_i a_i b_i v m $p_{i \text{ в кПа}}$ γ_i v кН/м^3								Сечение x_i m		00 Шаг u_i m		5 00
5	В нас H_n Ш оп $B_{оп}$ Ш мп B_m Ин гн p_1 Ш гн b_1 Ин гн p_2 Ш гн b_2 Ин вс $p_{вс}$ Ш вс $b_{вс}$ Уд в $\gamma_{ос}$ Уд вт ϕ Уд ас c												
6	16 00	6 00	4 10	80 00	2 50	70 00	2 70	16 00	4 60	16 60	19 20	15 00	13 00
7	Вел H_1 Крут m_1 Вел H_3 Крут m_3 Вел H_2 Крут m_2 Ш бер B_6								Инт н p_1 Прн b_1 Трн a_1 $f = \text{tg } \phi$				
8	6 00	1 50	7 00	2 00	3 00	1 75	6 00			297 60	10 10	24 00	26
9	Инт н p_2 Прн b_2 Трн a_2 Инт н p_3 Прн b_3 Трн a_3 Инт н p_4 Прн b_4 Трн a_4 Инт н p_5 Прн b_5 Трн a_5												
10	186 00	28 10	17 50	130 20	50 60	14 00	186 00	28 10	15 00	130 20	38 60	12 25	
11	-----												
12	Расчетные параметры нагрузок Напряжения от p_n $p_{вс}$ (углы β_i в рад напряжения σ в кПа)												
13	x_1 m	u_1 m	β_{n11}	β_{n12}	β_{n21}	β_{n22}	$\beta_{вс1}$	$\beta_{вс2}$	σ_{n1}	σ_{n2}	$\sigma_{вс1}$	$\sigma_{вс2}$	
14	5 05	16 00	26	11	48	35	43	17	7 40	4 86	2 41	14 67	
15	14 05	16 00	69	59	83	75	80	63	3 27	1 73	95	5 94	
16	26 00	16 00	99	94	1 06	1 02	1 05	96	83	45	24	1 52	
17	-----												
18	Расчетные нагрузки напряжения коэффициент устойчивости основания насыпи (углы α_i β_i в рад напряжения σ_i в кПа)												
19	Коорд x_i	Коорд y_i	Угол β_1	Угол β_2	Угол β_3	Угол β_4	Угол α_1	Угол α_2	Угол α_3	Радиус R_1	Радиус R_2	Радиус R_3	Радиус R_4
20	00	1 00	1 54	1 38	1 38	1 54	16	2 75	16	29 07	5 15	5 15	29 07
21	00	1 00	1 54	1 50	1 50	1 54	04	3 00	04	31 57	14 09	14 09	31 57
22	00	1 00	1 55	1 53	1 53	1 55	01	3 06	01	39 31	25 32	25 32	39 31
23	00	1 00	1 54	1 50	1 50	1 54	04	3 00	04	29 07	14 09	14 09	29 07
24	00	1 00	1 54	1 52	1 52	1 54	02	3 04	02	31 57	19 33	19 33	31 57
25	Точка 1		71 91	53 36	43 10	45 67	37 50	3 46	1 61	88	1 45	98	
26			312 17	119 53	131 72	191 93	131 72	283 49	112 51	126 45	180 13	125 00	
27	Напр σ_1	σ_2	258 97	236 53		3 60	Коэффициент устойчивости основания в точке 1					6 93	
28	Точка 2	-----											
29	00	6 00	1 37	70	70	1 37	67	1 40	67	29 66	7 84	7 84	29 66
30	00	6 00	1 38	1 17	1 17	1 38	22	2 33	22	32 12	15 28	15 28	32 12
31	00	6 00	1 42	1 34	1 34	1 42	08	2 68	08	39 76	26 00	26 00	39 76
32	00	6 00	1 37	1 17	1 17	1 37	20	2 33	20	29 66	15 28	15 28	29 66
33	00	6 00	1 38	1 27	1 27	1 38	11	2 54	11	32 12	20 21	20 21	32 12
34			56 40	45 55	38 76	38 67	32 70	15 96	8 92	5 09	7 96	5 56	
35			299 70	118 41	131 35	189 94	130 95	167 46	79 64	100 83	125 07	92 91	
36	Напр σ_1	σ_2	343 77	245 15		1 04	Коэффициент устойчивости основания в точке 2					1 81	
37	Точка 3	-----											
38	00	11 00	1 21	43	43	1 21	78	86	78	31 06	12 10	12 10	31 06
39	00	11 00	1 24	91	91	1 24	33	1 81	33	33 41	17 84	17 84	33 41
40	00	11 00	1 30	1 16	1 16	1 30	14	2 32	14	40 81	27 59	27 59	40 81
41	00	11 00	1 21	91	91	1 21	30	1 81	30	31 06	17 84	17 84	31 06
42	00	11 00	1 24	1 05	1 05	1 24	18	2 11	18	33 41	22 21	22 21	33 41
43			45 15	38 67	34 67	32 56	28 33	20 73	13 80	8 61	12 20	8 98	
44			272 87	114 09	129 63	182 31	127 71	101 12	54 08	78 03	82 96	66 24	
45	Напр σ_1	σ_2	417 78	295 24		1 00	Коэффициент устойчивости основания в точке 3					1 72	
46	Точка 4	-----											
47	00	16 00	1 07	31	31	1 07	76	61	76	33 16	16 78	16 78	33 16
48	00	16 00	1 10	72	72	1 10	38	1 44	38	35 38	21 29	21 29	35 38
49	00	16 00	1 18	1 01	1 01	1 18	18	2 01	18	42 43	29 93	29 93	42 43
50	00	16 00	1 07	72	72	1 07	35	1 44	35	33 16	21 29	21 29	33 16
51	00	16 00	1 10	88	88	1 10	22	1 78	22	35 38	25 07	25 07	35 38
52			37 12	33 01	30 96	27 59	24 57	21 81	16 24	11 18	14 18	11 02	
53			244 05	107 09	126 16	170 11	121 81	63 43	36 45	59 29	54 61	46 38	
54	Напр σ_1	σ_2	492 58	385 39		1 12	Коэффициент устойчивости основания в точке 3					1 95	
55	-----												

Анализируя таблицу, устанавливаем, что $\min K_{yB}$ на глубине 11,0 м. Варьируя y_i и ординату начальной точки y_i , можно при 4-5-ти точках в таблице достаточно точно определить величину $\min K_{yB}$ и его положение (в разных сечениях основания), оценить возможность пластических деформаций (при $\min K_{yB} < 1,0$), которые проявляются в смещениях, выпирании грунтов основания, сопровождающимися осадками насыпей. Изменяя входные данные, можно анализировать параметрическую обусловленность стабильности основания насыпи.

В табл. 3.14-2 приведено (фрагментарно) содержимое ячеек в блоке А24 М27, формулы вычисления координатных параметров, напряжений, коэффициента устойчивости K_{yB} .

Задача 3.29. Оценить состояние стабильности основания насыпи, возможность появления пластических деформаций.

Решение. Пользуясь программными средствами, например, программой USTOS (включающей алгоритм задачи 3.28)

Состояние стабильности основания насыпи, возможности проявления пластических деформаций оцениваются величиной коэффициента устойчивости от выпирания грунтов в основании K_{yB} .

В координатном поле основания насыпи, точках регулярной (или нерегулярной) сетки в заданных сечениях x_i и на принятых уровнях по глубине y_i вычисляются K_{yB} . Результаты выдаются на печать в табличной форме с указанием координат точек, величин K_{yB} и значений главных напряжений σ_1 , σ_2 . По этим данным можно построить изолинии K_{yB} , изотоны главных напряжений.

По минимальным значениям K_{yB} можно судить о стабильности основания насыпи. При $K_{yB} < 1,0$ возможно проявление пластических деформаций (в контурах зоны $K_{yB} < 1,0$), выпирание (выпор) грунтов основания насыпи.

Пример. Исходные данные: насыпь $H_H = 18,1$ м, $B_{оп} = 6,0$ м, $B_M = 4,1$ м; характеристики грунта основания (увлажненные суглинки) $f_T = 0,187$; $c_T = 12,5$ кПа.

Коэффициент K_{yB} в основании насыпи определяем с шагом вертикальных сечений по x_i — 10,0 м (до предельного $x_{max} = 50,0$ м), горизонтальных по y_i — 3,0 м.

Результаты прогнозных вычислений представлены в табл. 3.15 с обозначениями x_i , y_i — координаты точек основания насыпи, K_0 — K_{yB} , σ_1 , σ_2 — главные напряжения.

Анализируя, устанавливаем, что минимальное значение $K_{yB} = 1,042$ в осевом сечении на глубине 12,5 м — глобальный минимум. У подошвы откоса $K_{yB} = 1,119$ (координаты 30,0, 9,50 м) — локальные минимумы.

Поскольку $\min K_{yB} > 1,0$, устойчивость основания обеспечивается, однако уровень стабильности насыпи соответствует предельному состоянию ($K_{yB} \approx 1,0$).

Таблица 3.14-2

Содержимое ячеек (A24:M27) программы ЭТ —USTOS

A24	=	K4
B24	=	1
C24	=	ATAN((A24+K10/2+L10)/B24)
D24	=	ATAN((A24+K10/2)/B24)
E24	=	ATAN(ABS((A24-K10/2)/B24))
F24	=	ATAN(ABS((A24-K10/2-L10)/B24))
G24	=	C24-D24
H24	=	D24+E24
I24	=	F24-E24
J24	=	(B24^2+(A24+K10/2+L10)^2)^.5
K24	=	(B24^2+(A24+K10/2)^2)^.5
L24	=	ABS((B24^2+(A24-K10/2)^2)^.5
M24	=	ABS((B24^2+(A24-K10/2-L10)^2)^.5
A25	=	"Точка 1
C25	=	L8*(G20+H20+I20)+(K8/2)*(I20+G20)+A20*(I20-G20)-B20*LN((J20*M20)/(K20*L20))
D25	=	C10*(G21+H21+I21)+(B10/2)*(I21+G21)+A21*(I21-G21)-B21*LN((J21*M21)/(K21*L21))
E25	=	F10*(G22+H22+I22)+(E10/2)*(I22+G22)+A22*(I22-G22)-B22*LN((J22*M22)/(K22*L22))
F25	=	I10*(G23+H23+I23)+(H10/2)*(I23+G23)+A23*(I23-G23)-B23*LN((J23*M23)/(K23*L23))
G25	=	L10*(G24+H24+I24)+(K10/2)*(I24+G24)+A24*(I24-G24)-B24*LN((J24*M24)/(K24*L24))
H25	=	B20*((LN((J20*M20)/(K20*L20)))^2+(I20-G20)^2)^.5
I25	=	B21*((LN((J21*M21)/(K21*L21)))^2+(I21-G21)^2)^.5
J25	=	B22*((LN((J22*M22)/(K22*L22)))^2+(I22-G22)^2)^.5
K25	=	B23*((LN((J23*M23)/(K23*L23)))^2+(I23-G23)^2)^.5
L25	=	B24*((LN((J24*M24)/(K24*L24)))^2+(I24-G24)^2)^.5
C26	=	(J8+L14)*(C25+H25)/(PI*B8)
D26	=	(A10+L15)*(D25+I25)/(PI*B10)
E26	=	(D10+L16)*(E25+J25)/(PI*F10)
F26	=	(G10+L15)*(F25+K25)/(PI*I10)
G26	=	(J10+L16)*(G25+L25)/(PI*L10)
H26	=	(J8+L14)*(C25-H25)/(PI*L8)
I26	=	(A10+L15)*(D25-I25)/(PI*B10)
J26	=	(D10+L16)*(E25-J25)/(PI*F10)
K26	=	(G10+L15)*(F25-K25)/(PI*I10)
L26	=	(J10+L16)*(G25-L25)/(PI*L10)
B27	=	"Нап
C27	=	C26+D26+E26-F26-G26+K6*B20
D27	=	H26+I26+J26-K26-L26+K6*B20
F27	=	(C27*M8+M6)/(C27-D27)
H27	=	"Коэффициент устойчивости основания в точке 1 _
M27	=	2*((F27*(F27-M8))^.5)

Таблица 3.15

Расчетные параметры стабильности основания насыпи

Коэффициенты стабильности основания, главные напряжения				
x_i , м	y_i , м	K_0	σ_1 , кПа	σ_2 , кПа
0.00	0.50	10.978	368.292	353.719
	3.50	1.802	421.675	330.243
	6.50	1.218	467.369	326.574
	9.50	1.069	508.909	339.717
	12.50	1.042	549.274	364.303
	15.50	1.068	589.808	396.699
	18.50	1.126	631.047	434.622
10.00	0.50	9.159	305.807	290.898
	3.50	1.735	371.199	286.407
	6.50	1.234	426.063	297.642
	9.50	1.100	475.718	319.905
	12.50	1.073	522.748	350.005
	15.50	1.099	568.468	385.930
	18.50	1.156	613.660	426.277
20.00	0.50	4.401	187.055	183.193
	3.50	2.137	270.469	216.370
	6.50	1.369	342.887	245.176
	9.50	1.180	407.011	278.744
	12.50	1.141	465.429	317.249
	15.50	1.167	520.120	359.759
	18.50	1.229	572.476	405.342
30.00	0.50	6.562	127.167	116.420
	3.50	1.442	207.793	145.192
	6.50	1.152	279.574	183.895
	9.50	1.119	345.541	228.830
	12.50	1.161	407.579	277.366
	15.50	1.237	466.818	328.060
	18.50	1.336	524.026	380.126
40.00	0.50	2.896	33.097	20.998
	3.50	1.163	129.730	75.882
	6.50	1.155	209.642	133.441
	9.50	1.232	281.835	190.814
	12.50	1.335	349.276	247.896
	15.50	1.453	413.462	304.727
	18.50	1.582	475.286	361.364
50.00	0.50	8.469	12.918	9.473
	3.50	2.309	89.806	66.408
	6.50	1.927	164.382	123.641
	9.50	1.868	235.964	181.102
	12.50	1.907	304.695	238.626
	15.50	1.991	370.979	296.101
	18.50	2.101	435.234	353.472

Раздел 4

РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

4.1. Общие положения

В обеспечении стабильности земляного полотна определяющей является конструкция объектов, которые по своей структуре и размерным параметрам должны обеспечивать долговременную надежность земляного полотна для безопасного движения поездов. При этом конструкции ОЗП должны удовлетворять техническим требованиям, технологическим, экономическим, экологическим условиям*. Для этого структура ОЗП должна быть гибкой, конструкция адаптивной к природной среде, параметры оптимальными. Ширина ОП приведена в прил. 1.2, крутизна откосов ОЗП типовых конструкций — в прил. 4.2, 4.3.

При проектировании ОЗП выполняются сложные расчеты по определению плотности грунтов, устойчивости от смещений, от возможных пластических деформаций (рис. 4.1). Решаются многопараметрические, многокритериальные оптимизационные задачи, вида

$$K(x) \rightarrow \text{extr} \rightarrow K_0$$

$$\Omega: \begin{cases} \varphi_i(R_n, R_u, S_{ГС}) < 0; i \in i, p; x \in \Omega \\ \varphi_j(R_n, R_u, S_{ГС}) > 0; j \in i, q; \end{cases}$$

где Ω — множество значений переменных x с учетом ограничений, заданных функциями $\varphi_i(x)$, $\varphi_j(x)$;

R_n, R_u — размерные параметры нормативные, управляемые.

* СНиП 32.01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. Минстрой Р. Ф. М., 1995. — 20 с.

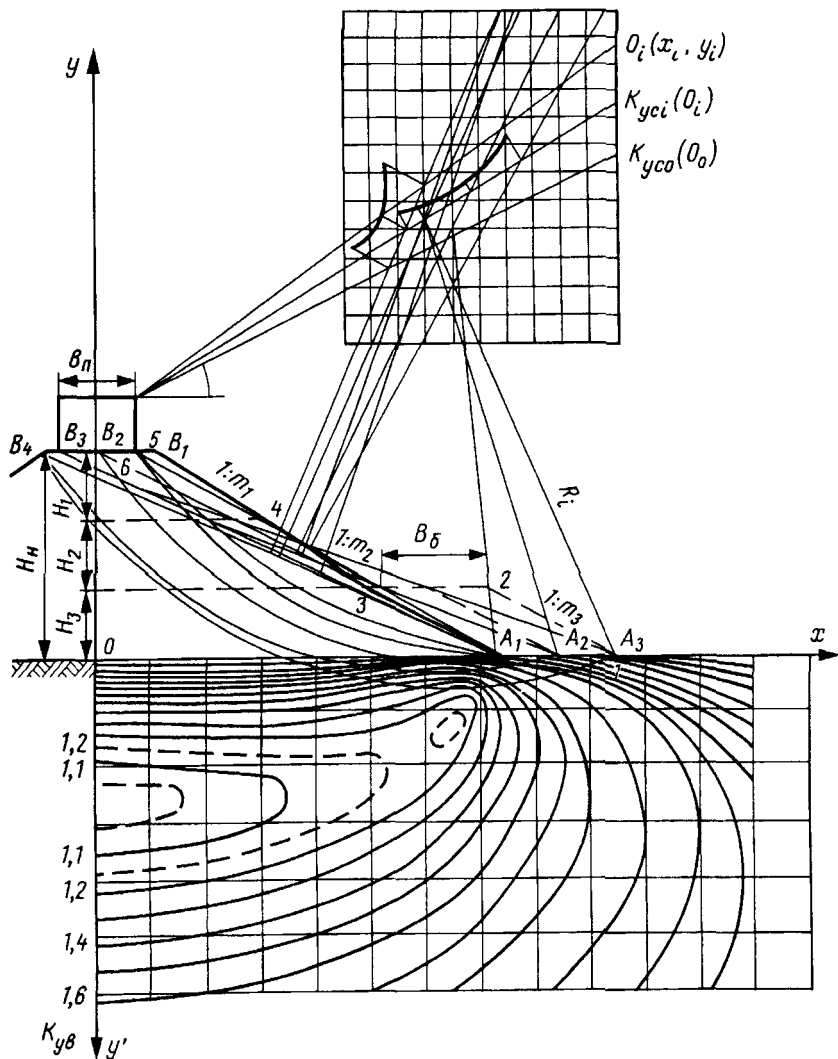


Рис 4 1 Схема параметрического анализа устойчивости насыпи

ОЗП, преимущественно из глинистых грунтов, песчаных, проектируются по типовым проектам, при $H_{н,в} > 12,0$ м индивидуально с использованием графо-аналитических методов, табличных форм и вычислениями на микрокалькуляторах, в том числе программных. Такие расчеты дают однозначные (разовые) результаты. Для решений с вариантным повторением рационально использовать ЭТ. Решение многовариантных оптимизационных задач при

проектировании ОЗП эффективно с использованием программного обеспечения, которое позволяет выполнять на ПК параметрическую оптимизацию на нескольких уровнях по нескольким критериям качества [1, 14, 77].

В настоящем разделе рассматриваются задачи с примерами от элементарных решений до автоматизированного проектирования объектов с использованием алгоритмов итеративной оптимизации. По напряженному состоянию определяются необходимые прочность ОП, плотности грунтов, осадки, устойчивость оснований насыпей, подбалластных зон выемок. Определение осадок в осевом сечении и бровочном позволяет запроектировать насыпь по осадкам: с запасом на осадку или уширением основной площадки (для последующей подъёмки на балласт) [121, 124].

Поперечные профили ОЗП проектируются по условиям устойчивости от смещения. Коэффициент K_{yc} является критерием устойчивости, исходя из условия [84]:

$$K_{yc} = R/T > y_n y_f / y_c; \quad 1,05 < K_{yc} < 1,1 y_n y_f / y_c,$$

где R — расчетное значение обобщенной силы предельного сопротивления сдвигу; y_n , y_f , y_c — коэффициенты надежности (ответственности сооружения), сочетания нагрузок, условий работы.

Значения коэффициентов: y_n для скоростных, особо грузонапряженных дорог 1,25, для I—II категории 1,20, III — 1,15, IV — 1,10; $y_f = 1,0$ для основного, 0,95 — строительного периода; $y_c = 1,0$ для методов расчета, удовлетворяющих условиям равновесия, 0,95 для упрощенных, 1,0 при расчетах на ПК.

Учитываются влияние существенных факторов, определяющих напряженное состояние и деформации, анизотропность грунтов, случайный характер влияния природных факторов, статистическая неоднородность конструкции. Сложные расчеты устойчивости оснований насыпей от пластических деформаций, выпирания (выпора), выполняются на оптимизационных принципах, пользуясь ПК.

При расчетах по несущей способности расчетная нагрузка

$$F < y_c F_u / y_n,$$

где F_u — сила предельного сопротивления; y_c — коэффициент условий работы: 1,0 для песков, 0,9 для пылеватых глинистых грунтов. Сила предельного сопротивления основания сдвигу определяется по предельному состоянию.

Структура ОЗП должна предусматривать противодеформационные подушки, защитные слои, армирование в подбалластной зоне, устройство берменных частей (контрбанкетов) у насыпей и усиление их оснований, уширение закюветных полок и углубление (раскрытие) выемок, что повышает стабильность их подбалластной зоны. Уместно использование выемок в качестве карьеров. Крутизну откосов уширенных выемок можно увеличивать, а на закюветных полках размещать проезжую часть автодороги для нужд

текущего содержания и ремонтов пути. Выемки и насыпи могут иметь несимметричную форму. Кавальеры выемок могут рассчитываться по условиям устойчивости и как улавливающие сооружения для нагорной стороны.

Комплексность и гибкость структуры ОЗП соответственно региональным условиям ПКС и параметрическая оптимизация — неперменные условия экономичности конструкций, стабильности земляного полотна.

4.2. Расчеты необходимой плотности грунтов насыпей

Задача 4.1. Определить принципы расчетов необходимой плотности грунтов насыпей для предупреждения осадок.

Принципы определения. При проектировании и возведении насыпей для предупреждения остаточных деформаций уплотнения определяется необходимая (нормативная) плотность грунта ρ_d^H , которая обеспечивает работу грунтов насыпи в упругой стадии.

Нормативная плотность ρ_d^H определяется

1) по максимальной плотности грунта ρ_{dmax} (при оптимальной влажности $W_{оп}$) на основании данных стандартного уплотнения грунта (ГОСТ 22733-77) (см. раздел 2.2)

$$\rho_d^H = K_y \rho_{dmax},$$

где K_y — коэффициент уплотнения, принимается согласно СН (прил. 4.1);

2) аналитически, как функция напряженного состояния грунтов насыпи $\rho_d^H = f(\sigma_0)$, где σ_0 — суммарные напряжения от нагрузок $p_n, p_{вс}, p_\gamma$,

по формуле

$$\rho_d = \rho_s / (1 + e_0).$$

Требуемый коэффициент пористости (показатель напряженного состояния грунтов насыпи в упругой стадии)

$$e_0 = e_{сн} - K_e(\Delta e_c - \Delta e_0),$$

где K_e — коэффициент многократности, продолжительности и способа приложения временной нагрузки; $K_e = 1, 10 \dots 1,65$; меньшие значения для супесей, большие для тяжелых суглинков; величина K_e может уменьшаться с глубиной.

Значения $e_{сн}, \Delta e_c$ определяются по компрессионным кривым при величинах напряжений статических $\sigma_c = \sigma_{вс} + \sigma_\gamma$;

Δe_0 — при величинах полных напряжений $\sigma_0 = \sigma_c + \sigma_n$.

Напряжения в грунтах насыпи определяются методами, рассмотренными в разделе 1. Недостающие значения удельного веса γ_i при определении σ_γ принимаются средне или определяются итеративным подбором, с принятой погрешностью, например, $0,05 \text{ кН/м}^3$ (для ПК $0,01 \text{ кН/м}^3$ и менее).

$$\gamma_\Gamma = \rho_\Gamma g; \rho_\Gamma = \rho_d(1 + W_\Gamma) = [\rho_s / (1 + e_0)](1 + W_\Gamma) = \rho_s / (1 + e_0) + \rho_d W_\Gamma.$$

Задача 4.2. Определить необходимую плотность глинистого грунта ρ_d^H насыпи, выемки (в подбалластной зоне).

Исходные данные: плотность частиц грунта ρ_s , влажность на пределе раскатывания W_p , объемное содержание воздуха $V_{вз}$.

Решение. Необходимая плотность грунта определяется по формуле $\rho_d^H = K_y \rho_{dmax}$, максимальная плотность грунта приближенно по формуле

$$\rho_{dmax} = \rho_s G_B / (\rho_B G_B + \rho_s W_{оп}),$$

где ρ_B — плотность воды, $\rho_B = 0,98 \text{ т/м}^3 \approx 1,0 \text{ т/м}^3$;

G_B — коэффициент водонасыщения, $G_B = 1 - V_{вз}$.

Здесь $V_{вз}$ — удельное содержание заземленного воздуха в грунте.

Оптимальную влажность можно принимать для суглинистых грунтов на 1-2 %, для глинистых на 2-3 % ниже влажности W_p ; плотность ρ_s для супесей 2,66 т/м³, для суглинков 2,70 т/м³ для глин — 2,74 т/м³; содержание воздуха в порах грунта примерно в супесях 5%, в суглинках и глинах 3-4%.

Пример. Известно: насыпь второго пути на линии I категории; грунт глинистый: $\rho_s = 2,74 \text{ г/см}^3$, $W_p = 24\%$, $V_{вз} = 4\%$.

Решение. Влажность оптимальная $W_{оп} = 24 - 0,02 \cdot 24 = 23,52\%$;

коэффициент водонасыщения $G_B = 1,0 - 0,01 \cdot 4 = 0,96$;

плотность $\rho_{dmax} = 2,74 \cdot 0,96 / (1,0 \cdot 0,96 + 2,74 \cdot 0,2352) = 1,64 \text{ г/см}^3 \text{ (т/м}^3\text{)}$.

Коэффициент уплотнения $K_y = 0,95$ (прил. 4.1).

Тогда необходимая плотность грунта $\rho_d^H = 0,95 \cdot 1,64 = 1,56 \text{ г/см}^3$.

Задача 4.3. Определить необходимую (требуемую) плотность грунта ρ_d^H по оси насыпи для предупреждения остаточных деформаций уплотнения.

Исходные данные: высота насыпи H_H ; поездная нагрузка (тип локомотива), тип верхнего строения пути; характеристики грунта: удельный вес γ_g , влажность W_g , показатели компрессионных испытаний (e_i и σ_i при уплотнении, разгрузке), показатель многократности приложения нагрузки K_e .

Расчетные данные. Временная поездная нагрузка принимается полосовой прямоугольной, равной перспективной или предельно допустимой от подвижного состава на ОП $p_{п} \leq |p_{п}| = 80 \text{ кПа}$, или рассчитывается (при известном типе локомотива). Нагрузка от верхнего строения принимается в виде полосовой прямоугольной с интенсивностью $p_{вс}$ по типу верхнего строения пути (прил. 1.3).

Расчетная схема. Поперечный профиль (рис. 4.3). Высота насыпи H_H (по продольному профилю), ширина ОП согласно категории дороги (типу верхнего строения пути). На основной площадке полосовые нагрузки: от верхнего строения — $p_{вс}$, $b_{вс}$; от подвижного состава — $p_{п}$, $b_{п}$. Вертикальные сечения (по оси пути, междупутья, по бровке и др.), горизонтальные сечения (толщина слоев h_i), для которых определяются расчетные значения ρ_d (4—6 точек по высоте насыпи H_H , при расчетах на ПК — через 1,0 м).

Компрессионная кривая (рис. 4.2) вычерчивается по данным испытаний грунта (по исходным данным e_i , σ_i для ветвей нагрузки и разгрузки).

Решение. Расчет необходимой плотности грунта насыпи по вертикальным (осевым) сечениям насыпи выполняется последовательно, начиная с точки 0.

В точке 0 ($x_0 = 0,0$; $y_0 = 0,0$) $h_0 = 0,0$ м.

Вычисляются напряжения

$$\sigma_{co} = \sigma_{вco}; \sigma_{oo} = \sigma_{co} + \sigma_{по}.$$

По компрессионной кривой определяются коэффициенты пористости:

$$e_{сно}, e_{ско} \text{ при } \sigma_{co};$$

$$e_{оно}, e_{око} \text{ при } \sigma_{oo};$$

вычисляются $\Delta e_{co} = e_{сно} - e_{ско}$;

$$\Delta e_{oo} = e_{оно} - e_{око};$$

$$e_{oo} = e_{сно} - K_e(\Delta e_{co} - \Delta e_{oo}).$$

Необходимая плотность

$$\rho_d^H = \rho_s / (1 + e_{oo});$$

удельный вес грунта

$$\gamma_{oo} = \rho_{do}(1 + W_r/100)g.$$

В точке 1 ($x_1 = 0,0$ м; y_1) $h_1 = y_1$ м.

Определяются напряжения

$$\sigma_{п1}, \sigma_{вс1}.$$

Принимается

$$\gamma_{o1}' = \gamma_{oo} + 0,1 \dots 0,3 \text{ кН/м}^3, \sigma_{\gamma1} = 0,5(\gamma_{oo} + \gamma_{o1}')h_1$$

Вычисляются статические напряжения $\sigma_{c1} = \sigma_{вс1} + \sigma_{\gamma1}$;

$$\text{полные } \sigma_{o1} = \sigma_{c1} + \sigma_{п1}.$$

По компрессионной кривой (или интерполированием по табличным значениям) определяются: e_n — начальные (по ветви нагрузки), e_k — конечные (по ветви нагрузки) $e_{сн1}, e_{ск1}$ при σ_{c1} ;

$$e_{он1}, e_{ок1} \text{ при } \sigma_{o1}.$$

Вычисляются $\Delta e_{c1} = e_{сн1} - e_{ск1}$; $\Delta e_{o1} = e_{он1} - e_{ок1}$;

$$e_{o1} = e_{сн1} - K_{e1}(\Delta e_{c1} - \Delta e_{o1}).$$

Необходимая плотность $\rho_{d1} = \rho_s / (1 + e_{o1})$;

удельный вес грунта $\gamma_{o1} = \gamma_{d1}(1 + W_r/100)g.$

Должно соблюдаться условие подбора $|\gamma_{o1}' - \gamma_{o1}| \leq 0,05 \text{ кН/м}^3.$

В точке 2 ($x_2 = 0,0$ м; y_2 м) $h_2 = y_2 - y_1$ м.

Определяются напряжения $\sigma_{p2}, \sigma_{вс2}.$

Принимается $\gamma_{o2}' = \gamma_{o1} + 0,1 \dots 0,3 \text{ кН/м}^3.$

Дальнейший расчет выполняется в последовательности, изложенной для точки 1 до соблюдения условия $|\gamma_{o2}' - \gamma_{o2}| \leq 0,05 \text{ кН/м}^3.$

Если условие не соблюдается, следует выполнить перерасчет, приняв за исходные величины γ_{o2} и $\sigma_{\gamma2} = \sigma_{\gamma1} + 0,5(\gamma_{o1} + \gamma_{o2})h_2.$

Для удобства вычислений и контроля результатов расчеты целесообразно вести в табличной форме.

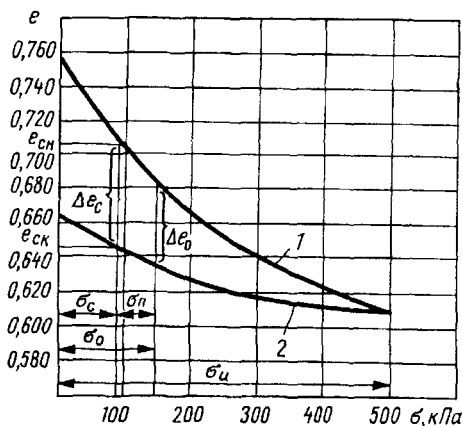


Рис. 4 2. Компрессионная кривая грунта насыпи $e = f(\sigma)$ 1 — ветвь нагрузки, 2 — ветвь разгрузки

По итогам расчетов следует построить эпюры напряжений σ_{Π} , $\sigma_{\text{вс}}$, σ_{γ} , σ_0 , ρ_d , γ_0 , дать оценку полученным результатам.

Средние значения расчетных величин

$$\rho_{d\text{ср}} = \frac{\sum \rho_{di}}{n}; \quad \gamma_{\text{оср}} = \frac{\sum \gamma_{oi}}{n}.$$

Пример. Дано: $H_{\text{н}} = 16,0$ м, участок однопутный; верхнее строение легкого типа (рельсы Р 50, шпалы деревянные, балласт щебеночный), грунт глинистый; $\rho_s = 2,68$ т/м³; $W_r = 21\%$; $\max p_{\Pi} = |p_{\Pi}| = 80,0$ кПа; $b_{\Pi} = 2,75$ м; $p_{\text{вс}} = 15,0$ кПа; $b_{\text{вс}} = 4,3$ м; K_e примем от 1,65 для верхней точки до 1,25 для нижней

Расчетная схема на рис. 4.3; компрессионная кривая на рис. 4.2 по данным табл. 4.1.

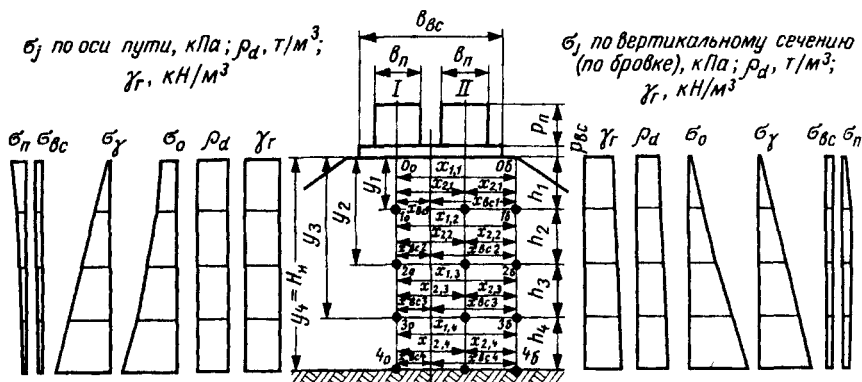


Рис. 4.3 Расчетная схема для определения ρ_d грунта насыпи однопутного участка

Таблица 4.1

Компрессионные параметры грунта насыпи

Ветви	e_i при σ_i , кПа					
	0	100	200	300	400	500
Нагрузки	0,758	0,702	0,665	0,642	0,624	0,608
Разгрузки	0,668	0,644	0,627	0,618	0,618	0,608

Решение. В точке 0 ($x_0 = 0,0$ м, $y_0 = 0,0$ м) $h_0 = 0,0$ м.

Для определения напряжений находим I_{oi} (в соответствии с координатным положением точки)

$$I_{\text{по}} = f(0,0/2,75; 0,0/2,75) = f(0, 0) = 1,00 \text{ (прил. 1.4);}$$

тогда $\sigma_{\text{по}} = 80 \cdot 1,00 = 80$ кПа.

$$I_{\text{всо}} = f(0,0/4,3; 0,0/4,3) = f(0, 0) = 1,00 \text{ (прил. 1.4);}$$

тогда $\sigma_{\text{всо}} = 15$ кПа; $\sigma_{\text{оо}} = 15 + 80 = 95$ кПа.

По компрессионной кривой (рис. 4.2) находим

при $\sigma_{\text{со}}$ $e_{\text{сно}} = 0,747$; $e_{\text{ско}} = 0,663$;

при $\sigma_{\text{оо}}$ $e_{\text{оно}} = 0,703$; $e_{\text{око}} = 0,645$

Вычисляем: $\Delta e_{co} = 0,747 - 0,663 = 0,084$; $\Delta e_{oo} = 0,703 - 0,645 = 0,058$;

коэффициент пористости $e_{oo} = 0,747 - 1,65(0,084 - 0,058) = 0,704$.

Необходимая плотность $\rho_{do} = 2,68/(1 + 0,704) = 1,572 \text{ т/м}^3$.

Удельный вес грунта $\gamma_{oo} = 1,572(1 + 0,21)9,81 = 18,66 \text{ кН/м}^3$.

В точке 1 ($x_1 = 0,0 \text{ м}$, $y_1 = 4,0 \text{ м}$) $h_1 = 4,0 \text{ м}$.

$$I_{п1} = f(0,0/2,75; 4,0/2,75) = f(0,00; 1,45) = 0,411 \text{ (прил. 1.4);}$$

$$\sigma_{п1} = 80 \cdot 0,411 = 32,88 \text{ кПа.}$$

$$I_{вс1} = f(0,0/4,3; 4,0/4,3) = f(0,00; 0,93) = 0,602 \text{ (прил. 1.4);}$$

$$\sigma_{вс1} = 15 \cdot 0,602 = 9,03 \text{ кПа.}$$

Принимаем $\gamma_{o1}' = 18,66 + 0,20 = 18,86 \text{ кН/м}^3$;

тогда $\sigma_{\gamma1} = 0,5(18,66 + 18,86)4,0 = 75,04 \text{ кПа}$.

Вычисляем $\sigma_{с1} = 9,03 + 75,04 = 84,04 \text{ кПа}$;

полные $\sigma_{o1} = 84,04 + 32,88 = 116,92 \text{ кПа}$.

По компрессионной кривой (рис. 4.2) находим

при $\sigma_{с1}$ $e_{сн1} = 0,707$; $e_{ск1} \approx 0,647$;

при σ_{o1} $e_{он1} = 0,692$; $e_{ок1} = 0,640$.

Вычисляем: $\Delta e_{с1} = 0,707 - 0,647 = 0,060$; $\Delta e_{o1} = 0,692 - 0,640 = 0,052$;

$$e_{o1} = 0,707 - 1,45(0,060 - 0,052) = 0,695.$$

Необходимая плотность $\rho_{d1} = 2,68/(1 + 0,695) = 1,581 \text{ т/м}^3$

Удельный вес грунта $\gamma_{o1} = 1,581 \cdot 1,21 \cdot 9,81 = 18,77 \text{ кН/м}^3$;

$|\gamma_{o1}' - \gamma_{o1}| = |18,86 - 18,77| = 0,09 > 0,05 \text{ кН/м}^3$ — условие подбора γ_1 не обеспечено.

Производим перерасчет, приняв $\gamma_{o1}'' = 18,77 \text{ кН/м}^3$.

Тогда $\sigma_{\gamma1}' = 0,5(18,66 + 18,77)4,0 = 74,86 \text{ кПа}$;

$$\sigma_{с1}' = 9,03 + 74,86 = 83,89 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{o1}' = 83,89 + 32,88 = 116,97 \text{ кПа.}$$

$e_{сн1}' = 0,706$; $e_{ск1}' = 0,647$; $e_{он1}' = 0,692$; $e_{ок1}' = 0,640$.

$\Delta e_{с1}' = 0,706 - 0,647 = 0,059$; $\Delta e_{o1}' = 0,692 - 0,640 = 0,052$;

$e_{o1}' = 0,706 - 1,45(0,059 - 0,052) = 0,696$.

$$\rho_{d1}' = 2,68/(1 + 0,696) = 1,580 \text{ т/м}^3.$$

$$\gamma_{o1}'' = 1,580 \cdot 1,21 \cdot 9,81 = 18,75 \text{ кН/м}^3;$$

Проверка $|\gamma_{o1}'' - \gamma_{o1}| \approx |18,77 - 18,75| = 0,02 < 0,05 \text{ кН/м}^3$ — условие подбора γ_1 обеспечивается.

В точке 2 ($x_2 = 0,0 \text{ м}$, $y_2 = 8,0 \text{ м}$) $h_2 = 8,0 - 4,0 = 4,0 \text{ м}$.

$$I_{п2} = f(0,0/2,75; 8,0/2,75) = f(0,00; 2,91);$$

линейно интерполируя, вычисляем (прил.1.4)

$$I_{п2} = 0,242 - [(0,242 - 0,210)/(3,00 - 2,50)](2,91 - 2,50) = 0,216.$$

$$I_{вс2} = f(0,0/4,3; 8,0/4,3) = f(0,00; 1,86);$$

линейно интерполируя, вычисляем (прил.1.4)

$$I_{вс2} = 0,397 - [(0,397 - 0,306)/(2,00 - 1,50)](1,86 - 1,50) = 0,331.$$

$$\sigma_{п2} = 0,216 \cdot 80 = 17,28 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{вс2} = 0,331 \cdot 15 = 4,97 \text{ кПа.}$$

Принимаем удельный вес $\gamma_{o2}' = 18,75 + 0,20 = 18,95 \text{ кН/м}^3$;

тогда $\sigma_{\gamma_2} = 74,86 + 0,5(18,75 + 18,95)4,0 = 150,26 \text{ кПа}$;

$\sigma_{c2} = 150,26 + 4,97 = 155,23 \text{ кПа}$; $\sigma_{o2} = 155,23 + 17,28 = 172,51 \text{ кПа}$.

По компрессионной кривой (рис. 4.2) находим

при σ_{c2} $e_{сн2} = 0,683$; $e_{ск2} = 0,634$;

при σ_{o2} $e_{он2} = 0,673$; $e_{ок2} = 0,631$.

Вычисляем: $\Delta e_{c2} = 0,683 - 0,634 = 0,049$; $\Delta e_{o2} = 0,673 - 0,631 = 0,042$;

$e_{o2} = 0,683 - 1,345(0,049 - 0,042) = 0,674$.

Необходимая плотность $\rho_{d2} = 2,68/(1 + 0,674) = 1,600 \text{ т/м}^3$.

Удельный вес грунта $\gamma_{o2} = 1,600 \cdot 1,21 \cdot 9,81 = 18,99 \text{ кН/м}^3$;

Проверка $|\gamma_{o2}' - \gamma_{o2}| = |18,97 - 18,99| = 0,02 < 0,05 \text{ кН/м}^3$;

Условие подбора γ_i соблюдается.

Полученные результаты заносим в табл. 4.2

Дальнейший расчет для точек 3, 4 выполняем в табличной форме.

Средние значения величин

$e_{\text{ср}} = (0,704 + 0,696 + 0,674 + 0,653 + 0,638)/5 = 0,675$;

$\rho_{\text{ср}} = (1,572 + 1,580 + 1,600 + 1,621 + 1,636)/5 = 1,602$;

$\gamma_{\text{ср}} = (18,66 + 18,75 + 18,99 + 19,24 + 19,42)/5 = 19,01$.

Задача 4.4. Определить необходимую плотность грунта ρ_{dH} по вертикали насыпи на расстоянии $B_{оп}/2$ от оси (по бровке).

Пример. Дано: $H_H = 16,0 \text{ м}$, участок однопутный; верхнее строение легкого типа; грунт глинистый, $\rho_s = 2,68 \text{ т/м}^3$, $W_T = 21\%$, компрессионные характеристики по табл. 4.1; $p_{п} = 80 \text{ кПа}$, $b_{п} = 2,75 \text{ м}$; $p_{вс} = 15 \text{ кПа}$, $b_{вс} = 4,3 \text{ м}$. Расчетная схема на рис. 4.3; компрессионная кривая на рис. 4.2.

Решение. Порядок расчета согласно методике, приведенной в задаче 4.3 Расчет выполняется в табличной форме. Эпюры σ_i , ρ_{di} , γ_i на рис. 4.3.

Задача 4.5. Определить необходимую плотность грунта в горизонтальном уровне однопутной насыпи на расстоянии y (от отм. бровки).

Пример. Дано: $H_H = 16,0 \text{ м}$; $\gamma_s = 26,8 \text{ кН/м}^3$;

$W_T = 21\%$; $p_{п} = 80 \text{ кПа}$, $b_{п} = 2,75 \text{ м}$; $p_{вс} = 15 \text{ кПа}$,

$b_{вс} = 4,3 \text{ м}$.

Расчетная схема на рис. 4.4; компрессионная кривая на рис. 4.2.

Решение. Порядок расчета аналогичен приведенному в задаче 4.3.

В точке 1' ($x_i = 3,0 \text{ м}$; $y_i = 2,0 \text{ м}$) $h_i = 2,0 \text{ м}$.

$I_{п1} = f(3,0/2,75; 2,0/2,75) = 0,126$;

$\sigma_{п1} = 0,126 \cdot 80 = 10,08 \text{ кПа}$;

$I_{вс1} = f(3,0/4,3; 2,0/4,3) = 0,425$;

$\sigma_{вс1} = 0,425 \cdot 15 = 6,38 \text{ кПа}$.

Расчет выполняется в табличной форме.

Эпюры σ_i , ρ_{di} , приведены на рис. 4.4.

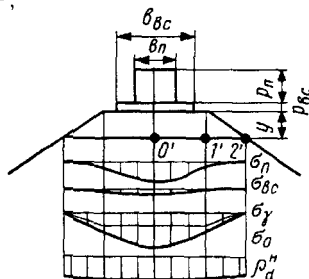


Рис. 4.4. Расчетная схема для определения ρ_d в горизонтальном уровне однопутной насыпи

Таблица 4.2

Параметры плотности грунтов однопутной насыпи по оси пути

Расчетные величины	Значения величин для точек					
	0	1	2	3	4	
$x_i, \text{ м}$	0,00	4,00	8,00	12,00	16,00	
$y_i, \text{ м}$	0,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
$h_i = y_{i+1} - y_i, \text{ м}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
$b_{\text{п}}, \text{ м}$	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	
$y_{\text{п}i}/b_{\text{п}}$	0,00	1,45	2,91	4,36	5,80	
$x_i/b_{\text{п}}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
$I_{\text{п}i} = f(x_i/b_{\text{п}}; y_{\text{п}i}/b_{\text{п}})$	1,00	0,411	0,216	0,149	0,114	
$p_{\text{п}i}, \text{ кПа}$	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	
$\sigma_{\text{п}i} = I_{\text{п}i} \cdot p_{\text{п}i}, \text{ кПа}$	80,0	32,88	17,28	11,92	9,12	
$b_{\text{вс}}, \text{ м}$	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	
$x_i/b_{\text{вс}i}$	0,00	0,93	1,86	2,80	3,72	
$y_{\text{вс}i}/b_{\text{вс}i}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
$I_{\text{вс}} = f(x_i/b_{\text{вс}i}; y_{\text{вс}i}/b_{\text{вс}i})$	1,00	0,602	0,331	0,230	0,174	
$p_{\text{вс}}, \text{ кПа}$	15,00	15,0	15,0	15,0	15,0	
$\sigma_{\text{вс}i} = I_{\text{вс}i} \cdot p_{\text{вс}i}, \text{ кПа}$	15,00	9,03	4,97	3,45	2,61	
$\gamma'_i = \gamma_{i-1}' + (0,1 \dots 0,3), \text{ кН/м}^3$	—	18,77	18,95	19,21	19,46	
$\sigma_{\gamma i} = \sigma_{\gamma i-1} + 0,5(\gamma_{i-1}' + \gamma'_i)h_i, \text{ кПа}$	—	74,86	150,26	226,74	304,14	
$\sigma_{\text{с}i} = \sigma_{\gamma i} + \sigma_{\text{вс}i}, \text{ кПа}$	15,00	83,89	155,23	230,19	306,75	
$\sigma_{\text{о}i} = \sigma_{\text{с}i} + \sigma_{\text{п}i}, \text{ кПа}$	95,00	116,97	172,51	242,11	315,87	
при $\sigma_{\text{с}i}$	$e_{\text{сн}i}$	0,747	0,706	0,683	0,656	0,639
	$\Delta e_{\text{сн}i}$	0,084	0,059	0,049	0,033	0,022
при $\sigma_{\text{о}i}$	$\Delta e_{\text{о}i}$	0,058	0,052	0,042	0,029	0,021
K_e		1,65	1,45	1,35	1,25	1,25
$e_{\text{о}i} = e_{\text{сн}i} - K_e(\Delta e_{\text{сн}i} - \Delta e_{\text{о}i})$		0,704	0,696	0,674	0,653	0,638
$\rho_{\text{д}i} = \rho_s(1 + e_{\text{о}i}), \text{ т/м}^3$		1,572	1,580	1,600	1,621	1,636
$\gamma_i = \rho_{\text{д}i}(1 + W)g, \text{ кН/м}^3$		18,66	18,75	18,99	19,24	19,42
$\gamma'_i - \gamma_i \leq 0,05, \text{ кН/м}^3$		—	0,02	0,02	0,03	0,04

Задача 4.6. Определить необходимую плотность по оси пути двухпутной насыпи.

Пример. Дано: $H_{\text{п}} = 16,0 \text{ м}$; грунт глинистый, $\rho_s = 2,68 \text{ т/м}^3$; $W_{\text{г}} = 21\%$, компрессионные характеристики по табл. 4.1; $p_{\text{п}} = 80 \text{ кПа}$; $b_{\text{п}} = 2,75 \text{ м}$, $p_{\text{вс}} = 15 \text{ кПа}$, $b_{\text{вс}} = 8,7 \text{ м}$.

Расчетная схема на рис. 4.5, компрессионная кривая на рис. 4.2.

Решение. В точке 0 ($x_0 = 0,0 \text{ м}$; $y_0 = 0,0 \text{ м}$) $h_0 = 0,0 \text{ м}$; $x_{\text{п}2i} = B_{\text{м}} = 4,1 \text{ м}$; $x_{\text{вс}i} = 0,5B_{\text{м}} = 2,05 \text{ м}$.

$$I_{\text{п}1,0} = f(x_{1,0}/b_{\text{п}1}; y_{1,0}/b_{\text{п}1}) = f(0,0/2,75; 0,0/2,75) = 1,0; \quad \sigma_{\text{п}1,0} = p_{\text{п}} \cdot I_{\text{п}1,0};$$

$$I_{\text{п}2,0} = f(x_{2,0}/b_{\text{п}2}; y_{2,0}/b_{\text{п}2}) = f(4,1/2,75; 0,0/2,75) = 0,0; \quad \sigma_{\text{п}2,0} = p_{\text{п}} \cdot I_{\text{п}2,0};$$

$$I_{\text{вс}0} = f(x_{\text{вс}0}/b_{\text{вс}}; y_{\text{вс}0}/b_{\text{вс}}) = f(2,05/8,7; 0,0/8,7) = 1,0; \quad \sigma_{\text{вс}0} = p_{\text{вс}} \cdot I_{\text{вс}0};$$

$$\sigma_{\text{п}0} = \sigma_{\text{п}1,0} + \sigma_{\text{п}2,0}; \quad \sigma_{\text{о}0} = \sigma_{\text{п}0} + \sigma_{\text{вс}0}.$$

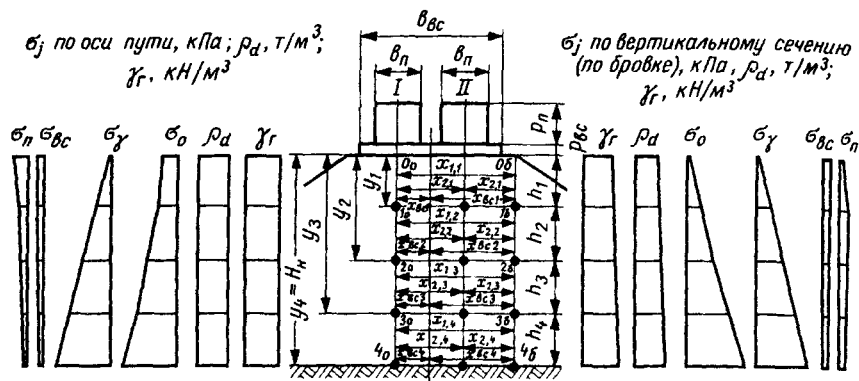


Рис 4.5. Расчетная схема для определения ρ_d по оси и вертикали (бровке) двухпутной насыпи

Дальнейший порядок расчета для всех точек аналогичен рассмотренному в задаче 4.3; полный расчет приведен в табл. 4.3, эпюры σ_i , ρ_{di} , γ_i на рис. 4.5.

Задача 4.7. Определить необходимую плотность грунта по оси двухпутной насыпи.

Исходные данные по условию задачи 4.6.

Расчетная схема на рис. 4.6, компрессионная кривая на рис. 4.2.

Решение. В точке 0 ($x_0 = 0,0$ м; $y_0 = 0,0$ м) $h_0 = 0,0$ м;

$$x_{п1i} = x_{п2i} = 0,5B_M = 2,05 \text{ м}; \quad x_{вс0} = 0,0 \text{ м}.$$

$$I_{п1,0} = I_{п2,0} = f(x_{п1,0}/b_{п}; y_i/b_{п}) = f(2,05/2,75; 0,0/2,75) = 0,02;$$

$$\sigma_{п0} = 2p_{п} \cdot I_{п0};$$

$$I_{вс0} = f(x_{вс0}/b_{вс}; y_{вс0}/b_{вс}) = f(0,00/8,7; 0,0/8,7) = 1,0;$$

$$\sigma_{вс0} = p_{вс} \cdot I_{вс0}; \quad \sigma_{00} = \sigma_{п0} + \sigma_{вс0}.$$

Дальнейший порядок расчета во всех точках аналогичен рассмотренному в задаче 4.3. Эпюры σ_i , ρ_{di} , γ_i приведены на рис. 4.6.

Задача 4.8. Определить необходимую плотность грунта по вертикали двухпутной насыпи на расстоянии $0,5B_{оп}$ от оси.

Пример. Дано: $H_н = 16,0$ м; $B_{оп1} = 7,0$ м; $B_M = 4,1$ м; грунт глинистый, $\rho_s = 2,73$ т/м³, $W_r = 21\%$, компрессионные характеристики по табл. 4.1; $p_{п} = 80$ кПа, $b_{п} = 2,75$ м; $p_{вс} = 15$ кПа, $b_{вс} = 8,7$ м.

Расчетная схема на рис. 4.5 (вертикаль по бровке), компрессионная кривая на рис. 4.2.

Решение. В точке 0 ($y_0 = 0,0$ м) $h_0 = 0,0$ м; $x_{п1i} = 0,5B_{оп1} + B_M$; $x_{п2i} = 0,5B_{оп1}$; $x_{всi} = 0,5(B_{оп1} + B_M)$.

$$x_{п1i} = 7,6 \text{ м}; \quad x_{п2i} = 3,5 \text{ м}; \quad x_{всi} = 5,55 \text{ м};$$

$$I_{п1,0} = f(7,6/2,75; 0,0/2,75) = f(2,76; 0,00) = 0,00; \quad \sigma_{п1,0} = p_{п} \cdot I_{п1,0};$$

$$I_{п2,0} = f(3,5/2,75; 0,0/2,75) = f(1,27; 0,00) = 0,00; \quad \sigma_{п2,0} = p_{п} \cdot I_{п2,0};$$

Таблица 4.3

Параметры плотности грунтов по оси пути двухпутной насыпи

Точки	Наг-руз-ки	Напряжения от поездной нагрузки и верхнего строения пути						Напряжения от собственного веса грунта				Требуемая плотность грунта			
		$x_t, м$	$y_t, м$	$b_j, м$	x_t/b_t	y_t/b_t	I_{jt}	$p_j, кПа$	$\sigma_{пр}, кПа$ $\sigma_{ср}, кПа$	$h_t, м$	$\gamma_t, кН/м^3$	$\sigma_{\gamma_t}, кПа$	$\Delta e_{сг}$ $\Delta e_{ог}$	$e_{сг}$ $e_{ог}$	$\rho_{дл}, т/м^3$ $\gamma_t, кН/м^3$
0	$p_{п1}$	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	1,000	80,0	80,0						
	$p_{п2}$	4,10	0,00	2,75	1,49	0,00	0,000	80,0	80,0						
	$p_{вс}$	2,05	0,00	8,70	0,24	0,00	1,000	15,0	15,0						
	p_{γ} Σp_j														
1	$p_{п1}$	0,00	4,00	2,75	0,00	1,44	0,414	80,0	33,12						
	$p_{п2}$	4,10	4,00	2,75	1,49	1,44	0,109	80,0	8,72						
	$p_{вс}, p_{\gamma}$	2,05	4,00	8,70	0,24	0,46	0,763	15,0	11,45	4,0	18,67	74,68	0,064	0,708	1,585
	Σp_j												0,047	0,680	18,933
2	$p_{п1}$	0,00	8,00	2,75	0,00	2,88	0,218	80,0	17,44						
	$p_{п2}$	4,10	8,00	2,75	1,49	2,88	0,132	80,0	10,56						
	$p_{вс}, p_{\gamma}$	2,05	8,00	8,70	0,24	0,92	0,555	15,0	8,33	4,0	18,93	150,40	0,046	0,681	1,607
	Σp_j												0,038	0,668	19,075
3	$p_{п1}$	0,00	12,00	2,75	0,00	4,32	0,150	80,0	12,00						
	$p_{п2}$	4,10	12,00	2,75	1,49	4,32	0,117	80,0	9,36						
	$p_{вс}, p_{\gamma}$	2,05	12,00	8,70	0,24	1,38	0,417	15,0	6,26	4,0	19,08	226,72	0,033	0,657	1,622
	Σp_j												0,30	0,652	19,253
4	$p_{п1}$	0,00	16,00	2,75	0,00	5,76	0,115	80,0	9,20						
	$p_{п2}$	4,10	16,00	2,75	1,49	5,76	0,102	80,0	8,16						
	$p_{вс}, p_{\gamma}$	2,05	16,00	8,70	0,24	1,84	0,315	15,0	4,73	4,0	19,25	303,72	0,021	0,639	1,638
	Σp_j												0,019	0,636	19,443

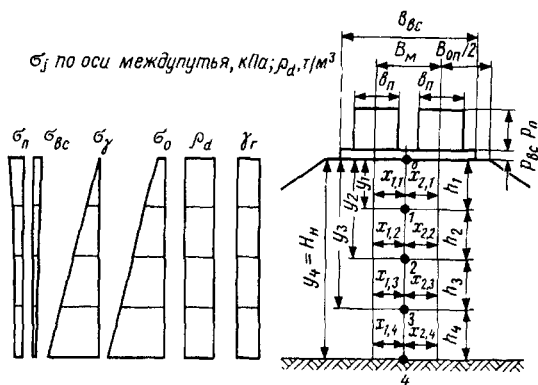


Рис 4.6 Расчетная схема для определения ρ_d по оси двухпутной насыпи

$$I_{вс0} = f(5,55/8,7; 0,0/8,7) = f(0,64; 0,00) = 0,44; \quad \sigma_{вс0} = p_{вс} \cdot I_{вс0};$$

$$\sigma_{п0} = \sigma_{п1,0} + \sigma_{п2,0}.$$

Дальнейший расчет выполняется в соответствии с решениями, приведенными в задачах 4.4 и 4.6. Эпюры σ_i , ρ_{di} , γ_i приведены на рис. 4.5.

Задача 4.9. Определить необходимую плотность грунта однопутной насыпи по вертикали на расстоянии x_i от оси пути.

Пример. Дано: $H_H = 12,0$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; $x_i = 6,0$ м; $\rho_s = 2,66$ т/м³; $W_\Gamma = 18\%$; поездная нагрузка — ТЭ 10; верхнее строение пути среднего типа, шпалы железобетонные.

Расчетная схема на рис. 4.7, компрессионная кривая на рис. 4.2.

Решение. Для ТЭ10 $p = 112$ кН; $b_{п} = 2,70$ м; $p_{п} = 112/2,70 = 41,5$ кПа; $b_{вс} = 4,6$ м; $p_{вс} = 16,0$ кПа; $K_e = 1,65 \dots 1,25$.

Напряжения вычисляем аналитически (см. раздел 1.1.3).

В точке 1 (2,0; 6,0) $h_0 = 0,0$ м.

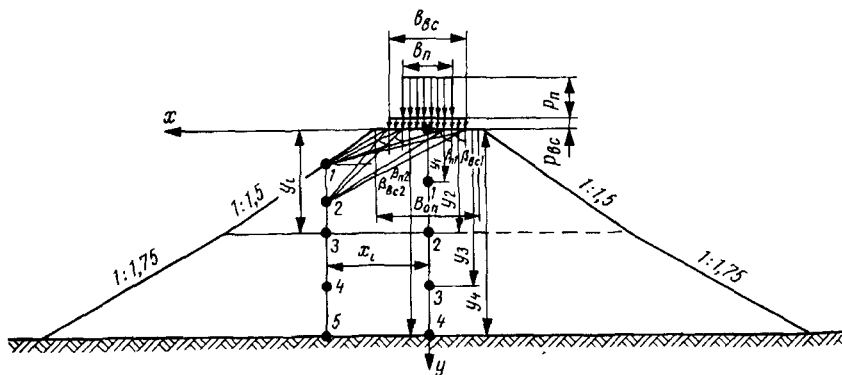


Рис 4.7. Расчетная схема для определения ρ_d грунта в ПП однопутной насыпи

Определяем координатные углы точки 1

$$\beta_{п1,1} = \arctg[(6,0 + 2,70/2)/2] = 1,3051 \text{ рад.},$$

$$\beta_{п2,1} = \arctg[(6,0 - 1,35)/2] = 1,1646 \text{ рад.},$$

тогда $\sigma_{п1} = (41,5/3,14)(1,3051 + 0,5 \cdot 0,5067 - 1,1646 - 0,5 \cdot 0,7259) = 0,41 \text{ кПа};$

$$\beta_{вс1,1} = \arctg[(6,0 + 4,6/2)/2] = 1,3343 \text{ рад.},$$

$$\beta_{вс2,1} = \arctg[(6,0 - 2,3)/2] = 1,0752 \text{ рад.};$$

тогда $\sigma_{вс2} = (16,0/3,14)(1,3343 + 0,5 \cdot 0,4555 - 1,0752 - 0,5 \cdot 0,8367) = 0,34 \text{ кПа};$

$$\sigma_{\gamma 1} = 0,00 \text{ кПа}; \quad \sigma_{с1} = \sigma_{вс1} = 0,34 \text{ кПа}; \quad \sigma_{о1} = 0,75 \text{ кПа}$$

По компрессионной кривой $e_{сн} = 0,758, \Delta e_c = 0,96; \Delta e_o = 0,095,$

$$e_{о1} = e_{сн1} - K_e(\Delta e_{с1} - \Delta e_{о1}) = 0,758 - 1,65(0,096 - 0,095) = 0,756.$$

$$\rho_{d1} = 2,66/(1 + 0,756) = 1,515 \text{ т/м}^3;$$

$$\gamma_1 = \rho_{d1}(1 + W_r/100)g = 1,515(1 + 0,18)9,81 = 17,54 \text{ кН/м}^3.$$

В точке 2 (4,0; 6,0) $h_2 = 4,0 - 2,0 = 2,0 \text{ м};$

$$\beta_{п1,2} = \arctg(7,35/4,0) = 1,0724 \text{ рад.};$$

$$\beta_{п2,2} = \arctg(4,65/4,0) = 0,8604 \text{ рад.},$$

$\sigma_{п2} = (41,5/3,14)(1,0724 + 0,5 \cdot 0,8397 - 0,8604 - 0,5 \cdot 0,9888) = 1,82 \text{ кПа},$

$$\beta_{вс1,2} = \arctg(8,3/4,0) = 1,1217 \text{ рад.};$$

$$\beta_{вс2,2} = \arctg(3,7/4,0) = 0,7465 \text{ рад.};$$

$\sigma_{вс2} = (16,0/3,14)(1,1217 + 0,5 \cdot 0,7822 - 0,7465 - 0,5 \cdot 0,9970) = 1,37 \text{ кПа};$

$$\gamma_2' = 17,74 \text{ кН/м}^3, \quad \sigma_{\gamma 2} = 35,48 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{с2} = \sigma_{вс2} + \sigma_{\gamma 2} = 1,37 + 35,48 = 36,85 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{о2} = \sigma_{с2} + \sigma_{п2} = 36,85 + 1,82 = 38,67 \text{ кПа.}$$

По компрессионной кривой

при $\sigma_{с2} = 36,85 \text{ кПа}; \quad e_{сн2} = 0,737; \quad \Delta e_{с2} = 0,737 - 0,656 = 0,081;$

при $\sigma_{о2} = 38,67 \text{ кПа}; \quad \Delta e_{о2} = 0,079;$

$$e_{о2} = 0,737 - 1,45(0,081 - 0,079) = 0,734$$

$$\rho_{d2} = 2,66/(1 + 0,734) = 1,534 \text{ т/м}^3;$$

$$\gamma_2 = \rho_{d2}(1 + W_r/100)g = 1,534(1 + 0,18)9,81 = 17,76 \text{ кН/м}^3.$$

Контрольное условие $|17,74 - 17,76| = 0,02 < 0,05 \text{ кН/м}^3.$

Расчеты для других точек приведены в табличной форме (табл. 4.4).

В практических целях при расчетах ρ_d допустимо принимать величину K_e постоянной, величину получаемого расчетом удельного веса γ_{i1} одинаковой для всего слоя h_i (без подбора γ_i).

Задача 4.10. Определить плотность по оси пути однопутной выемки, требуемую для предупреждения остаточных деформаций.

Пример. Дано: $H_v = 11,8 \text{ м}, B_{оп} = 6,0 \text{ м};$ грунт — суглинок $\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3,$
 $W_r = 25,8\%,$ локомотив ВЛ8; верхнее строение тяжелого типа.

Расчетная схема на рис 4.8. Принимаем $y_0 = 0,0; y_1 = 1,0; y_2 = 3,0; y_3 = 6,0;$
 $y_4 = 10,0 \text{ м}$ (от линии условного основания выемки); Компрессионная кривая на рис. 4.9.

Решение. Напряжения $\Sigma \sigma_{\mu},$ от поездной нагрузки $\sigma_{п},$ верхнего строения и грунтовой призмы $\sigma_{вс+гп}$ — по табл. 1.3 (см. раздел 1.1.3).

Расчет ρ_{di} выполняем последовательно, начиная с точки 0.

Таблица 4.4

Параметры плотности грунта насыпи в вертикальном сечении
(на расстоянии x_i от оси)

Расчетные параметры	Значения параметров для точек				
	1	2	3	4	5
x_i , м	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
y_i , м	2,00	4,00	6,00	9,00	12,00
h_i , м	0,00	2,00	2,00	3,00	3,00
$\beta_{п1i} = \arctg[(x_i + 0,5b_{п})/y_i]$, рад	1,3051	1,0724	0,8862	0,6848	0,5496
$\beta_{п2i} = \arctg[(x_i - 0,5b_{п})/y_i]$, рад	1,1646	0,8604	0,6593	0,4769	0,3697
$\sin 2\beta_{п1i}$	0,5067	0,8397	0,9797	0,9798	0,8908
$\sin 2\beta_{п2i}$	0,7259	0,9888	0,9684	0,8156	0,6738
$p_{пi}$, кПа	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5
$\sigma_{пi}$, кПа	0,41	1,82	3,07	3,83	3,81
$\beta_{вс1i} = \arctg[(x_i + 0,5b_{вс})/y_i]$, рад	1,3343	1,1217	0,9449	0,7450	0,6051
$\beta_{вс2i} = \arctg[(x_i - 0,5b_{вс})/y_i]$, рад	1,0752	0,7465	0,5526	0,3900	0,2991
$\sin 2\beta_{вс1i}$	0,4555	0,7822	0,9495	0,9967	0,9357
$\sin 2\beta_{вс2i}$	0,8367	0,9970	0,8936	0,7033	0,5631
$p_{всi}$, кПа	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
$\sigma_{всi}$, кПа	0,34	1,37	2,14	2,56	2,51
$\gamma'_i = \gamma_{i-1} + (0,2...0,4)$, кН/м ³	—	17,74	17,88	18,24	18,45
$\sigma_{\gamma i}$, кПа	0,00	35,48	71,52	126,56	165,06
$\sigma_{ci} = \sigma_{всi} + \sigma_{\gamma i}$, кПа	0,34	36,85	73,66	129,12	167,57
$\sigma_{oi} = \sigma_{ci} + \sigma_{пi}$, кПа	0,75	38,67	76,73	132,95	171,38
$e_{сni}$ } по σ_c	0,758	0,737	0,718	0,692	0,676
Δe_{ci} }	0,096	0,081	0,066	0,052	0,043
Δe_{oi} по σ_o	0,095	0,079	0,064	0,050	0,041
K_e	1,65	1,45	1,35	1,30	1,25
$e_{oi} = e_{сni} - K_e(\Delta e_{ci} - \Delta e_{oi})$	0,756	0,734	0,718	0,689	0,673
$\rho_{di} = \rho_s/(1 + e_{oi})$, т/м ³	1,515	1,534	1,548	1,575	1,590
$\gamma_i = \rho_{di}(1 + W)g$, кН/м ³	17,54	17,76	17,92	18,23	18,41
$|\gamma'_i - \gamma'_j| \leq 0,05$, кН/м ³	—	0,02	0,04	0,01	0,04

В точке 0 (0,0; 0,0) $h_0 = 0,0$ м; $\Sigma \sigma_j = 0,0$ кПа; $\sigma_{\gamma 0} = 0,0$ кПа;

напряжения от статических нагрузок $\sigma_{c0} = \sigma_{вс+гп} + \Sigma \sigma_{j0} + \sigma_{\gamma 0} = 26,48$ кПа;

поездные $\sigma_{п0} = 52,30$ кПа;

полные $\sigma_{o0} = \sigma_{c0} + \sigma_{п0} = 26,48 + 52,30 = 78,78$ кПа.

По компрессионной кривой (рис. 4.9)

при $\sigma_{c0} = 26,48$ кПа; $e_{сн0} = 0,708$; $\Delta e_{c0} = 0,708 - 0,622 = 0,086$;

при $\sigma_{o0} = 78,78$ кПа; $\Delta e_{o0} = 0,680 - 0,616 = 0,064$;

$e_{o0} = e_{сн0} - K_{e0}(\Delta e_{c0} - \Delta e_{o0}) = 0,708 - 1,65(0,086 - 0,064) = 0,672$.

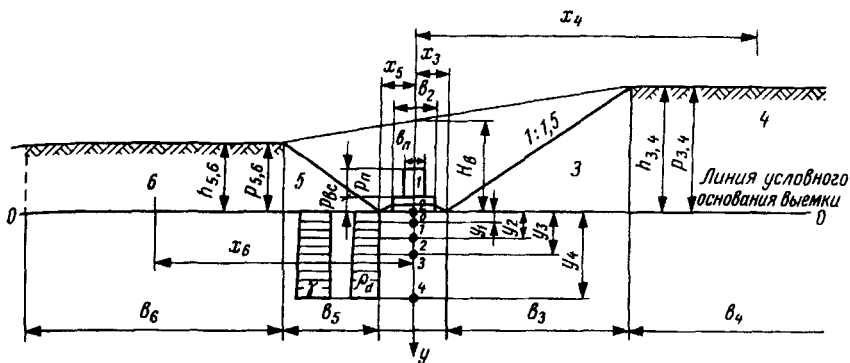


Рис. 4.8. Расчетная схема для определения необходимой плотности грунта выемки

$$\rho_{d0} = 2,72 / (1 + 0,672) = 1,627 \text{ т/м}^3;$$

$$\gamma_0 = \rho_{d0}(1 + W_r/100)g = 1,627(1 + 25,8/100)9,81 = 20,08 \text{ кН/м}^3.$$

В точке 1 (0,0; 1,0) $h_1 = 1,0 \text{ м}$; $\Sigma\sigma_{j1} = 4,24 \text{ кПа}$;

$$\gamma_1 = \gamma_0 + 0,1 = 20,18 \text{ кН/м}^3; \quad \sigma_{\gamma 1} = 20,18 \cdot 1,0 = 20,18 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{c1} = 26,11 + 4,24 + 20,18 = 50,53 \text{ кПа}; \quad \sigma_{п1} = 47,09 \text{ кПа (табл. 4.5)};$$

$$\sigma_{o1} = 50,53 + 47,09 = 97,62 \text{ кПа}.$$

По компрессионной кривой (рис. 4.9)

при $\sigma_{c1} = 50,53 \text{ кПа}$ $e_{сн1} = 0,696$;

$$\Delta e_{c1} = 0,696 - 0,619 = 0,077;$$

при $\sigma_{o1} = 97,62 \text{ кПа}$;

$$\Delta e_{o1} = 0,674 - 0,617 = 0,057;$$

$$e_{o1} = 0,696 - 1,55(0,077 - 0,057) = 0,665.$$

$$\rho_{d1} = 2,72 / (1 + 0,665) = 1,634 \text{ т/м}^3;$$

$$\gamma_1 = 1,634(1 + 25,8/100)9,81 = 20,17 \text{ кН/м}^3.$$

Проверка

$$|\gamma_1 - \gamma_1'| = |20,17 - 20,18| = 0,01 < 0,05 \text{ кН/м}^3.$$

Расчеты для последующих точек выполнены

ны в табличной форме (табл. 4.5). Эпюры ρ_{d1} , γ_i показаны на рис. 4.8.

Требуемая плотность сравнивается с фактической и, в случае необходимости, предусматриваются инженерные мероприятия (уплотнение, усиление, замена грунта в ПБЗ и др.)

Задача 4.11. Рассчитать необходимую плотность грунта по оси двухпутной насыпи.

Решение. Расчет выполняется с использованием ЭТ.

Пример. Расчет необходимой плотности грунта насыпи по программе ЭТ—PLOT. Алгоритм решения — по методике задачи 4.9.

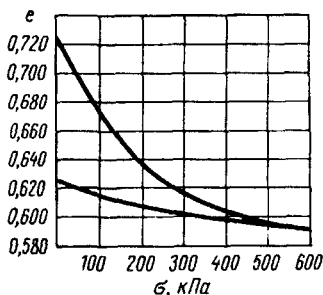


Рис. 4.9. Компрессионная кривая $e=f(\sigma)$

Таблица 4 5

Параметры требуемой плотности грунта в выемке

Расчетные параметры	Значения параметров для точек				
	0	1	2	3	4
x_i , м	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
y_i , м	0,00	1,00	3,00	6,00	10,00
h_i , м	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
σ_{pi} , кПа	52,30	47,09	26,88	14,80	9,41
$\sigma_{вс+гпи}$, кПа	26,48	26,11	21,77	14,30	9,69
$\Sigma\sigma_{ji}$, кПа	0,00	4,24	13,00	26,15	46,72
γ'_i , кН/м ³	—	20,18	20,25	20,40	20,65
$\sigma_{\gamma i}$, кПа	0,00	20,18	60,58	121,49	203,67
σ_{ci} , кПа	26,48	50,53	95,35	161,95	260,08
σ_{oi} , кПа	78,78	97,62	122,23	176,75	269,49
$e_{сni}$	0,708	0,696	0,676	0,650	0,623
$e_{ски}$	0,622	0,619	0,615	0,610	0,605
Δe_{ci}	0,086	0,077	0,061	0,040	0,018
$e_{оni}$	0,680	0,674	0,663	0,642	0,621
$e_{оки}$	0,616	0,617	0,613	0,608	0,604
Δe_{oi}	0,064	0,057	0,50	0,034	0,017
K_e	1,65	1,55	1,40	1,30	1,25
e_{oi}	0,672	0,665	0,661	0,642	0,622
ρ_{di} , т/м ³	1,627	1,634	1,638	1,656	1,677
γ'_i , кН/м ³	20,08	20,17	20,21	20,44	20,70
$|\gamma'_i - \gamma'_l| \leq 0,05$, кН/м ³	0,00	0,01	0,04	0,04	0,05

Коэффициенты пористости вычисляются по уравнениям компрессионной кривой для ветви нагрузки $e_{ni} = A_0 + A_1\sigma_i + A_2\sigma_i^2$,
разгрузки $e_{pi} = B_0 + B_1\sigma_i + B_2\sigma_i^2$

Нормальные (сжимающие) напряжения σ_i в любой i -ой точке насыпи равны сумме напряжений от нагрузок поездной σ_{pi} , верхнего строения пути $\sigma_{вс}$, собственного веса грунта (бытового давления) $\sigma_{\gamma i}$.

$$\sigma_i = \sigma_{pi} + \sigma_{ci}, \quad \sigma_{pi} = \sigma_{p1i} + \sigma_{p2i}, \quad \sigma_{ci} = \sigma_{всi} + \sigma_{\gamma i}$$

Напряжения от полосовой нагрузки (поездной p_p , верхнего строения $p_{вс}$) в любой точке (полупространства) с координатами x_i , y_i вычисляются по формуле

$$\sigma_i = p_i(\beta_1 + 0,5\sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5\sin 2\beta_2)/\pi,$$

напряжения бытового давления $\sigma_{\gamma i} = \gamma_{\Gamma} \cdot y_i$

Структура ЭТ (табл. 4.6-1, Excel-5) Блок исходной информации (в верхней части ЭТ) включает размерные параметры насыпи H_n , $B_{оп}$, B_m , параметры нагрузок интенсивности p_j , ширину b_j , характеристики грунта. ρ_s , W_{Γ} , коэффициенты уравнений компрессионных кривых (ветви нагрузки A_k ,

Таблица 4 6-1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L										
РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА НАСЫПИ																					
Исходные данные $H_n, b_j, \alpha_j, \beta_j$ в м, ρ_j в кПа, ρ_s в т/м ³																					
В нас H_n	Ш оп	$B_{оп}$	Ш мл	$B_{мл}$	Ин пн	ρ_1	Ш пн	b_1	Ин пн	ρ_2	Ш пн	b_2	Ин вс	$\rho_{вс}$	Ш вс	$b_{вс}$	Пл	чст	ρ_s	Вл	W, %
15,6		6,5		4,1		80		2,75		70		2,7		17		4,9			2,64		18
Коэффициенты компрессионных кривых						Сечение x_i , в м =			2,05		Колич		тч =		10,00						
$A_0 = 7,337142$		$A_1 = -0,000626$		$A_2 = 0,0000005$		$B_0 = 6,191428$		$B_1 = -0,00025$		$B_2 = 0,0000002$											
Расчетные параметры углы β_j в рад, напряж σ_j в кПа плотн ρ_d в т/м ³ , уд вес γ_j в кН/м ³																					
Расч $\rho_d/2 =$												5,3									
Координаты сечения м																					
Коорд x_i	Коорд y_i	$\beta_{п1i}$	$\beta_{п2i}$	$\beta_{сн1i}$	$\beta_{сн2i}$	$\beta_{вс1i}$	$\beta_{вс2i}$	$\sigma_{п1i}$	$\sigma_{п2i}$	$\sigma_{вс1i}$	γ_{ni}										
2,05	0,01	1,56	-1,56	1,57	1,57	1,57	-1,55	80,04	0	17,01											
Точки		$\sigma_{\gamma i}$	$\sigma_{сi}$	$e_{снi}$	$-\Delta e_{сi}$	$\sigma_{оi}$	$-\Delta e_{оi}$	$e_{оi}$	ρ_{di}	$\gamma_{оi}$	$\alpha_{\gamma i}$										
1		0	17,01	0,72	0,11	97,05	0,08	0,68	1,57	18,2	0,05										
2,05	1,74	0,67	-0,67	1,28	1,01	1,2	-0,23	58,83	2,08	10,73	18,25										
2		31,57	42,3	0,71	0,1	103,21	0,08	0,68	1,57	18,23	0,02										
2,05	3,28	0,4	-0,4	1,03	0,7	0,94	-0,12	38,38	6,26	8,98	18,33										
3		58,72	88,7	0,69	0,09	113,34	0,08	0,67	1,58	18,29	0,04										
2,05	4,65	0,29	-0,29	0,86	0,53	0,77	-0,09	28,5	8,61	7,8	18,39										
4		84,82	92,62	0,68	0,08	129,73	0,07	0,66	1,59	18,38	0,01										
2,05	6,05	0,22	-0,22	0,73	0,43	0,64	-0,07	22,4	9,52	6,77	18,48										
5		110,62	117,38	0,67	0,08	149,31	0,07	0,65	1,6	18,49	0,01										
2,05	7,6	0,18	-0,18	0,62	0,35	0,53	-0,05	18,05	9,55	5,84	18,59										
6		139,35	145,19	0,65	0,07	172,79	0,06	0,64	1,61	18,61	0,02										
2,05	9,5	0,14	-0,14	0,52	0,28	0,44	-0,04	14,55	9	4,94	18,71										
7		174,8	179,75	0,64	0,06	203,3	0,05	0,63	1,62	18,77	0,04										
2,05	12,6	0,1	-0,11	0,41	0,21	0,34	-0,03	11,03	7,79	3,82	18,87										
8		233,13	237,05	0,61	0,04	255,87	0,04	0,61	1,64	19,01	0,14										
2,05	14,05	0,1	-0,1	0,37	0,19	0,31	-0,03	9,91	7,25	3,56	19,11										
9		260,77	264,33	0,6	0,04	281,5	0,03	0,6	1,65	19,12	0,01										
2,05	15,6	0,09	-0,09	0,34	0,17	0,28	-0,03	8,94	6,73	3,24	19,22										
10		290,49	293,73	0,58	0,03	309,4	0,03	0,59	1,66	19,23	0,01										

разгрузки B_k), параметры управления координаты сечения x_i , количество точек разбиения (по вертикали)

В расчетном блоке (с горизонтальными x_i и вертикальными y_i координатами) для каждой точки в первой строке вычисляются координатные углы β_{ij} от всех полосовых нагрузок и напряжения $\sigma_{пi}$ и $\sigma_{всi}$, во второй строке напряжения от собственного веса грунта $\sigma_{\gamma i}$, статические $\sigma_{сi}$ и полные $\sigma_{оi}$, по которым вычисляются компрессионные параметры $e_i, \Delta e_i$, определяются плотность ρ_d , удельный вес грунта γ_i и погрешность определения $\alpha_{\gamma i}$.

Для повышения точности расчета (уменьшения погрешности) ЭТ допускает итерации, формирование циклов для вычислений с задаваемой погрешностью ЭТ позволяет определять ρ_d по оси пути, междупутья, в других

сечениях. Результаты определения необходимой плотности грунта ρ_d для всех точек сечения — в столбце I, γ_i — в столбце K, погрешность $d\gamma_i$ — в столбце L.

Содержимое ячеек (фрагмент F:H) приведено в табл. 4.6-2 (Excel-5).

Таблица 4.6-2

Содержимое ячеек (F:H) программы ЭТ-PLOT

Ил.пн.p2	Ш.пн.b2	Ил.вс.pвс
70	2,7	17
Сечение x_i , в м= ,0000005	$b_0=$	,6191428
β_{n2z_i} =ATAN((A11+C4/2+G4/2)/B11)	$\beta_{вс1_i}$ =ATAN((A11+I4/2)/B11)	$\beta_{вс2_i}$ =ATAN((A11+I4/2)/B11)
$d\sigma_{с_i}$ =E13-(L6*D13*D13+J6*D13+H6)	$\sigma_{о_i}$ =D13+I11+J11	$d\sigma_{с_i}$ =F6*G13*G13+D6*G13+B6-L6*G13*G13-J6*G13-H6
=ATAN((A15+C4/2-G4/2)/B15) =E16-(L6*D16*D16+J6*D16+H6)	=ATAN((A15+I4/2)/B15) =D16+I15+J15	=ATAN((A15-I4/2)/B15) =F6*G16*G16+D6*G16+B6-L6*G16*G16-J6*G16-H6
=ATAN((A18+C4/2-G4/2)/B18) =E19-(L6*D19*D19+J6*D19+H6)	=ATAN((A18+I4/2)/B18) =D19+I18+J18	=ATAN((A18-I4/2)/B18) =F6*G19*G19+D6*G19+B6-L6*G19*G19-J6*G19-H6
=ATAN((A21+C4/2-G4/2)/B21) =E22-(L6*D22*D22+J6*D22+H6)	=ATAN((A21+I4/2)/B21) =D22+I21+J21	=ATAN((A21-I4/2)/B21) =F6*G22*G22+D6*G22+B6-L6*G22*G22-J6*G22-H6
=ATAN((A24+C4/2-G4/2)/B24) =E25-(L6*D24*D24+J6*D24+H6)	=ATAN((A24+I4/2)/B24) =D25+I24+J24	=ATAN((A24-I4/2)/B24) =F6*G25*G25+D6*G25+B6-L6*G25*G25-J6*G25-H6
=ATAN((A27+C4/2-G4/2)/B27) =E28-(L6*D28*D28+J6*D28+H6)	=ATAN((A27+I4/2)/B27) =D28+I27+J27	=ATAN((A27-I4/2)/B27) =F6*G28*G28+D6*G28+B6-L6*G28*G28-J6*G28-H6
=ATAN((A30+C4/2-G4/2)/B30) =E31-(L6*D31*D31+J6*D31+H6)	=ATAN((A30+I4/2)/B30) =D31+I30+J30	=ATAN((A30-I4/2)/B30) =F6*G31*G31+D6*G31+B6-L6*G31*G31-J6*G31-H6
=ATAN((A33+C4/2-G4/2)/B33) =E34-(L6*D34*D34+J6*D34+H6)	=ATAN((A33+I4/2)/B33) =D34+I33+J33	=ATAN((A33-I4/2)/B33) =F6*G34*G34+D6*G34+B6-L6*G34*G34-J6*G34-H6
=ATAN((A36+C4/2-G4/2)/B36) =E37-(L6*D37*D37+J6*D37+H6)	=ATAN((A36+I4/2)/B36) =D37+I36+J36	=ATAN((A36-I4/2)/B36) =F6*G37*G37+D6*G37+B6-L6*G37*G37-J6*G37-H6
=ATAN((A39+C4/2-G4/2)/B39) =E40-(L6*D40*D40+J6*D40+H6)	=ATAN((A39+I4/2)/B39) =D40+I38+J38	=ATAN((A39-I4/2)/B39) =F6*G40*G40+D6*G40+B6-L6*G40*G40-J6*G40-H6

Задача 4.12. Запроектировать насыпь с плотностью грунта, обеспечивающей ее безосадочность.

Решение. Проектирование насыпи на ПК по программе, которая может использоваться отдельно для определения ρ_d^H , либо при проектировании насыпи в качестве системного модуля.

Алгоритм определения ρ_d^H . В диалоговом режиме в ПК вводятся количество и попарно параметры компрессионных испытаний грунта (p_i, e_i). Аппроксимацией (подпрограмма RPM) определяются коэффициенты уравнения компрессионной кривой:

$$\text{ветви нагрузки } e_{ni} = A_1 + A_2\sigma_i + A_3\sigma_i^2;$$

$$\text{разгрузки } e_{pi} = A_4 + A_5\sigma_i + A_6\sigma_i^2.$$

Устанавливается положение начального $x_i = 0,00$ м и последующих вертикальных сечений, положение первой верхней точки $y_i = 0,01$ м (по осевому сечению). В других сечениях ($x_i \geq 0,5B_{\text{оп}}$)

$$y_i = (H_i - H_j) + (x_i - b_j)/m_j,$$

Определяются в каждой i -й точке напряжения $\sigma_{п1i}$, $\sigma_{п2i}$, $\sigma_{п3i}$ (подпрограмма 2), собственного веса грунта насыпи (при $i > 1$):

$$\sigma_{\gamma i} = \sigma_{\gamma(i-1)} + 0,5h_i(\gamma_{i-1} + \gamma_{пр}),$$

где $\gamma_{пр} = \gamma_{i-1} + (0,01)$ кН/м³.

Расчитываются σ_{ci} , σ_{oi} .

Вычисляются коэффициенты пористости

$$e_{сн} = A_1 + A_2\sigma_{ci} + A_3\sigma_{ci}^2; \Delta e_c = e_{сн} - (A_4 + A_5\sigma_{ci} + A_6\sigma_{ci}^2);$$

$$\Delta e_o = A_1 + A_2\sigma_{oi} + A_3\sigma_{oi}^2 - (A_4 + A_5\sigma_{oi} + A_6\sigma_{oi}^2).$$

Определяются $\rho_{di}^H = \rho_s/(1 + e_i)$ и $\gamma_{\Gamma i} = \rho_{di}^H g(1 + W_{\Gamma})$.

Если $i = 1$, печатаются результаты: σ_{γ} , $\sigma_{п}$, σ_o , ρ_{di}^H , γ_{Γ} . Если $i > 1$, сначала проверяется условие $|\gamma_{\Gamma i} - \gamma_{пр}| < 0,01$ кН/м³, и если оно не соблюдается, то изменяется $\gamma_{пр} = \gamma_{пр} + 0,01$ кН/м³ и производится пересчет, начиная с определения $\sigma_{\gamma i}$. Оптимизация по $\Delta\gamma = |\gamma_{\Gamma i} - \gamma_{пр}|$ выполняется итерационно.

Затем счет переводится на следующие точки:

$$i = i + 1; y_i = y_{i-1} + h_i = h_i; \gamma_{\Gamma i} = \gamma_{\Gamma(i-1)};$$

печатаются результаты для них и средние значения $\gamma_{\Gamma ср}$, $e_{ср}$. счет переводится на последующие сечения $x_i = x_i + \Delta x$.

При $y_i > H_H$

Расчет выполняется в автоматическом режиме, на печать выдаются результаты расчета: x_i , y_i , $\sigma_{\gamma i}$, σ_{pi} , σ_{oi} , ρ_{di} , $\gamma_{\Gamma ср}$, $e_{ср}$ в табличной форме.

Фрагмент результатов расчета ρ_{di}^H для двухпутной насыпи $H_H = 18,1$ м (в нескольких сечениях) приведен в табл. 4.7.

4.3. Расчеты и проектирование объектов по условиям устойчивости от смещения

Задача 4.13. Запроектировать высокую насыпь из глинистых грунтов на надежном основании.

Исходные данные: $H_H \geq 12,0$; $B_{\text{оп}}$; H_1 ; H_3 ; m_j .

Решение. Насыпь проектируется типовых очертаний согласно типовым поперечным профилям [70].

Координаты точек поперечного профиля (рис. 4.1):

$$\begin{aligned} x_6 = 0,0; & \quad y_6 = H_H; & \quad x_5 = B_{\text{оп}}/2; & \quad y_5 = H_H; \\ x_4 = x_5 + m_1 H_1; & & \quad y_4 = H_H - H_1; & \quad H_2 = H_H - H_1 - H_3; \\ x_3 = x_4 + m_2 H_2; & & \quad y_3 = y_4 - H_2 = H_3; & \\ x_2 = x_3 + B_6; & \quad y_2 = y_3 = H_3; & \quad x_1 = x_2 + m_3 H_3; & \quad y_1 = 0,0. \end{aligned}$$

Таблица 4.7

Коэффициенты уравнений компрессионной кривой

ВЕТЬ НАГРУЗКИ	ВЕТЬ РАЗГРУЗКИ
A(1) = 0,77685714	A(4) = 0,65907143
A(2) = -0,00067486	A(5) = -0,00018579
A(3) = 0,00000069	A(6) = 0,00000018

Напряжения в насыпи, необходимая плотность грунта

$x_i, \text{м}$	$y_i, \text{м}$	$\sigma_{\gamma}, \text{кПа}$	$\sigma_{\Pi}, \text{кПа}$	$\sigma_{\text{о}}, \text{кПа}$	$\rho_d, \text{т/м}^3$
0,00	0,01	0,000	0,000	21,000	1,531
	3,01	57,367	46,424	122,647	1,581
	6,01	115,926	36,944	166,994	1,596
	9,01	175,162	27,814	213,623	1,617
	12,01	235,135	21,867	265,398	1,636
	15,01	295,778	17,897	320,561	1,653
	18,01	356,949	15,104	377,872	1,665
Средний удельный вес грунта				19,825 кН/м ³	
Средний коэффициент пористости				0,676	
2,05	0,01	0,000	80,000	101,000	1,582
	3,01	58,399	47,617	123,106	1,581
	6,01	116,948	33,602	163,342	1,595
	9,01	176,151	25,979	212,085	1,617
	12,01	236,130	20,888	265,044	1,637
	15,01	296,774	17,335	320,781	1,653
	18,01	357,950	14,757	378,394	1,665
Средний удельный вес грунта				19,914 кН/м ³	
Средний коэффициент пористости				0,668	
5,05	0,01	0,000	0,000	0,000	1,519
	3,01	56,761	14,472	77,447	1,560
	6,01	114,810	19,208	141,506	1,588
	9,01	173,824	18,514	199,491	1,613
	12,01	233,702	16,703	256,850	1,635
	15,01	294,288	14,826	314,832	1,652
	18,01	355,420	13,161	373,658	1,665
Средний удельный вес грунта				19,742 кН/м ³	
Средний коэффициент пористости				0,684	
14,05	6,00	0,000	1,312	1,833	1,520
	9,00	56,623	2,943	60,721	1,552
	12,00	114,387	4,445	120,566	1,582
Средний удельный вес грунта				19,085 кН/м ³	
Средний коэффициент пористости				0,741	

Пример. Исходные данные: $H_H = 15,3$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; $B_6 = 4,0$ м; $H_1 = 6,0$ м; $H_3 = 5,3$ м; $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; $m_3 = 2,0$.

Координаты точек поперечного профиля:

$x_6 = 0,0$ м;	$y_6 = 15,3$ м;
$x_5 = 6,0/2 = 3,0$ м;	$y_5 = 15,3$ м;
$x_4 = 3,0 + 1,5 \cdot 6,0 = 12,0$ м;	$y_4 = 15,3 - 6,0 = 9,3$ м;
$x_3 = 12,0 + 1,75(15,3 - 6,0 - 5,3) = 19,0$ м;	$y_3 = 9,3 - 4,0 = 5,3$ м;
$x_2 = 19,0 + 4,0 = 21,0$ м;	$y_2 = y_3 = 5,3$ м;
$x_1 = 21,0 + 2,0 \cdot 5,3 = 31,6$ м;	$y_1 = 0,0$.

Задача 4.14. Определить устойчивость насыпи, проектируемой из глинистых грунтов.

Исходные данные: размерные параметры насыпи: H_H , $B_{оп}$, m_i .

Характеристики грунта насыпи: $\gamma_{сн}$, γ_H , W_H , e_H , c_H , Φ_H ;

основания $\gamma_{сос}$, $\gamma_{ос}$, $W_{ос}$, $c_{ос}$, $\Phi_{ос}$; нагрузки $p_{п}$, $b_{п}$, $p_{вс}$, $b_{вс}$.

Расчетная схема: масштабный поперечный профиль насыпи (рис. 4.10).

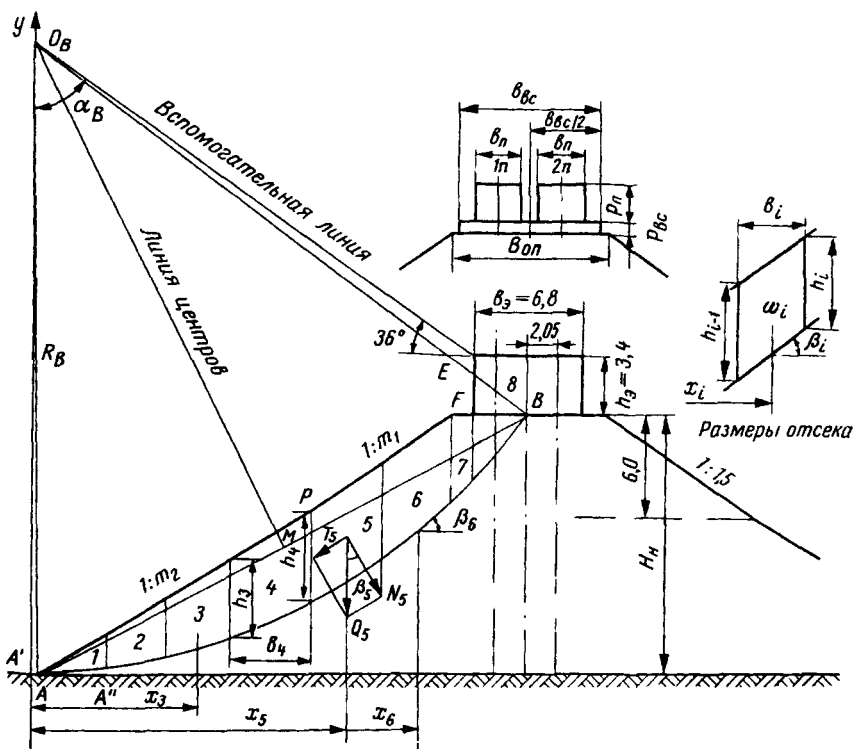


Рис. 4.10. Расчетная схема для определения K_{yc} (по кривой смещения AB)

Нагрузка на ОП заменяется эквивалентным (фиктивным) столбиком грунта высотой h_3 , шириной на однопутном участке $b_{\text{п}}$, на двухпутном ($b_{\text{п}} + B_{\text{м}}$).

Графические построения. Соединяются прямой точка A (в основании откоса) и характерная на ОП насыпи точка B (ось пути, удаленный конец шпалы и др.), через которую возможно смещение, оползание откоса.

В середине прямой (хорды) AB восстанавливается нормаль — линия центров (MO).

Проводится вспомогательная линия из точки E (угловой вершины фиктивного столбика со стороны линии центров или др.) под углом $30\text{—}36^\circ$ к горизонтальной верхней грани фиктивного столбика грунта до пересечения с линией центров в точке O . Из полученного центра O радиусом $R_{\text{в}} = OA = OB$ вычерчивается возможная (круглоцилиндрическая) поверхность смещения массива грунта. Из центра O опускается вертикаль OA' .

Массив смещения грунта разбивается на отсеки (шириной $3\text{—}6$ м) через характерные точки переломов ПП, на границах грунтов насыпи и основания, отсеков сдвигающих сил $T_{\text{сд}}$ и удерживающих $T_{\text{уд}}$ (слева от OA'), на границах фиктивного столбика грунта.

Решение. Устойчивость насыпи при проектировании оценивается коэффициентом устойчивости от смещения $K_{\text{ус}}$, который определяется графоаналитическим способом.

Порядок расчета. Вычисляется h_3 — на однопутном участке (на ширине $b_{\text{п}}$)

$$h_3 = (p_{\text{п}} + p_{\text{вс}} b_{\text{вс}} / b_{\text{п}}) / \gamma_{\text{н}};$$

на двухпутном участке (на ширине $b_{\text{п}} + B_{\text{м}}$)

$$h_3 = 2(p_{\text{п}} b_{\text{п}} + p_{\text{вс}} b_{\text{вс}} / 2) / [(b_{\text{п}} + B_{\text{м}}) \gamma_{\text{н}}].$$

Вычерчивается фиктивный столбик грунта. Выполняются графические построения с делением массива на отсеки по характерным точкам; измеряются (в принятом масштабе) R , x_i — горизонтальные расстояния от вертикали до середины каждого отсека (абсциссы центров тяжести). Определяются $\sin \beta_i = x_i / R$; угол между вертикальным вектором веса отсека Q_i и направлением радиуса R $\beta_i = \arcsin(x_i / R)$; $\cos \beta_i$; центральные углы α_i и $l_i = \pi R \alpha_i / 180^\circ$ (или измеряются отрезки по основаниям отсеков); графически (согласно масштабу) измеряются высоты h_{i-1} , h_i , ширина b_i и вычисляются площади каждого отсека $\omega_i = 0,5(h_{i-1} + h_i) b_i$.

Коэффициент устойчивости определяется по формуле

$$K_{\text{ус}} = [\gamma_{\text{г}} \gamma_{\text{т}} \Sigma \omega_i \cos \beta_i + c_{\text{т}} \Sigma l_i + (\gamma_{\text{г}} \Sigma \omega_i \sin \beta_i)_{\text{уд}}] / (\gamma_{\text{г}} \Sigma \omega_i \sin \beta_i)_{\text{сд}}.$$

Значения слагаемых в формуле определяются в табличной форме. Вычисляются несколько (минимум 3) $K_{\text{ус}i}$ для возможных кривых обрушения, проходящих через точку A (подошву откоса) и точки ОП и возможно за ее пределами. Определяют центр O_i' и R_i' для критической кривой смещения при $K_{\text{уст}i}$ (по графику расчетных значений $K_{\text{ус}i}$). По линии центров, проходящей через O' , дополнительно принимают несколько (минимум 2 центра O_j''); очерчивают радиусами $R_2'' < R_1'' < R_3''$ возможные кривые смещения.

Вычисляют K_{yc} , строят графики расчетных значений K_{ycj} , определяют $K_{мин} = K_{минмин}$. Должно быть $K_{минмин} > K_3$ (при $K_3 \geq 1,2$).

Следует оценивать также устойчивость насыпи и при других положениях точки А, в том числе выше уровня основания.

Пример 1. Определить коэффициент устойчивости насыпи при кривой смещения, проходящей через подошву основания и середину основной площадки.

Дано: насыпь двухпутная, $H_H = 15,0$ м, $B_{оп} = 10,1$ м; $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; $K_3 = 1,2$; характеристики грунта насыпи: $\gamma_H = 19,2$ кН/м³; $\varphi_H = 18^\circ$; $c_H = 32,0$ кПа; нагрузки $p_H = 56,0$ кПа; $b_H = 2,70$ м; $p_{вс} = 16,0$ кПа; $b_{вс} = 8,70$ м.

Расчетная схема на рис. 4.10.

Решение. Вычисляем $b_3 = 2,7 + 4,1 = 6,8$ м;

$$h_3 = 2(56,0 \cdot 2,70 + 16,0 \cdot 4,35) / [(2,7 + 4,1) \cdot 19,2] = 3,4 \text{ м};$$

Выполняем графические построения фиктивного столбика. Из центра O на пересечении нормали к хорде AB и вспомогательной линии BO вычерчиваем круговую кривую возможного смещения AB ; опускаем вертикаль OA' ; измеряем $R_B = 39,5$ м, центральный угол $\alpha_B = 52^\circ$, определяем длину кривой смещения

$$l_{AB} = \pi \cdot 39,5 \cdot 52/180 = 35,83 \text{ м}.$$

Массив смещения разбиваем на отсеки, в том числе через точки перелома на ПП P, F . Измеряем горизонтальные расстояния x_i от OA' до середины каждого отсека $x_{i+1} = x_i + b_i/2 + b_{i+1}/2$.

Определяем $\sin\beta_i = x_i/R$; $\cos\beta_i$ (на электронном калькуляторе), измеряем h_{i-1} , h_i , b_i отсеков, вычисляем площади $\omega_i = 0,5(h_{i-1} + h_i)b_i$; силы $N_i = \gamma_T \omega_i \cos\beta_i$; $T_i = \gamma_T \omega_i \sin\beta_i$.

Все отсеки расположены по одну сторону от OA' , удерживающих сил $T_{iуд}$ нет.

Вычисления расчетных параметров для определения K_{yc} выполняем в табличной форме (табл. 4.8). $f_H = \text{tg}18^\circ = 0,3249$.

Используя расчетные параметры таблицы 4.8, вычисляем

$$K_B = (0,3249 \cdot 19,2 \cdot 121,695 + 32,0 \cdot 35,83) / (19,2 \cdot 66,774) = 1,48 > 1,2.$$

Таблица 4.8

Расчетные параметры для определения K_{yc} по AB ($R_{AB}=39,5$ м)

Расчетные параметры	Значения расчетных параметров по отсека								Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	8	
x_i , м	2,3	6,3	10,3	15,15	20,15	24,50	27,35	29,80	
$\sin\beta_i = x_i/R$	0,0582	0,1595	0,2607	0,3835	0,5101	0,6202	0,6924	0,7544	
$\cos\beta_i$	0,9983	0,9872	0,9872	0,9235	0,8601	0,7844	0,7215	0,6564	
h_{i-1} , м	0,0	2,0	3,8	5,0	6,1	6,2	5,7	7,6	
h_i , м	2,0	3,8	5,0	6,1	6,2	5,7	4,2	3,4	
b_i , м	4,2	3,8	4,2	5,5	4,5	4,2	1,5	3,4	
$\omega_i = 0,5(h_{i-1} + h_i)b_i$; м ²	4,2	11,02	18,48	30,25	27,45	24,99	7,42	18,70	
$\omega_i \cos\beta_i$	4,193	10,879	17,841	27,937	23,610	19,603	5,357	12,275	121,695
$\omega_i \sin\beta_i$	0,244	1,758	4,819	11,602	14,003	15,100	5,141	14,107	66,774

Пример 2. Определить K_{yc} насыпи при кривой смещения, проходящей через подошву основания и точку D (за бровкой).

Дано насыпь двухпутная, $H_H = 15,0$ м; $B_H = 10,1$ м; $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; характеристики грунта насыпи: $\gamma_H = 19,2$ кН/м³; $\varphi_H = 18^\circ$; $c_H = 32,0$ кПа; характеристики грунта основания: $\gamma_{oc} = 20,4$ кН/м³; $\varphi_{oc} = 26^\circ$; $c_{oc} = 26,0$ кПа; нагрузки $p_{II} = 56,0$ кПа; $b_{II} = 2,70$ м; $p_{bc} = 16,0$ кПа; $b_{bc} = 8,70$ м.

Расчетная схема на рис. 4.11.

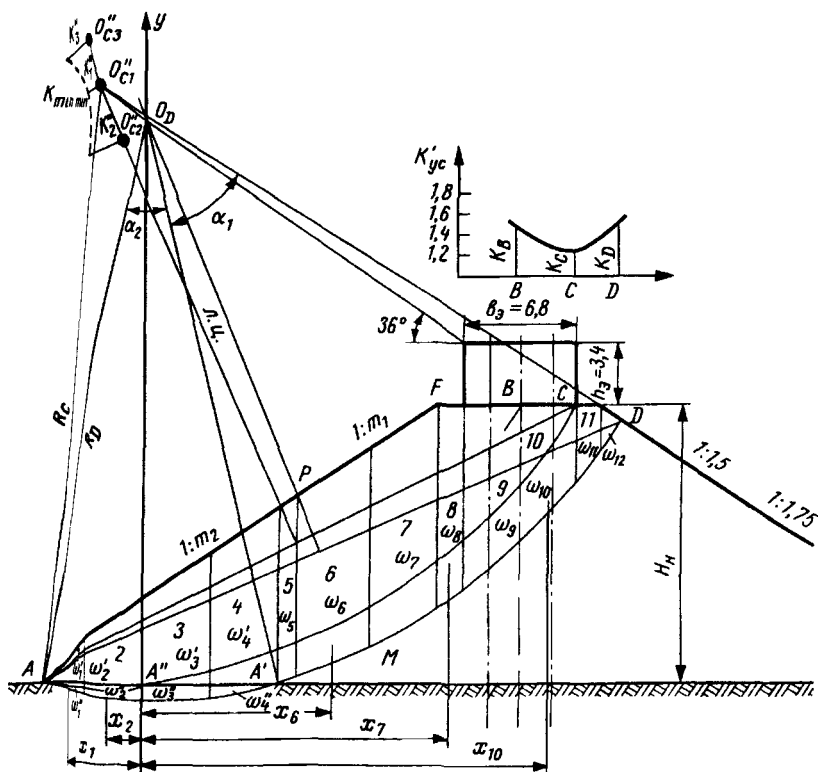


Рис 4.11 Расчетная схема для определения K_{yc} (по кривой смещения AD)

Решение. Вычисляем $h_3 = 3,4$; $b_3 = 6,8$ м;

Выполняем графические построения. Из центра O_D на пересечении нормали к хорде AD и вспомогательной линии, вычерчиваем кривую возможного смещения $AA'D$, опускаем вертикаль $O_D A''$.

Измеряем $R_D = 34,5$ м; углы $\alpha_1 = 41^\circ$, $\alpha_2 = 28^\circ$. Определяем длины дуг в пределах насыпи $l_{AD} = \pi \cdot 34,5 \cdot 41/180 = 24,67$ м;

в пределах основания $l_{AD} = \pi \cdot 34,5 \cdot 281/180 = 16,85$ м;

Массив разбиваем на отсеки, в том числе через точки P , F , вертикальное положение радиуса $O_D A''$.

Измеряем x_i от ODA'' до середины каждого отсека, определяем $\sin\beta_i = x_i/R_D$, $\beta_i = \arcsin(x_i/R_D)$; $\cos\beta_i$;

Измеряем h_{i-1} , h_i , b_i , определяем площади ω_i ; в пределах AA' $\omega_i = \omega_i' + \omega_i''$, где ω_i' — часть площади отсека в пределах насыпи, ω_i'' — то же, в пределах основания насыпи.

В отсеках слева от ODA'' силы $T_{iуд}$ будут удерживающими.

Расчетные параметры для K_{yc} в табл. 4.9. $f_{oc} = \text{tg}26^\circ = 0,4877$;

$$K_{ycD} = (0,3249 \cdot 19,2 \cdot 175,61 + 0,4877 \cdot 1715,7 + 32,0 \cdot 24,67 + 26,0 \cdot 16,85 + 40,6)/(19,2 \cdot 109,90 + 165,9) = 1,41 > 1,2.$$

Пример 3. Определить расчетный коэффициент устойчивости.

Исходные данные — по данным примеров 1 и 2.

Расчетная схема на рис. 4.11.

Решение. Определим K_{yc} при различных поверхностях смещения AB , AC , AD . Известны $K_b = 1,49$ (по решению примера 1), $K_D = 1,41$ (по примеру 2).

Для определения K_c выполним необходимые графические построения. Измеряем $R_c = 36,0$ м; $\alpha_c = 63^\circ$; x_i .

Вычисляем $l_{AC} = \pi \cdot 63/180 = 39,58$ м; $\sin\beta_i = x_i/R_c$.

Расчетные параметры определены в табличной форме:

$$\Sigma\omega_i \cos\beta_i = 191,80; \Sigma\omega_i \sin\beta_{i/cд} = 101,96; \omega_i \sin\beta_{i/уд} = 0,30;$$

$$K_c = (0,3249 \cdot 19,2 \cdot 191,80 + 32,0 \cdot 39,58 + 19,2 \cdot 0,30)/(19,2 \cdot 101,86) = 1,26 > 1,2.$$

Построим график K_{yc}' (рис. 4.11).

Минимальным является K_c . Поскольку через точки A и C возможно провести множество кривых, намечают несколько (минимум три) с центрами O_{c1}'' , O_{c2}'' , O_{c3}'' на линии центров, строят соответствующие кривые возможного смещения, определяют коэффициенты K_{ci}'' . Минимальный $K_{\min\min}$ будет расчетным, он должен быть больше K_3 (рис. 4.11). Если меньше, то проектируют откосы уположенные, с бермами (контрбанкетты).

Задача 4.15. Запроектировать насыпь оптимальных очертаний с равноустойчивыми откосами.

Решение. Равноустойчивыми откосами являются такие, у которых в любой части откоса коэффициент устойчивости равен заданному

$$\min K_{yc} = K_{оуc} = K_3.$$

Коэффициенты устойчивости, минимальные для геометрических очертаний каждой части откоса на поперечном профиле объекта, определяются по методикам, рассмотренным в предыдущих задачах.

Проектирование равноустойчивого откоса производится по частям (сверху вниз). Варьируются размерные параметры: высота каждой части h_j и крутизна ее откоса m_j .

Например, для первой (верхней) части откоса принимаем крутизну m_1 , высоту h_1' . Определяем коэффициент устойчивости K_{o1}' .

Если $K_{o1}' > K_3$, то увеличиваем высоту $h_1'' > h_1'$ и вычисляем коэффициент устойчивости K_{o1}'' .

Если $K_{01} < K_3$, то искомую высоту h_i определяем интерполированием

$$h_1 = h_1' + [(h_1'' - h_1') / (K_{01}' - K_{01}'')] (K_{01}' - K_3).$$

Затем для второй части откоса принимаем m_2 и начальное значение h_2' . Процедура определения h_2 и m_j , h_j последующих (ниже расположенных) частей аналогична рассмотренной для первой части откоса. По высоте H_H $K_{yc} = K_3$.

Равноустойчивые откосы имеют больше крутизну (от 1:0 до 1:0,5; 1:1,0) в верхней части и выполаживание (откоса) к основанию. Некоторым аналогом равноустойчивых откосов могут служить откосы типовых ПП высоких насыпей, очертания которых имеют показатели крутизны m_i в верхней части 1,5, в средней 1,75, в нижней 2,0.

4.4. Проектирование объектов по условиям возможных осадок

Задача 4.16. Определить осадку основной площадки насыпи у мостового перехода и наметить мероприятия по обеспечению проектной отметки пути.

Исходные данные: участок однопутный, высота насыпи H_H , ширина основной площадки $B_{оп}$; величина осадки основания насыпи $S_{ос}$; коэффициент, учитывающий долю реализации осадки насыпи после ее возведения $K_{ос}$; коэффициент погашения осадки основания в теле насыпи $K_{по}$, крутизна откоса балластной призмы $m_б$.

Решение. Определяется осадка основной площадки насыпи $S_{оп}$

$$S_{оп} = K_{ос} S_{ос} - K_{по} H_H.$$

Отсыпка насыпи с запасом на осадку у моста недопустима. Для компенсации осадки и обеспечения проектного положения пути принимается (периодическая) подьемка пути на балласт до расчетной величины осадки ОП насыпи $S_{оп}$. Необходимая величина уширения ОП насыпи для размещения балластного слоя

$$b_{уш} = 2m_б S_{оп}.$$

Коэффициент оседания $K_{од} = S_{оп} / H_H$ является одним из показателей стабильности насыпи.

Пример. Дано: $H_H = 16,1$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; $S_{оп} = 0,51$ м; $K_{ос} = 0,5(50\%)$; $K_{по} = 0,001$; $m_б = 1,5$.

Расчетная схема на рис. 4.12.

Решение. Осадка основной площадки насыпи

$$S_{оп} = 0,5 \cdot 0,512 - 0,001 \cdot 16,1 = 0,239 \approx 0,24 \text{ м.}$$

Величина уширения ОП $b_{уш} = 2 \cdot 1,5 \cdot 0,24 = 0,72$ м.

Полная ширина ОП насыпи $B_{опу} = 6,00 + 0,72 = 6,72$ м.

Коэффициент оседания $K_{од} = 0,24 / 16,1 = 0,015 (1,5\%)$.

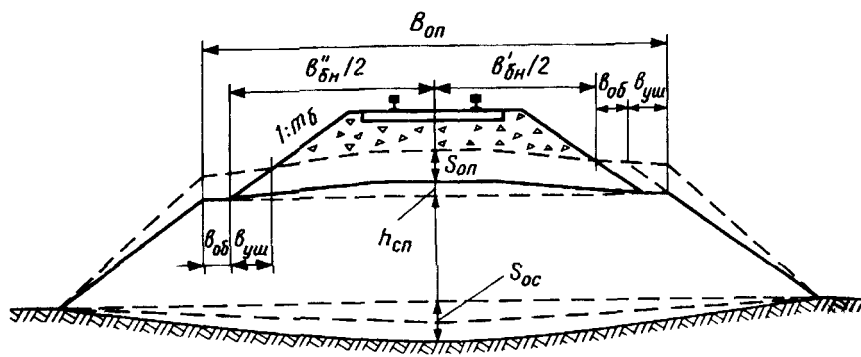


Рис. 4.12. Расчетная схема для определения уширения ОП

Задача 4.17. Определить полный запас на осадку насыпи с учетом возможных осадок в теле насыпи.

Исходные данные: высота насыпи H_H , вид грунта, величина осадки насыпи в период строительства $S_{ос}$, $K_{ос}$, $K_{по}$; плотность грунта: нормативная $\rho_{дн}$, фактическая (по натурным измерениям) $\rho_{дф}$, принятый коэффициент уплотнения K_y .

Решение. Величины осадки основной площадки насыпи — вследствие недоуплотнения грунта

$$S_y = \sum h_i (1 - \rho_{дф} / \rho_{дн}); \quad \sum h_i = H_H;$$

— согласно принятому K_y (прил. 4.1.1) и соответствующему $K_{зо}$ (прил. 4.1.2)

$$S_{кy} = K_{зо} H_H / 100;$$

— вследствие осадки основания насыпи

$$S_{оп} = K_{ос} S_{ос} - K_{по} H_H.$$

Общая величина необходимого запаса на осадку ОП насыпи

$$S_{зо} = S_{оп} + S_{кy} + S_y$$

Величина погашения осадки (по высоте) насыпи из глинистых грунтов (по данным наблюдений) составляет: в течение одного года до 60%, трех лет до 80%, пяти лет — 80...100%.

Пример. Дано: $H_H = 18,2$ м; грунт — суглинок тяжелый; плотность грунта нормативная $\rho_{дн} = 1,58$ т/м³; $K_y = 0,95$; фактическая средняя (по контрольным замерам) $\rho_{дф} = 1,56$ т/м³; период возведения насыпи — 1 год; $K_{ос} = 0,4$; $K_{по} = 0,001$; $S_{ос} = 0,63$ м.

Решение. $S_{оп} = 0,4 \cdot 0,63 - 0,001 \cdot 18,2 = 0,234$ м;

$$S_y = 18,2(1 - 1,56/1,58) = 0,230$$
 м.

При $K_y = 0,95$ $K_{зо} = 0,5\%$ (прил. 4.1.2);

$$S_{кy} = 0,005 \cdot 18,2 = 0,091.$$

$$S_{зо} = 0,234 + 0,091 + 0,230 = 0,555$$
 м.

Задача 4.18. Определить осадки основания S_{oc} (в сечениях) и положение земной поверхности после сооружения насыпи (очертания основания насыпи после ее осадки).

Исходные данные: участок одно-двухпутный, высота насыпи H_n , характеристики грунта основания: γ_{soc} , W_n ; значения e_{oci} ; напряжения от элементарных нагрузок насыпи $\Sigma\sigma_{pi}$.

Расчетная схема: поперечный профиль насыпи, с нагрузками от насыпи в форме трапеций (рис. 4.13); основание насыпи разбивается горизонталями в уровнях y_i на несколько слоев h_i ; определяются характерные вертикальные сечения для расчета S_k в них и получения очертания основания насыпи после осадки насыпи; компрессионная кривая $e = f(\sigma)$ (рис. 4.14).

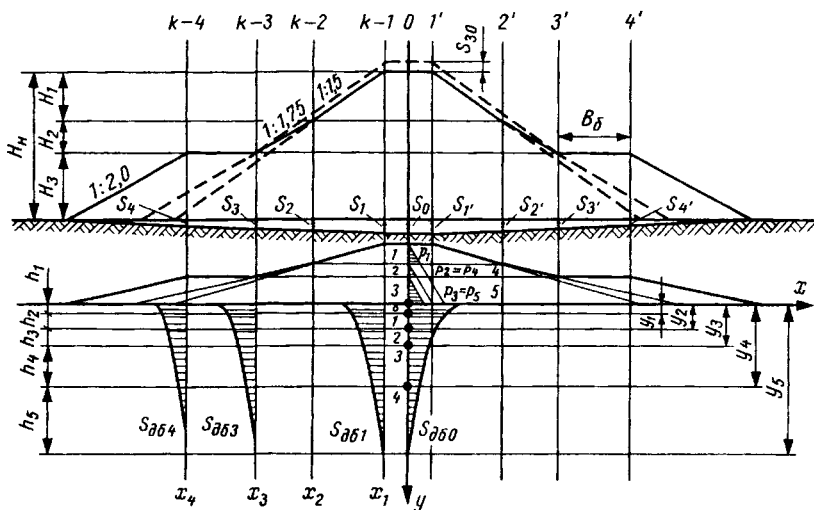


Рис. 4.13 Расчетная схема для определения осадок основания насыпи

Решение. В каждом сечении (по оси ОП, бровке и др.) методом последовательного приближения неизвестной $\gamma_{при}$ по ветвям уплотнения компрессионной кривой определяются $e_{при}$ для $e_{при}$ для

$$\sigma_{при} = \sigma_{при(i-1)} + 0,5(\gamma_{при(i-1)} + \gamma_{при})h_i;$$

$$e_{oi} \text{ для } \sigma_{oi} = \Sigma\sigma_{pi} + \sigma_{\gamma i},$$

$$\text{где } \sigma_{\gamma i} = \sigma_{\gamma(i-1)} + 0,5(\gamma_{o(i-1)} + \gamma_{oi})h_i.$$

Затем вычисляются

$$\eta_i = (e_{при} - e_{oi}) / (1 + e_{при}); S_i = 0,5(\eta_{i-1} + \eta_i)h_i;$$

графически $S_{дбк}$ и суммарные осадки в каждом сечении $S_k = \Sigma S_i + S_{дбк}$.

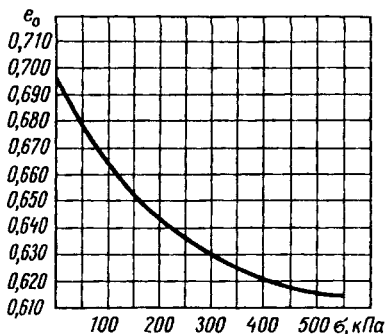


Рис. 4.14. Компрессионная кривая уплотнения грунта основания

По полученным значениям S_K вычерчивается положение основания после осадки насыпи (определяются объемы дополнительных земляных работ).

Пример. Дано: участок однопутный, $H_H = 16,0$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; $\gamma_{src} = 26,8$ кН/м³; $W_T = 19\%$; напряжения в точках основания от нагрузок $\Sigma\sigma_{пр}$: в точках 0, 1, 2, 3, 4 $\sigma_{00} = 312,0$; $\sigma_{01} = 310,4$; $\sigma_{02} = 302,6$; $\sigma_{03} = 292,5$; $\sigma_{04} = 256,0$ кПа.

Расчетная схема на рис. 4.13, компрессионная кривая на рис. 4.14. $H_1 = 6,0$, $H_2 = 2,1$; $H_3 = 7,9$ м; $B_6 = 10,0$ м; $y_1 = 1,0$; $y_2 = 3,0$; $y_3 = 5,0$; $y_4 = 10,0$ м

Решение выполнено для сечений 0,0, 1-1, (3-3); (4-4) в табличной форме (табл. 4.10) по методикам решения задач в разделе 3.

$$S_{дбо} = 0,5\eta_4 (y_5 - y_4).$$

Осадки основания и очертания насыпи до и после ее осадки показаны на рис. 4.13 (с учетом запаса на осадку S_{30}).

Задача 4.19. Определить величину превышения на осадку основной площадки земляного полотна при условии обеспечения проектной высоты сливной призмы [121].

Исходные данные: участок одно- двухпутный, высота насыпи H_H ; высота сливной призмы $h_{сп}$ (на однопутном участке $h_{сп} = 0,15$ м, на двухпутном $h_{сп} = 0,20$ м); величины осадки основания по оси пути $S_{осо}$, по бровке $S_{осбр}$; коэффициенты осадки основания, реализуемой после возведения насыпи $K_{ос}$, погашения осадки в теле насыпи $K_{по}$.

Расчетная схема на рис. 4.15

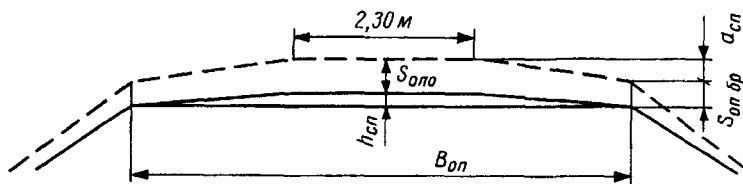


Рис. 4.15. Расчетная схема для определения $a_{сп}$

Требуется найти величину превышения по оси насыпи — стрелу подъема $a_{сп}$.

Решение. По известным данным осадки основания определяются осадки ОП

по оси насыпи $S_{опо} = K_{ос}S_{осо} - K_{по}H_H$;

по бровке насыпи $S_{осбр} = K_{ос}S_{осбр} - K_{по}H_H$.

Для обеспечения проектного положения сливной призмы $h_{сп}$ необходимо соблюдение условия

$$S_{опо} + h_{сп} = a_{сп} + S_{осбр}.$$

откуда превышение $a_{сп} = h_{сп} + (S_{опо} - S_{осбр})$.

Таблица 4.10

Параметры осадок основания насыпи по сечениям

Расчетные параметры	Значения расчетных параметров по сечениям в точках				
	0	1	2	3	4
y_i , м	0,00	1,00	3,00	5,00	10,00
h_i , м	0,00	1,00	2,00	2,00	5,00
Определение $e_{пр1}$ (все сечения)					
$\gamma_{пр1}'$, кН/м ³	18,30	18,50	18,70	18,85	19,05
$\sigma_{пр1}$, кПа	0,00	18,40	55,60	93,15	187,90
$e_{пр1}$	0,716	0,700	0,679	0,667	0,645
$\gamma_{пр1}$, кН/м ³	18,30	18,50	18,71	18,85	19,10
$|\gamma_{пр1} - \gamma_{пр1}'|$, кН/м ³	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05
Определение e_{o1} (сечение 0-0)					
$\Sigma\sigma_{p1}$, кПа	312,00	310,40	302,60	292,50	256,00
γ_{o1}' , кН/м ³	19,29	19,31	19,35	19,38	19,43
$\sigma_{\gamma o1}$, кПа	0,00	19,30	57,96	96,69	193,74
σ_{o1} , кПа	312,00	329,70	360,56	389,19	449,74
e_{o1}	0,629	0,627	0,624	0,621	0,617
γ_{o1} , кН/м ³	19,29	19,31	19,35	19,38	19,43
$|\gamma_{o1} - \gamma_{o1}'|$, кН/м ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Определение $S_i, S_{ок}$					
η_i	0,051	0,043	0,033	0,028	0,017
S_i , м	0,000	0,047	0,076	0,061	0,113
$S_{дб}$, м		0,5(8,2 \cdot 0,017) =			0,070
$S_{ос}$, м					0,367
Определение e_{o1} (сечение 1-1)					
$\Sigma\sigma_{p1}$, кПа	312,00	305,70	296,40	290,50	253,60
γ_{o1}' , кН/м ³	19,57	19,62	19,68	19,71	19,77
$\sigma_{\gamma o1}$, кПа	0,00	19,60	58,90	98,29	196,44
σ_{o1} , кПа	312,00	325,30	355,30	388,74	450,44
e_{o1}	0,630	0,628	0,625	0,621	0,617
γ_{o1} , кН/м ³	19,57	19,59	19,63	19,67	19,72
$|\gamma_{o1} - \gamma_{o1}'|$, кН/м ³	0,00	0,03	0,05	0,04	0,05
Определение $S_i, S_{ок}$					
η_i	0,050	0,042	0,032	0,028	0,017
S_i , м	0,000	0,046	0,074	0,060	0,113
$S_{дб}$, м					0,067
$S_{ос}$, м					0,360
Осадки основания $S_{ос}$ в сечении 3-3 — 0,261, в сечении 4-4 — 0,153 м.					

Пример. Дано: участок однопутный, насыпь $H_n = 17,7$ м; $h_{сп} = 0,15$ м; величины осадок основания насыпи по оси $S_{осо} = 0,367$ м; по бровке $S_{осбр} = 0,360$; $K_{ос} = 0,7$.

Решение. Определяем возможные осадки ОП по оси насыпи $S_{опо} = 0,7 \cdot 0,369 - 0,001 \cdot 17,7 = 0,239$ м; по бровке $S_{опбр} = 0,7 \cdot 0,360 - 0,001 \cdot 17,7 = 0,234$ м; тогда величина превышения $a_{сп} = 0,15 + (0,239 - 0,234) = 0,155$ м.

Задача 4.20. Определить возможные осадки, положение поверхности основания двухпутной насыпи в условиях длительного (постоянного) подтопления.

Исходные данные по условию задачи 4.18.

Отметки подтопления ($H_{нк}$) ниже отметки бровки бермы.

Расчетная схема аналогична приведенной на рис. 4.13.

Решение. Расчеты выполняются по методике решения задачи 4.18 с выделением зоны подтопления (площади ПП) и с учетом значений величин $\gamma_{гв}$ в увлажненной зоне.

Задача 4.21. Определить осадку (подъемку) основной площадки выемки по оси пути.

Исходные данные: участок одно- двухпутный, поперечный профиль выемки, H_v , $B_{оп}$; характеристики грунта. γ_s , W_r , γ_d , компрессионные e_i , σ_i ; напряжения от нагрузок σ_{pi} ; $K_{ос}$.

Расчетная схема: ПП выемки, подбалластная зона которой в уровнях y_i разбивается на несколько слоев h_i (ниже горизонтали 0-0 условного основания); компрессионная кривая грунта выемки $e = f(\sigma)$.

Решение. Определяются напряжения

$$\sigma_{pri} = \Sigma \sigma_{pi} + \Sigma \sigma_{pj} + \sigma_{\gamma i}^i = \sigma_{\gamma i}^i, \quad \sigma_{oi} = \Sigma \sigma_{pj}^i + \sigma_{\gamma i}^i,$$

где $\Sigma \sigma_{pi}$ — напряжения от нагрузок p_j , действовавших до разработки выемки.

При определении e_{pri} компрессионная кривая используется (и соответственно перестраивается) в пределах σ_{pri} .

Осадки по слоям равны $S_i = 0,5(\eta_i + \eta_{i+1})h_i$.

Общая осадка (подъемка) основной площадки выемки

$$S_{ов} = K_{ос} S_v,$$

где $S_v = \Sigma S_i + S_{дб}$; $S_{дб}$ определяется по графику $\eta_i = f(y)$.

Отрицательное значение $S_{ов}$ показывает на возможную подъемку грунта ОП, следует предусматривать срезку грунта в выемке на величину $S_{ов}$.

Задача 4.22. Запроектировать насыпь по условиям возможных осадок основания, основной площадки.

Решение. Проектирование насыпи выполняется на ПК, например, по программе OSADKI.

Пример. Программа OSADKI реализует определение возможных осадок основания насыпи и может использоваться в качестве отдельной (самостоятельной) программы для определения осадок либо в качестве системного модуля при проектировании насыпи.

Ожидаемые осадки основания насыпи определяются как сумма осадок S_i по слоям основания: $S_{oc} = \sum S_i$. По результатам расчетов определяются инженерные меры: величина запаса на осадку, уширение основной площадки (для возможной последующей подъемки пути на балласт), усиление основания насыпи.

Расчетная схема на рис. 4.16.

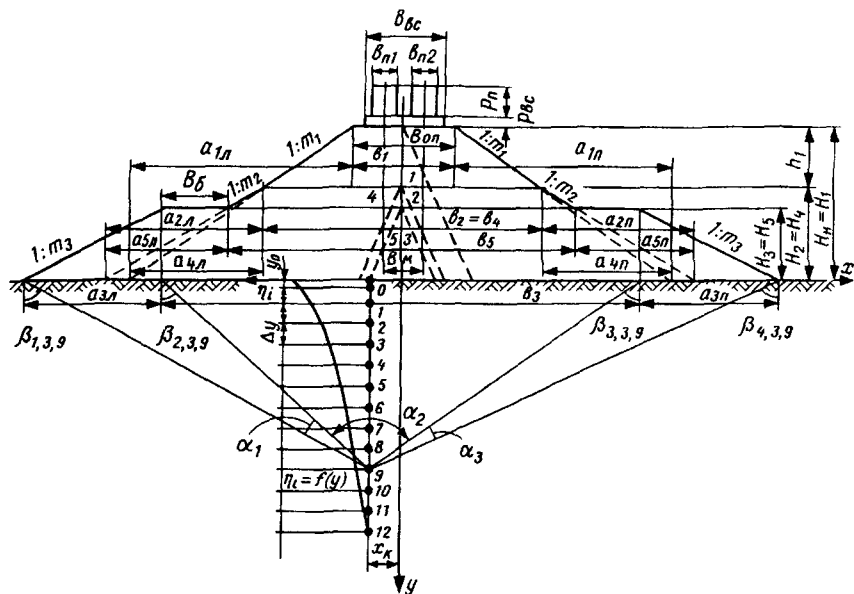


Рис. 4.16. Расчетная схема к алгоритму определения осадок основания двухпутной насыпи в любых вертикальных сечениях

Исходными данными для определения S_{oc} и $S_{оп}$ являются параметры насыпи: H_n , $B_{оп}$, $B_б$, m_i ; нагрузок: интенсивность $p_{п1}$, $p_{п2}$, $p_{вс}$, ширина их $b_{п1}$, $b_{п2}$, $b_{вс}$; грунтов: удельный вес грунта насыпи γ_n , основания γ_{soc} , влажность W_{oc} ; абсциссы x_k вертикальных k -х сечений, величина шага по глубине Δy_i .

Алгоритм проектирования. Вводятся исходные данные, параметры управления (Δy_i , x_k , Δx , x_{max}); количество и попарно значения параметров компрессионных испытаний грунта основания (σ_i , e_i).

В качестве расчетных определяются коэффициенты A_i уравнения компрессионной кривой (подпрограмма RPM), а также e_{oi} и y_{oi} (в нулевой точке, $y_0 = 0,01$ м).

$$\text{При } \sigma_{про} = 0,0 \quad e_{про} = A_1, \quad \gamma_{про} = \gamma_{soc}(1 + W_{oc}/100)/(1 + e_{про});$$

$$e_{oo} = A_1 + A_2 \gamma_n H_n + A_3 (\gamma_n H_n)^2; \quad \gamma_{oo} = \gamma_{soc}(1 + W_{oc}/100)/(1 + e_{oo}).$$

Вычисляются и выводятся на печать параметры трапецидальных нагрузок: b_j, a_j, p_j :

$$H_1 = H_n; H_2 = H_1 - h_1; H_4 = H_2; H_5 = H_3; h_2 = H_n - h_1 - H_3; p_j = \gamma_n H_j;$$

$$a_1 = m_1 H_1; a_2 = m_2 H_2; a_3 = m_3 H_3; a_4 = m_1 H_2; a_5 = m_2 H_3;$$

$$b_1 = B_{\text{оп}}; b_2 = B_{\text{оп}} + 2m_1 h_1; b_3 = b_2 + 2m_2 h_2 + 2B_6; b_4 = b_2; b_5 = b_2 + 2m_2 h_2$$

В точках на основании при $x_1 = b_1/2, x_2 = b_2/2, x_3 = b_3/2$ определяются напряжения от (прямоугольных) нагрузок: двух поездных и верхнего строения (подпрограмма "Определение напряжений в насыпи")

$$\sigma_{oi} = \sigma_{\text{п}1i} + \sigma_{\text{п}2i} + \sigma_{\text{вс}i} = \rho_{nj}$$

Определяются вертикальные (сжимающие) напряжения в точках основания при $x_k = 0, 0$ м, по осям путей, бровкам, другим сечениях x_k .

Напряжения в каждой точке сечения по y_i определяются суммированием напряжений от комбинации трапецидальных нагрузок, каждая из которых приложена к основанию (к полупространству)

$$\sigma_i = \sigma_{n1} + \sigma_{n2} + \sigma_{n3} - \sigma_{n4} - \sigma_{n5} = \Sigma \sigma_{nj}$$

где $\sigma_{nj} = (p_j + \rho_{nj})[a_j(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_j(\alpha_1 + \alpha_3) + y_i(\alpha_1 - \alpha_3)]/(\pi a_j)$.

Расчетные параметры α_i определяются подпрограммой «Параметры главных напряжений».

По известным напряжениям σ_i определяются $e_{\text{пр}i}, \gamma_{\text{пр}i}, e_{oi}, \gamma_{oi}$.

Принимается $\gamma_{oi}' = \gamma_{o(i-1)}$;

вычисляются напряжения от собственного веса грунта

$$\sigma_{oyi} = \sigma_{oy(i-1)} + \Delta y(\gamma_{o(i-1)} + \gamma_{oi}')/2;$$

полные напряжения $\sigma_{oi} = \Sigma \sigma_{ni} + \sigma_{oyi}$.

Затем вычисляются e_{oi} и γ_{oi} ,

$$e_{oi} = A_1 + A_2 \sigma_{oi} + A_3 \sigma_{oi}^2; \gamma_{oi} = \gamma_{\text{соч}}(1 + W_{\text{оч}}/100)/(1 + e_{oi});$$

выполняется проверка по допустимой ошибке счета $\Delta \gamma > |\gamma_{oi} - \gamma_{oi}'|$.

Если условие не соблюдается, то принимается $\gamma_{oi}'' = \gamma_{oi} + 0,01 \text{ кН/м}^3$ и выполняется пересчет, начиная с σ_{oyi} (итерационно до соблюдения принятого условия счета).

Вычисляется относительная осадка $\eta_i = (e_{\text{пр}i} - e_{oi})/(1 + e_{\text{пр}i})$;

осадка в i -м слое $S_i = \Delta y(h_{i-1} + h_i)/2$

и печатаются результаты для i -го слоя: $x_i, y_i, \sigma_{\text{пр}i}, e_{\text{пр}i}, \gamma_{\text{пр}i}, e_{oi}, \sigma_{oi}, \gamma_{oi}, \eta_i, S_i$.

Затем счет производится для $i+1$ -го слоя ($\gamma_{i+1} = \gamma_i + \Delta \gamma$).

Принимается $\gamma'_{\text{пр}i} = \gamma_{\text{пр}(i-1)}$,

вычисляется $\sigma_{\text{пр}yi} = \sigma_{\text{пр}y(i-1)} + \Delta y(\gamma_{\text{пр}i} + \gamma'_{\text{пр}i})/2$;

коэффициент пористости $e_{\text{пр}i} = A_1 + A_2 \sigma_{\text{пр}i} + A_3 \sigma_{\text{пр}i}^2$;

удельный вес грунта в природном состоянии $\gamma_{\text{пр}i} = \gamma_{\text{с}i}(1 + W_{\text{оч}}/100)/(1 + e_{\text{пр}i})$;

проверяется условие сходимости $\Delta \gamma > |\gamma_{\text{пр}i} - \gamma'_{\text{пр}i}|$.

При соблюдении условия расчет переводится на определение σ_{oi} и далее e_{oi}, η_i, S_i .

Вычисление осадок по слоям каждого k -го сечения продолжается до значения $\eta_i \leq 0,0$ на уровне затухания осадок основания.

Сумма осадок основания по слоям соответствует общей осадке основания в расчетном сечении $S_{oci} = S_{oc(i-1)} + S_i$; $S_{ock} = \Sigma S_{oci}$.

Вычисляется величина осадки по основной площадке

$$S_{оп} = K_{ос} S_{ос} - K_{по} H_H$$

и печатаются результаты S_{ock} , $S_{опk}$.

Здесь $K_{ос}$, $K_{по}$ — коэффициенты, учитывающие долю осадки после возведения насыпи, некоторого погашения осадки в теле насыпи.

Расчет осадок принят в двух сечениях: по оси пути и бровке, что позволяет определить инженерные мероприятия (запас на осадку, уширение основной площадки) и может быть произведен в любых задаваемых сечениях (по усмотрению пользователя).

Превышение по оси пути:

на двухпутном участке $a_{оп} = 0,2 + (S_{осо} - S_{осбр})$;

на однопутном $a_{оп} = 0,15 + (S_{осо} - S_{осбр})$.

Уширение основной площадки (для возможной последующей подъёмки пути на балласт)

$$b_{уш} = m_6 S_{осбр}; B_{опу} = B_{оп} + 2b_{уш};$$

на подходах к большим мостам (на 10 м от задней грани устоя)

$$B_{опу} = B_{оп} + 2 \cdot 0,5 + 2b_{уш}, \text{ м.}$$

Дополнительный объем грунта на осадку (на 1 п. м) можно определять по площади в ПП

$$F_{ос} = K_{пл} S_{ос} [B_{оп} + 2(m_1 h_1 + m_2 h_2 + B_6 + m_3 h_3)]; K_{пл} = 0,65—0,75.$$

Расчет (проектирование) выполняется в автоматическом режиме, результаты расчета печатаются в табличной форме.

Пример табличных результатов проектирования насыпи по условиям осадки приведен в табл. 4.11 с обозначениями осадки основания $S(k)$, основной площадки $S_0(k)$.

4.5. Проектирование объектов по условиям устойчивости от пластических деформаций (выпирания)

Задача 4.23. Определить допустимое давление на основную площадку земляного полотна и необходимость усиления подбалластной зоны.

Исходные данные. Характеристики грунта c_r , φ_r . Типы подвижного состава, верхнего строения пути.

Расчетная схема на рис. 4.17.

Таблица 4.11

Возможные осадки насыпи. Расчетные параметры

Коэффициенты уравнения компрессионной кривой

$$A(1) = 0.73416667 \quad A(2) = -0.00044500 \quad A(3) = 0.00000041$$

Параметры нагрузок

$$H1 = 18.10 \text{ м} \quad H2 = 12.12 \text{ м} \quad H3 = 6.93 \text{ м} \quad H4 = 12.12 \text{ м} \quad H5 = 6.93 \text{ м}$$

$$b(1) = 5.050 \text{ м} \quad a(1) = 27.150 \text{ м} \quad p(1) = 358.832 \text{ кПа}$$

$$b(2) = 14.050 \text{ м} \quad a(2) = 21.1175 \text{ м} \quad p(2) = 239.882 \text{ кПа}$$

$$b(3) = 27.090 \text{ м} \quad a(3) = 13.868 \text{ м} \quad p(3) = 137.469 \text{ кПа}$$

$$b(4) = 14.050 \text{ м} \quad a(4) = 18.150 \text{ м} \quad p(4) = 239.882 \text{ кПа}$$

$$b(5) = 23.090 \text{ м} \quad a(5) = 12.135 \text{ м} \quad p(5) = 137.469 \text{ кПа}$$

Напряжения в основании, величины осадки основания насыпи

x_k м	u_i м	σ_{yi} кПа	$e_{при}$	$\gamma_{при}$ кН/м ³	e_{oi}	σ_{oi} кПа	γ_{oi} кН/м ³	Осадки	
								η_i	S_i , м
0.00	0.01	0.00	0.734	18.141	0.625	377.00	19.361	0.063	0.000
	2.01	36.40	0.719	18.307	0.620	414.92	19.414	0.057	0.120
	4.01	73.12	0.704	18.464	0.617	449.40	19.451	0.051	0.108
	6.01	110.15	0.690	18.614	0.615	480.34	19.474	0.044	0.095
	8.01	147.48	0.677	18.754	0.614	509.05	19.487	0.038	0.082
	10.01	185.08	0.666	18.885	0.614	536.67	19.492	0.031	0.069
	12.01	222.91	0.655	19.004	0.614	563.89	19.492	0.025	0.056
	14.01	260.98	0.646	19.112	0.614	591.12	19.492	0.020	0.045
	16.01	299.26	0.638	19.208	0.614	618.59	19.492	0.015	0.034
	18.01	337.71	0.631	19.290	0.614	646.43	19.492	0.010	0.025
	20.01	376.31	0.625	19.360	0.614	674.69	19.492	0.007	0.017
	22.01	415.04	0.620	19.415	0.614	703.42	19.492	0.004	0.011
	24.01	453.87	0.617	19.455	0.614	732.61	19.492	0.002	0.006
	26.01	492.78	0.615	19.481	0.614	762.26	19.492	0.001	0.002
			$S(1) = 0.669 \text{ м}$	$S_0(1) = 0.317 \text{ м}$					
5.05	0.01	0.00	0.734	18.141	0.625	376.96	19.361	0.063	0.000
	2.01	36.40	0.719	18.307	0.620	406.78	19.404	0.057	0.120
	4.01	73.12	0.704	18.464	0.617	436.37	19.439	0.050	0.107
	6.01	110.15	0.690	18.614	0.615	465.56	19.465	0.044	0.094
	8.01	147.48	0.677	18.754	0.614	494.36	19.482	0.037	0.081
	10.01	185.08	0.666	18.885	0.614	522.91	19.491	0.031	0.068
	12.01	222.91	0.655	19.004	0.614	551.35	19.492	0.025	0.056
	14.01	260.98	0.646	19.112	0.614	579.84	19.492	0.020	0.045
	16.01	299.26	0.638	19.208	0.614	608.50	19.492	0.015	0.034
	18.01	337.71	0.631	19.290	0.614	637.40	19.492	0.010	0.025
	20.01	376.31	0.625	19.360	0.614	666.61	19.492	0.007	0.017
	22.01	415.04	0.620	19.415	0.614	696.16	19.492	0.004	0.011
	24.01	453.87	0.617	19.455	0.614	726.08	19.492	0.002	0.006
	26.01	492.78	0.615	19.481	0.614	756.36	19.492	0.001	0.002
			$S(2) = 0.666 \text{ м}$	$S_0(2) = 0.315 \text{ м}$					
Запас на осадку по бровке						$S_{бр} = 0.315 \text{ м}$			
Превышение по оси пути						$a_{сп} = 0.202 \text{ м}$			
Основная площадка с уширением						$b_{уш} = 0.472 \text{ м} \quad B_{оп} = 6.944 \text{ м}$			
15.05	0.01	0.00	0.734	18.141	0.653	230.60	19.027	0.047	0.000
	2.01	36.40	0.719	18.307	0.644	269.23	19.134	0.043	0.090
	4.01	73.12	0.704	18.464	0.636	308.39	19.229	0.040	0.083
	6.01	110.15	0.690	18.614	0.629	347.30	19.309	0.036	0.076
	8.01	147.48	0.677	18.754	0.624	385.62	19.374	0.032	0.068
	10.01	185.08	0.666	18.885	0.620	423.20	19.424	0.028	0.060
	12.01	222.91	0.655	19.004	0.617	460.02	19.460	0.023	0.051
	14.01	260.98	0.646	19.112	0.615	496.18	19.483	0.019	0.042
	16.01	299.26	0.638	19.208	0.614	531.77	19.492	0.015	0.034
	18.01	337.71	0.631	19.290	0.614	566.91	19.492	0.010	0.025
	20.01	376.31	0.625	19.360	0.614	601.71	19.492	0.007	0.017
	22.01	415.04	0.620	19.415	0.614	636.27	19.492	0.004	0.011
	24.01	453.87	0.617	19.455	0.614	670.67	19.492	0.002	0.006
	26.01	492.78	0.615	19.481	0.614	705.00	19.492	0.001	0.002
			$S(3) = 0.565 \text{ м}$						

Решение. По типу подвижного состава определяется интенсивность поездной нагрузки $p_{п} = \Sigma P_j / l_{жб}$;

По типу верхнего строения пути определяется $p_{вс}$.

Фактическая нагрузка $p_o = p_{п} + p_{вс}$.

Допустимая интенсивность нагрузки [121] ориентировочно

$$p_d = \pi(c_o/f_o + p_{вс}) / (\text{ctg}\varphi_o + \varphi_o - \pi/2) + p_{вс},$$

где $c_o = c_r/K_3$; $f_o = f_r/K_3$; $f_r = \text{tg}\varphi_r$.

Должно соблюдаться условие

$$p_d \geq p_o.$$

Пример. Дано: грунт — суглинок, $c_r = 9,0$ кПа, $\varphi_r = 12^\circ = 0,21$ рад,

верхнее строение: Р 75, шпалы железобетонные; $K_3 = 1,2$; поездная нагрузка $p_{п} = 80$ кПа.

Решение. По типу верхнего строения $p_{вс} = 17$ кПа;

$$p_o = 80 + 17 = 97 \text{ кПа};$$

$$f_r = \text{tg}\varphi_r = 0,21; f_o = 0,21/1,2 = 0,175$$

$$\text{ctg}\varphi_r = 4,71; c_o = 9,0/1,2 = 7,5 \text{ кПа}.$$

Допустимая интенсивность нагрузки

$$p_d = 3,14(7,5/0,175 + 17)/(4,71 + 0,21 - 1,57) + 17 = 73,1 \text{ кПа}.$$

Поскольку $p_d = 73,1 < p_o = 97$ кПа, необходимы мероприятия по усилению основной площадки, подбалластной зоны земляного полотна, возможна замена глинистого грунта.

Задача 4.24. Определить глубину области пластических деформаций под основной площадкой выемки.

Исходные данные: вид грунта, характеристики грунта; поездная нагрузка (тип локомотива), тип верхнего строения пути.

Расчетная схема: поперечный профиль выемки; возможная область пластических деформаций (по изолиниям $K_{уд}$).

Решение. Наибольший вес столба грунта, соответствующего области пластических деформаций [121] приближенно

$$\max q_y = [(p - q)/\pi](\text{ctg}\varphi_o + \varphi_o - \pi/2) - c_o/f_o - q;$$

где можно считать $p = p_{п} + p_{вс}$; $q = p_{вс}$.

Тогда глубина области пластических деформаций $u_{пд} = q_y/\gamma_r$.

Пример. Дано: грунт — суглинок мягкопластический, $c_r = 8,0$ кПа; $\varphi_r = 11^\circ = 0,19$ рад; $\gamma_r = 18,8$ кН/м³; поездная нагрузка $p_{п} = 80$ кПа; тип верхнего строения тяжелый, шпалы деревянные.

Расчетная схема на рис. 4.17.

Решение. Определяем $f_r = \text{tg}\varphi_r = 0,19$; $\text{ctg}\varphi_r = 5,15$; $p_{вс} = 16$ кПа (прил. 1.3); $p = 80 + 16 = 96$ кПа.

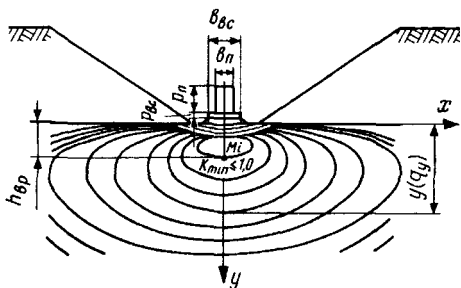


Рис. 4.17. Схема формирования области пластических деформаций, определения глубины вырезки грунта

Вычисляем $\max q_y$

$\max q_y = [(96 - 16)/3, 14](5,15 + 0,19 - 1,57) - 8,0/0,19 - 16 = 38,0$ кПа;
глубину области пластических деформаций

$$y_{\text{пд}} = 38,01/18,8 = 2,02 \text{ м.}$$

Задача 4.25. Определить глубину вырезки и замены глинистого грунта песчаным для предупреждения пластических деформаций в выемке.

Исходные данные. участок однопутный, выемка; характеристики песка; тип локомотива (поездная нагрузка); тип верхнего строения пути.

Расчетная схема на рис 4.17, $h_{\text{вр}} = h_{\text{пс}}$.

Решение (ориентировочное, согласно [12]).

Интенсивность поездной нагрузки $p_{\text{п}}$; $b_{\text{п}}$; интенсивность нагрузки верхнего строения $p_{\text{вс}}$, $b_{\text{вс}}$.

Определяем

$$p_{\text{п}} = \Sigma P_j / (l_{\text{жб}} b_{\text{п}}); \quad p_{\text{о}} = p_{\text{п}} + p_{\text{вс}}; \quad f_{\text{п}} = \text{tg} \varphi_{\text{п}}; \quad \varphi_{\text{п}} = \arctg f_{\text{п}}; \quad \text{ctg} \varphi_{\text{п}}.$$

Общая нагрузка на грунт в точке по оси пути

$$p_{\text{о}} = \sigma_{\text{о}} = \sigma_{\text{п}} + \sigma_{\text{вс}} + \sigma_{\gamma}$$

где $\sigma_{\text{п}} = I_{\text{п}} p_{\text{п}}$, $\sigma_{\text{вс}} = I_{\text{вс}} p_{\text{вс}}$, $\sigma_{\gamma} = \gamma_{\text{п}} h_{\text{пс}}$

В точке $M_i (x_i = 0, 0; y_i = h_i)$;

$$I_{\text{п}} = f(x_i/b_{\text{п}}; y_i/b_{\text{п}}); \quad I_{\text{вс}} = f(x_{\text{вс}}/b_{\text{вс}}; y_{\text{вс}}/b_{\text{вс}}).$$

Поскольку после замены глинистого грунта песчаным пластических деформаций не должно быть, то $q_y = 0$

Для определения глубины вырезки можно принять [12]

$$q = p_{\text{вс}} + \gamma_{\text{п}} h_{\text{пс}}.$$

Тогда $p - q = \sigma_{\text{п}} + \sigma_{\text{вс}} + \gamma_{\text{п}} h_{\text{пс}} - p_{\text{вс}} - \gamma_{\text{п}} h_{\text{пс}} = p_{\text{п}} I_{\text{п}} - p_{\text{вс}} (1 - I_{\text{вс}})$

и $q_y = [p_{\text{п}} I_{\text{п}} - p_{\text{вс}} (1 - I_{\text{вс}})] (\text{ctg} \varphi_{\text{о}} + \varphi_{\text{о}} - \pi/2) / \pi - c_{\text{о}} / f_{\text{о}} - p_{\text{вс}} - \gamma_{\text{п}} h_{\text{вр}} = 0.$

Откуда глубина вырезки $h_{\text{вр}} = A(p_{\text{п}} I_{\text{п}} - p_{\text{вс}} (1 - I_{\text{вс}})) - B,$

где $A = (\text{ctg} \varphi_{\text{о}} + \varphi_{\text{о}} - \pi/2) / (\pi \gamma_{\text{п}})$; $B = (c_{\text{о}} / f_{\text{о}} + p_{\text{вс}}) / \gamma_{\text{п}}.$

Допустимая нагрузка на ОП должна быть больше $p_{\text{о}}$

$$p_{\text{дп}} = \pi (c_{\text{о}} / f_{\text{о}} + h_{\text{вс}}) / (\text{ctg} \varphi_{\text{о}} + \varphi_{\text{о}} - \pi/2) + p_{\text{вс}} > p_{\text{о}} = p_{\text{п}} + p_{\text{вс}}.$$

Пример. Дано: выемка однопутная; характеристики песка: $c_{\text{п}} = 2,0$ кПа; $\varphi_{\text{п}} = 34^\circ = 0,59$ рад.; $\gamma_{\text{п}} = 19$ кН/м³; поездная нагрузка — электровоз ВЛ 60; верхнее строение среднего типа, шпалы железобетонные. Возможные пластические деформации (сдвиги) на глубину 1,2 м; $c_{\text{Г}} = 2,0$ кПа; $\varphi_{\text{Г}} = 13^\circ$; $\gamma_{\text{Г}} = 19$ кН/м³

Решение Определяем $\Sigma P_j = 678$ кН, $l_{\text{жб}} = 4,6$ м. Интенсивность поездной нагрузки $p_{\text{п}} = 678 / (4,6 \cdot 2,75) = 53,6$ кПа; $b_{\text{п}} = 2,75$ м; интенсивность нагрузки верхнего строения $p_{\text{вс}} = 16$ кПа; $b_{\text{вс}} = 4,6$ м (прил. 1.3); $f_{\text{п}} = \text{tg} \varphi_{\text{п}} = 0,68$; $\text{ctg} \varphi_{\text{п}} = 1,48.$

По прил. 1.4

$$I_{\text{п}} = \psi(0,0/2,75; 1,2/2,75) = \psi(0,0; 0,44) = 0,85;$$

$$\sigma_{\text{п}} = 53,6 \cdot 0,85 = 45,6 \text{ кПа};$$

$$I_{\text{вс}} = f(0,0/4,6; 1,2/4,6) = f(0,0; 0,26) = 0,95;$$

$$\sigma_{\text{вс}} = 16 \cdot 0,95 = 15,2 \text{ кПа}.$$

Вычисляем $A = (4,33 + 0,23 - 1,57)/(3,14 \cdot 19,0) = 0,005$;

$B = (2,00/0,23 + 16)/19,0 = 1,30$;

Глубина вырезки $h_{вр} = 0,05[53,6 \cdot 0,85 - 16(1 - 0,95)] - 1,30 = 0,94$ м

Проверяем нагрузку на основную площадку.

Общая нагрузка ($h = 1,2$ м) $p_0 = 45,6 + 15,2 + 19 \cdot 1,2 = 83,6$ кПа;
на основную площадку $p_{оп} = 53,6 + 16,0 = 69,6$ кПа

Допустимая нагрузка

$p_d = [3,14(2,0/0,68 + 16)/(1,48 + 0,59 - 1,57) + 16 = 135,0 > p_{оп} = 69,6$ кПа.

Задача 4.26. Определить глубину вырезки глинистого грунта и толщину противодеформационной подушки в подбалластной зоне выемки.

Исходные данные: параметры выемки; характеристики состояния грунта.

Решение. Глубину вырезки $h_{вр}$, толщину противоупучинной подушки $П_{п}$ из дренирующих песчаных материалов следует определять

во-первых, по условию обеспечения несущей способности основной площадки глинистых грунтов, основания подушки;

во-вторых, по условию предотвращения возможных пластических деформаций (сдвигов) оттаивающего глинистого грунта.

Эти условия соблюдаются при равенстве критической нагрузки на грунт $P_{кр}$ (несущей способности) и суммарных напряжений σ_0 от поездной нагрузки и собственного веса грунта.

Критическая нагрузка (давление) на грунт $P_{кр}$, соответствующая σ_0 , определяется по зависимости

$$P_{кр} = \pi(c/\text{tg}\Phi + 0,1\gamma_d u_p)/(\text{tg}\Phi + \Phi - \pi/2) + 0,1\gamma_d u_p,$$

где u_p — расстояние от ОП до расчетного уровня.

$P_{кр}$ определяется для двух сечений, например, $u_1 = 0,0$ и $u_2 = 2,0$ м.

По результатам вычислений строится график изменения критической нагрузки $P_{кр}$ по глубине $P_{кр}(y)$ и кривые напряжений $\sigma_i(y)$ для условий движения расчетного подвижного состава.

В точке пересечения графиков напряженного состояния $\sigma_i(y)$ и $P_{кр}(y)$ определяется величина вырезки $h_{вр}$ (толщина противодеформационной подушки).

Пример. На рис. 4.18 приведены графики [53] $P_{крi}(y)$:

для состояния грунта при влажности $W_i = 25\%$, $c_i = 10$ кПа; $\Phi_i = 18^\circ$ — $P_{кр1}(y)$;
для другого состояния грунта при $W_2 = 29\%$; $c_2 = 5$ кПа; $\Phi_2 = 14^\circ$ — $P_{кр2}(y)$,

кривые $\sigma_4(y)$ — для условий движения 4-осных вагонов;

$\sigma_8(y)$ — для 8-осных вагонов.

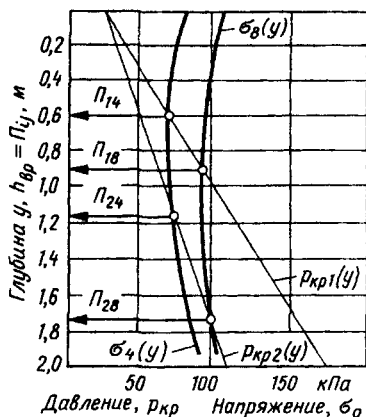


Рис 4.18 Определение глубины вырезки $h_{вр}$ и толщины противодеформационной подушки $П_{п}$.

Толщина подушек соответствует глубине вырезки $h_{вр}$ в уровне точек пересечения графиков $\Pi_{1,4}$, $\Pi_{1,8}$ для первого состояния грунта, $\Pi_{2,4}$ и $\Pi_{2,8}$ для второго состояния грунта.

Задача 4.27. Запроектировать поперечный профиль насыпи по условиям устойчивости основания, выемки по условиям устойчивости подбалластной зоны против сдвига и выпирания (выпора)

Решение. Проектирование ОЗП, устойчивых против сдвига и выпирания, производится с использованием программного обеспечения на ПК.

Пример. Проектирование ОЗП, например, по программе SVON (стабильность выемки, основания насыпи), которая может быть использована в качестве отдельной (самостоятельной) программы для определения устойчивости основания насыпи либо как модульный блок при проектировании ОЗП на ПК.

Возможны два варианта расчетов:

1 — определение $K_{убi}$ в i -х точках регулярной сетки основания насыпи, подбалластной зоны выемки (по изогипсам $K_{уб}$) и выявление возможной зоны пластических деформаций;

2 — направленный поиск $\min K_{уб}$ и проектирование оптимального поперечного профиля насыпи (с бермами), выемки (с уширением закуветной полки, уположением откосов, углублением полук, кюветов).

Алгоритм определения $K_{уб}$. Вводятся исходные данные, параметры управления. Вычисляются расчетные параметры элементов насыпи и нагрузок [122] (рис. 4.19).

Затем в первом (нулевом) сечении $x_1 = 0,00$ м на уровне первой (верхней) ординаты y_i определяются радиусы-векторы R_1, R_2, R_3, R_4 и углы видимости $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ (подпрограмма параметров главных напряжений) от первой и всех других трапецидальных нагрузок, каждая из которых приложена к основанию (полупространству). Учитывается влияние нагрузок, расположенных на основной площадке. Вычисляются составляющие главных напряжений:

$$\sigma_7 = a_f(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_f(\alpha_3 + \alpha_1) - x_k(\alpha_3 - \alpha_1);$$

$$\sigma_8 = y_i(\ln(R_1 R_4 / R_2 R_3));$$

$$\sigma_9 = y_i[\ln^2(R_1 R_4 / (R_2 R_3)) + (\alpha_3 - \alpha_1)]^{0,5};$$

$$\sigma_5 = p_f(\sigma_7 - \sigma_8 + \sigma_9) / (\pi a_j); \quad \sigma_6 = p_f(\sigma_7 - \sigma_8 - \sigma_9) / (\pi a_j)$$

и суммируются

$$\sigma_3 = \sigma_{51} + \sigma_{52} + \sigma_{53} - \sigma_{54} - \sigma_{55};$$

$$\sigma_4 = \sigma_{61} + \sigma_{62} + \sigma_{63} - \sigma_{64} - \sigma_{65}.$$

Определяются главные напряжения $\sigma_1 = \sigma_3 + \gamma_{ос} y_i$; $\sigma_2 = \sigma_4 + \gamma_{ос} y_i$.

Вычисляются $A = (f_{ос} \sigma_1 + c_{ос}) / (\sigma_1 + \sigma_2)$ и коэффициент устойчивости против сдвига и выпирания $K_{убi} = 2\sqrt{A(A - f_{ос})}$.

На печать выдаются параметры: $x_i, y_i, K_{убi}, \sigma_{1i}, \sigma_{2i}$.

Затем изменяются точки $i = i + 1$, ордината $y_1 = y_{i-1} + \Delta y$; и вычисления повторяются до предельной ординаты $y_i > y_{пр}$.

Изменяется координата (абсцисса) k -го сечения $x_{k+1} = x_k + \Delta x$ и вычисления $K_{убi}$ повторяются для всех точек каждого сечения до величины предельной абсциссы $x_k > x_{пр}$.

Подпрограмма (главных напряжений) обеспечивает вычисление радиусов-векторов R_i и их углов видимости α_i в зависимости от координатного положения точек в основании насыпи, в выемке.

Для всех координат x_i (рис. 4.19)

$$R_1 = \sqrt{y_i^2 + (x_k + b_j + a_j)^2}; \quad R_2 = \sqrt{y_i^2 + (x_k + b_j)^2};$$

$$\alpha_4 = \arctg((x_k + b_j - a_j)/y_i);$$

$$\alpha_5 = \arctg((x_k + b_j)/y_i);$$

$$\alpha_1 = \alpha_4 - \alpha_5.$$

При $x_k < 0,0$

$$R_3 = \sqrt{y_i^2 + (x_k + b_j)^2};$$

$$R_4 = \sqrt{y_i^2 + (x_k + b_j + a_j)^2};$$

$$\alpha_6 = \arctg((x_k + b_j)/y_i);$$

$$\alpha_2 = \alpha_5 + \alpha_6;$$

$$\alpha_7 = \arctg((b_j - a_j + x_k)/y_i);$$

$$\alpha_3 = \alpha_7 - \alpha_6.$$

При $x_k = 0,0$

$$R_3 = \sqrt{y_i^2 + b_j^2};$$

$$R_4 = \sqrt{y_i^2 + (x_k + b_j + a_j)^2};$$

$$\alpha_3 = \alpha_1;$$

$$\alpha_2 = 2\alpha_5.$$

При $x_k \leq b_j$

$$R_3 = \sqrt{y_i^2 + (b_j - x_k)^2};$$

$$R_4 = \sqrt{y_i^2 + (b_j + a_j - x_k)^2};$$

$$\alpha_6 = \arctg((b_j - x_k)/y_i);$$

$$\alpha_2 = \alpha_3 + \alpha_6;$$

$$\alpha_7 = \arctg((b_j + a_j - x_k)/y_i);$$

$$\alpha_3 = \alpha_7 - \alpha_6.$$

При $x_k < b_j + a_j$

$$R_3 = \sqrt{y_i^2 + (b_j + x_k)^2};$$

$$R_4 = \sqrt{y_i^2 + (b_j + a_j - x_k)^2};$$

$$\alpha_6 = \arctg((x_k - b_j)/y_i);$$

$$\alpha_2 = \alpha_5 - \alpha_6;$$

$$\alpha_7 = \arctg((b_j + a_j - x_k)/y_i);$$

$$\alpha_3 = \alpha_6 + \alpha_7.$$

При $x_k > b_j + a_j$

$$R_3 = \sqrt{y_i^2 + (x_k - b_j)^2};$$

$$R_4 = \sqrt{y_i^2 + (x_k - b_j - a_j)^2};$$

$$\alpha_6 = \arctg((x_k - b_j)/y_i);$$

$$\alpha_2 = \alpha_5 - \alpha_6;$$

$$\alpha_7 = \arctg((x_k - b_j - a_j)/y_i);$$

$$\alpha_3 = \alpha_6 - \alpha_7.$$

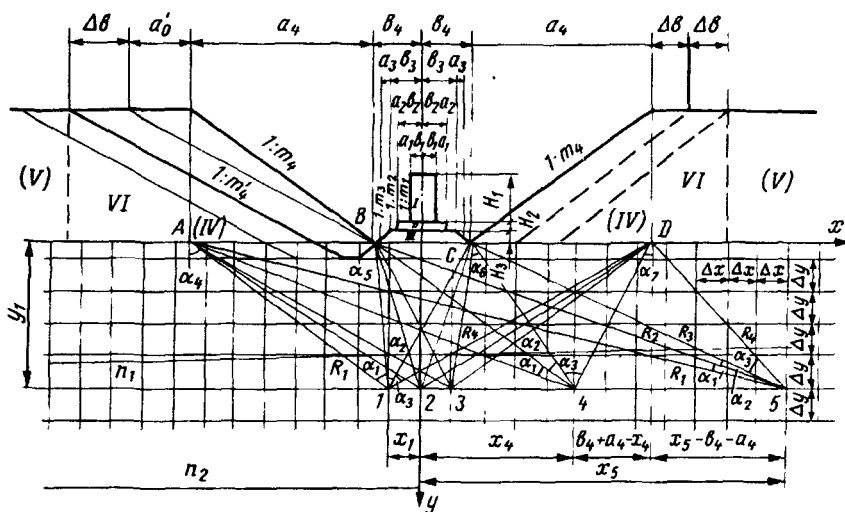


Рис. 4.19. Расчетная схема к алгоритму определения $K_{yв}$ в выемке

Алгоритмом предусмотрены варианты определения $K_{ув}$ в зоне основания насыпи (регулярной сетки) или подбалластной зоны выемки с оценкой устойчивости по $K_{ув}$, поиска $\min K_{ув}$ (по алгоритму ПКЭ) и проектирования уширения низовой части откоса насыпи с формированием бермы B_6 (с шагом ΔB), в выемке с уположением откосов Δm , уширением закуветной полки $\Delta B_{зп}$, углублением $\Delta H_{уг}$ до соблюдения условия $\min K_{ув} > K_3$, при котором обеспечивается устойчивость против сдвига и выпирания (выпора).

Таблица 4.12-1

**Параметры проектирования поперечного профиля насыпи.
Координаты, коэффициенты стабильности, главные напряжения**

x_i , м	y_i , м	$K_{увi}$	σ_{1i} , кПа	σ_{2i} , кПа
3	11	1.2931	532.553	356.332
5	11	1.2965	527.735	353.239
5	9	1.3264	495.752	333.307
3	9	1.3262	501.190	337.230
1	11	1.2920	534.962	357.936
1	13	1.2973	565.850	380.831
3	13	1.2995	563.718	379.554
1	9	1.3274	503.850	339.295
1	9	1.3274	503.850	339.295
1	11	1.2920	534.962	357.936
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = 1.292$ Величина уширения бермы, м $B_6 = 5$				
1	11	1.3643	536.214	366.784
1	11	1.3643	536.214	366.784
1	9	1.4007	504.601	347.163
1	9	1.4007	504.601	347.163
1	13	1.3685	567.714	390.343
3	13	1.3720	565.648	389.204
3	11	1.3670	533.856	365.335
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = 1.3643$ Величина уширения бермы, м $B_6 = 10$				
1	13	1.4913	569.458	404.189
3	13	1.4971	567.437	403.215
3	11	1.4883	535.020	377.996
1	11	1.4831	537.346	379.278
1	9	1.5161	505.259	357.970
-1	9	1.5161	505.259	357.970
-1	11	1.4831	537.346	370.278
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = 1.4831$ Величина уширения бермы, м $B_6 = 15$				
1	11	1.6120	537.925	390.699
1	11	1.6120	537.925	390.699
1	9	1.6360	505.587	367.620
1	9	1.6360	505.587	367.620
1	13	1.6307	570.376	417.187
3	13	1.6390	568.369	416.317
3	11	1.6196	535.608	308.515
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = 1.612$				

Структурная схема (блок-схема) программного алгоритма вычисления $K_{ув}$ (вариант выемки) показан на рис. 4.20.

В табл. 4.12-1 приведен пример автоматизированного проектирования насыпи (по заданному $K_3 = 1.5$) с уширением бермы. Глобальный $\min K_{ув}$ в осевой зоне (локальные у подошвы откоса), рис. 4.1. В табл. 4.12-2 пример автоматизированного проектирования выемки по условию недопущения пластических деформаций в подбалластной зоне (при $\min K_{ув} = 1,0$) с уположением откосов, углублением, уширением выемки ($\min K_{ув}$ выемки в подбалластной зоне).

Таблица 4.12-2

**Параметры проектирования поперечного профиля выемки.
Координаты, коэффициенты стабильности, главные напряжения**

x_i , м	y_i , м	$K_{ув}$	σ_{1i} , кПа	σ_{2i} , кПа
3	6	.9441	330.165	142.297
5	6	.9779	325.037	144.061
5	4	.9124	248.729	95.657
3	4	.8861	260.478	98.565
3	2	.9336	185.351	64.761
1	2	1.1147	194.991	84.681
1	4	.9002	267.382	103.823
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = .8861$ Величина уположения откосов выемки $m_{уп} = 2$				
1	4	.9545	253.751	103.012
3	4	.9418	245.996	97.518
3	2	.9827	7.224	64.582
1	2	1.1765	187.551	84.560
3	6	1.0030	311.326	139.750
5	6	1.0417	304.720	140.618
5	4	.9763	232.486	93.891
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = .9418$ Величина углубления, уширения выемки, м $h_{уг} = 2,6$, $b_{уш} = 5,2$				
3	6	.9390	334.946	144.097
5	6	.9525	325.245	140.819
5	4	.9247	255.034	100.346
3	4	.9242	272.632	109.477
3	2	1.0517	208.728	87.652
1	2	1.2529	220.418	109.642
1	4	.9480	282.157	117.363
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = .9242$ Ширина заковетной полки, м $B_{зп} = 11,2$				
1	4	1.0233	265.134	116.545
3	4	1.0009	254.663	108.458
3	2	1.1219	198.933	87.563
1	2	1.3418	211.284	109.498
3	6	1.0173	311.078	141.320
5	6	1.0348	299.628	136.989
5	4	1.0120	235.021	98.755
Коэффициент стабильности $\min K_{ув} = 1.0009$ Область возможных пластических деформаций при $K_{ув} < 1,0$				

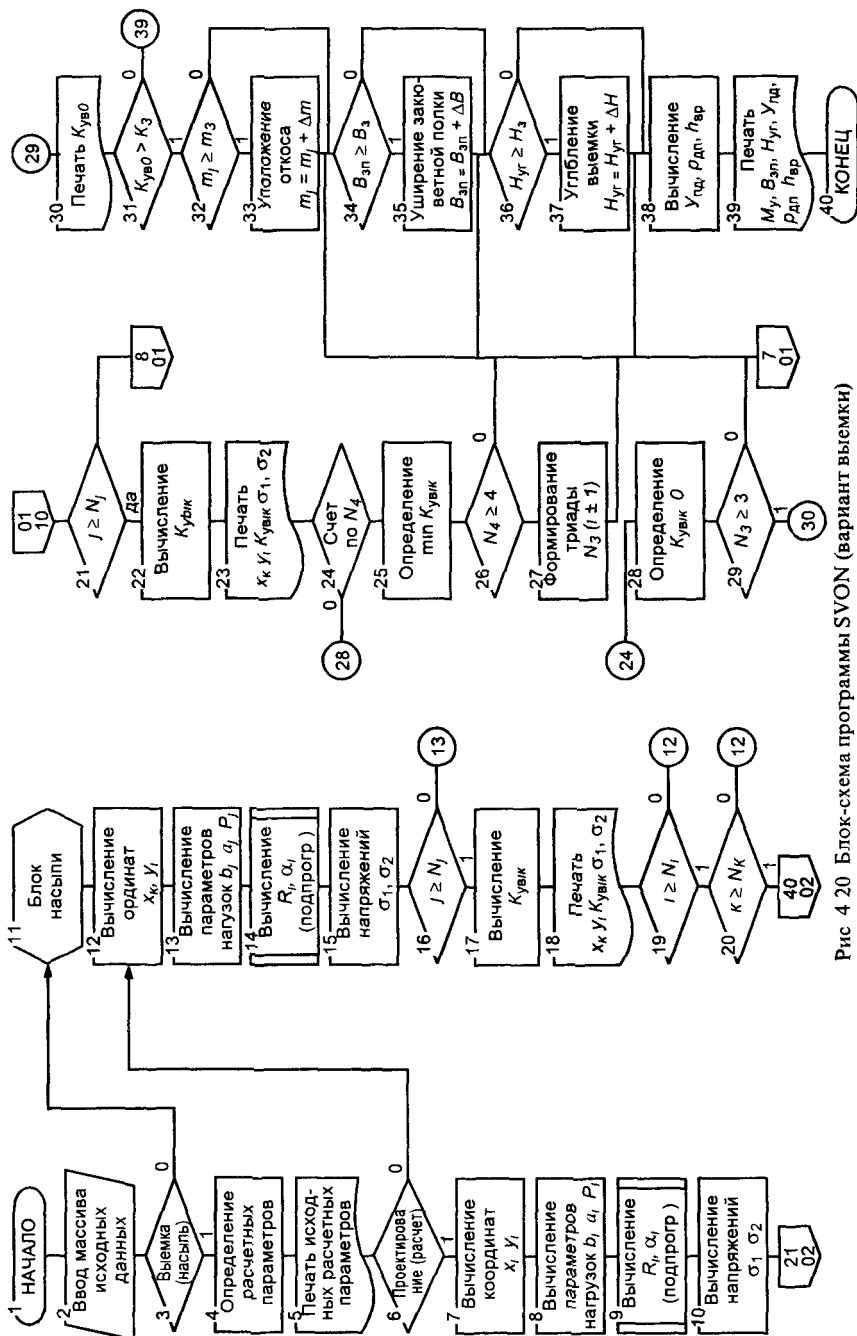


Рис 4 20 Блок-схема программы SVON (вариант выемки)

Наиболее эффективно для уменьшения $K_{ув}$ в выемке уширение закуветных полков, допустимо с увеличением крутизны откосов (по условиям устойчивости) На полке можно разместить автодорогу для нужд текущего содержания и ремонтов пути

Задача 4.28. Рассмотреть напряженно-деформированное состояние выемки, условия формирования пластических деформаций

Решение Методом конечных элементов (МКЭ), например, по программе РГУПС

Рассматривается типовой поперечный профиль выемки с подбалластной зоной (система «выемка — ПБЗ»), половина ПП ввиду симметричности

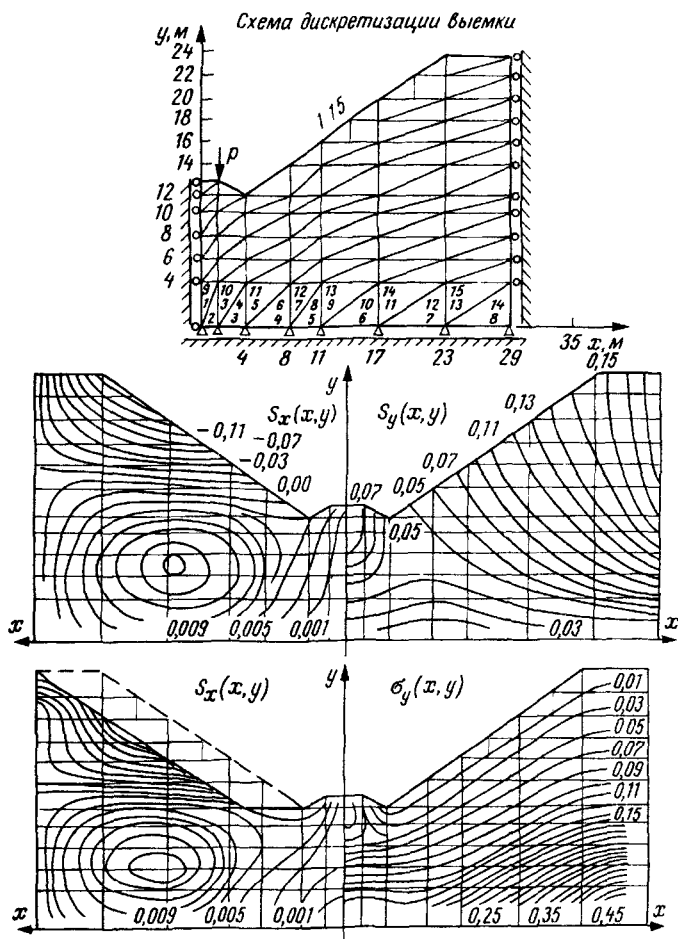


Рис 4 21 Определение перемещений, напряжений в выемке МКЭ

конструкции (системы). Дискретизация выполняется треугольными элементами по схеме, приведенной на рис. 4.21 (показан начальный счет элементов и узлов связи). Величина ПБЗ принята равной глубине выемки ($H_B = 12,0$ м); под ПБЗ жесткие связи (нулевые смещения) Грунтовая среда принимается с характеристиками удельного веса γ_r , модуля упругости E_y (40—80 МПа), коэффициента Пуассона μ_p (0,2-0,5).

Примеры численных реализаций, приведенные на рис. 4.21 (перемещения S_i в м, напряжения σ_i в МПа) показывают, что горизонтальные перемещения в верхней части откоса направлены от оси выемки в сторону откоса, в нижней — к оси выемки в сторону ОП. При слабых грунтах в ПБЗ возможны бугры выпирания. Распределение горизонтальных S_x и вертикальных S_y перемещений согласуется с процессами деформативности откосов ОЗП в гравитационном поле ПКС.

Изотоны σ_y показывают, что распределение нормальных (сжимающих) напряжений соответствует закономерности геостатического распределения вертикальных напряжений ($\sigma = \gamma h$). В ПБЗ наблюдается концентрация напряжений. Закуветная полка в выемке отдаляет эллипс (эллипсоид) наибольших перемещений S_x (и касательных напряжений), что соответственно уменьшает вероятность пластических деформаций, выпора грунтовой массы ПБЗ на ОП выемки.

Программные средства для расчетов и проектирования ОЗП на ПК разрабатываются в лабораториях земляного полотна НИИ транс. стр-ва, (ЦНИИС), ВНИИЖТа, ДорНии, в транспортных вузах, проектных институтах Главтранспроекта (Корпорации «Транстрой»), проектных институтах МПС Российской Федерации.

Раздел 5

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

5.1. Общие положения

Регулирование влияния природных факторов на состояние грунтовой среды является важным условием обеспечения стабильности ОЗП. Прежде всего для предотвращения вредного воздействия ветра, ливневых дождей, подтопления, течения воды, волнового воздействия, льда (от эрозии, размывов, разрушений) необходимы защитные покрытия откосов, берм и других элементов ОЗП. Это травяной покров, получаемый механизированным травосеянием на откосах, в том числе в полосах и клетках из одерновки, плетневых, жердевых, бетоннобрусковых, в георешетках. Это одерновка в клетку, сплошная, в стенку, с ивовыми кольями; посадка кустарника сплошная, полосами, гнездами. Покрытия песком, крупным гравием, щебнем, галькой, каменная наброска, габионы [4, 21, 62]. Это промышленные типы (сборных) плитных покрытий из железобетонных плит разной конструкции, асфальтобетонных, гибкие, решетчатые, омоноличенные и, кроме того, монолитные железобетонные [54, 103]. В базе данных (ЭВМ) Мосгипротранса, например, несколько десятков видов защитных покрытий откосов. Специальные защитные конструкции проектируются в горных условиях, для русел рек, водных акваторий. При проектировании производится выбор типа укрепления ОЗП, технико-экономическое сравнение вариантов с учетом местных условий; расчет конструкций укреплений, покрытий. Конструкции укрепления откосов пойменных насыпей рассчитываются на воздействие волн и текущей воды [13, 90].

Надежными являются плитные покрытия и каменная наброска (из местных материалов). Для каменной наброски можно применять сортированные

камни (с количеством камней расчетного размера $> 75\%$), несортированную горную массу (с количеством камней расчетного размера $> 50\%$). Конструкция покрытий для предотвращения суффозии при эксфильтрации воды в периоды понижения ее уровня в пойме и других случаях предусматривает фильтровую подготовку (обратный фильтр). Для этих же целей применяются синтетические нетканые материалы (СНМ), например, «Дорнит» на пойменных насыпях реки Дон и других. Нужны, однако, специальные меры для предотвращения разрушения СНМ прорастающим разнотравьем.

Для предотвращения промерзания грунтовой среды необходимы термоизолирующие покрытия, например, из пенопластов, от избыточного увлажнения — гидроизолирующие, например, пленочные (полихлорвиниловые и др.), брызольные, асфальтовые и др. покрытия. Это особенно важно для подбалластной зоны и ОП. Ослабления напряженного состояния в подбалластной зоне можно достигнуть армированием СНМ, ровенговой стеклотканью, плитными и другими конструкциями [4, 102, 103].

Строительство железнодорожного пути существенно нарушает естественный природный сток атмосферных и грунтовых (подземных) вод. Необходима система водоотводов для регулирования поверхностного и подземного стоков. Регулирование стока поверхностных вод реализуется водоотводными канавами, лотками, быстротоками (с гасителями энергии), перепадами (одно- и многоступенчатыми), канавами-валами, грунтовыми валами (таковым может быть и нагорный кавальер) [3, 98].

При проектировании решается оптимизационная задача: из множества поперечных очертаний определить гидравлически наивыгоднейшее, при котором для пропуска расхода Q_B площадь водоотвода ω_B будет наименьшей при ограничениях Ω : пропуск расчетного расхода без переполнения ($H_B > h_B$), без заиливания $U_{зи}$, без размывов $U_{рм}$ при уклонах (i_B), коэффициенте шероховатости $K_{ш}$ и нормативных ширине (b_B), крутизне откосов (m_B)

$$\omega_{\min} = f(Q_B, i_B) \rightarrow \min, \\ P_B \in \Omega$$

$$\Omega = \begin{cases} Q_j > Q_p; i_j > i_p; U_{зи} < U_B(K_{ш}) < U_{рм}; \\ H_j > h_j; b_j \geq b_H; m_j = m_H, \end{cases}$$

где $P_B = \langle i_B, b_B, h_B, K_{ш}, m_B \rangle$ — параметры водоотвода.

Оптимальными являются поперечные профили (рис. 5.1) трапецидальной формы с крутизной откосов $m_B = 0,6$, треугольной с $m_B = 1,0$, прямоугольной с отношением $h_B: b_B$ — 1:2 (для лотков). Наиболее оптимальные параболические очертания, в пределе полуокружность (полутруба), табл. 5.1.

Согласно рекомендациям [84] размеры поперечного сечения нагорных канав следует определять по расходу воды вероятностью превышения 1:100 (1%) на линиях скоростных, особо грузонапряженных, I—II категорий; 1:33 (3%) — на линиях III категории и 1:20 (5%) — на линиях IV категории, а продольных канав у насыпей соответственно 1:25 (4%), 1:15 (7%) и 1:10 (10%). Для предупреждения размывов при расчетах водоотводов вероятность превышения не следует принимать более 1%.

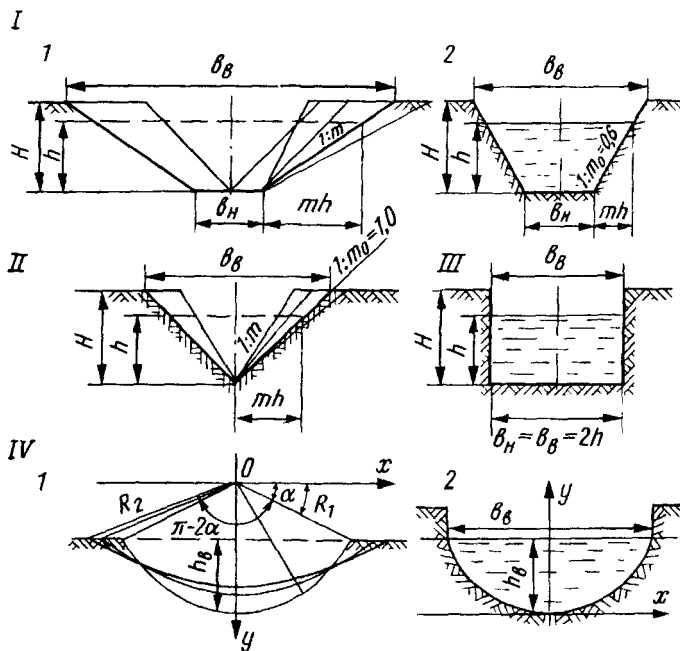


Рис. 5.1. Оптимальные очертания водоотводов (ПП):
 I — трапецидальные: 1 — варианты, 2 — оптимальное;
 II — треугольные — варианты и оптимальное;
 III — прямоугольное — оптимальное;
 IV — параболическое: 1 — варианты, 2 — оптимальное

Таблица 5. 1

Основные параметры
 гидравлически наивыгоднейших сечений водоотводов

Форма живого сечения	Откосы		Ширина, b_B		Глубина h_B	Гидравлический радиус R_r	Кoeffициенты	
	угол, град.	1: m	понизу	поверху			K_m	K_a
Треугольная	45	1:1	0,0	$2,83h_B$	$\omega^{0,5}$	$0,370\omega^{0,5}$	2,828	0,370
Прямоугольная	90	1,0	$2h$	$2,00h_B$	$0,71\omega^{0,5}$	$0,354\omega^{0,5}$	2,000	0,354
Трапецидальная	30	1:2	$0,47h$	$4,47h_B$	$0,64\omega^{0,5}$	$0,318\omega^{0,5}$	4,472	0,318
	33,7	1:1,5	$0,60h$	$3,60h_B$	$0,69\omega^{0,5}$	$0,345\omega^{0,5}$	3,605	0,345
	60	1:0,6	$1,16h$	$2,31h_B$	$0,76\omega^{0,5}$	$0,380\omega^{0,5}$	2,332	0,380
Параболическая	—	—	—	$2,06h_B$	$0,85\omega^{0,5}$	$0,390\omega^{0,5}$	—	0,390
Полукругность	—	—	—	$2,00h_B$	$0,80\omega^{0,5}$	$0,400\omega^{0,5}$	—	0,400

Примечание. $K_m = 2\sqrt{1 + m^2}$; $K_a = (2\sqrt{K_m - m})^{-1}$.

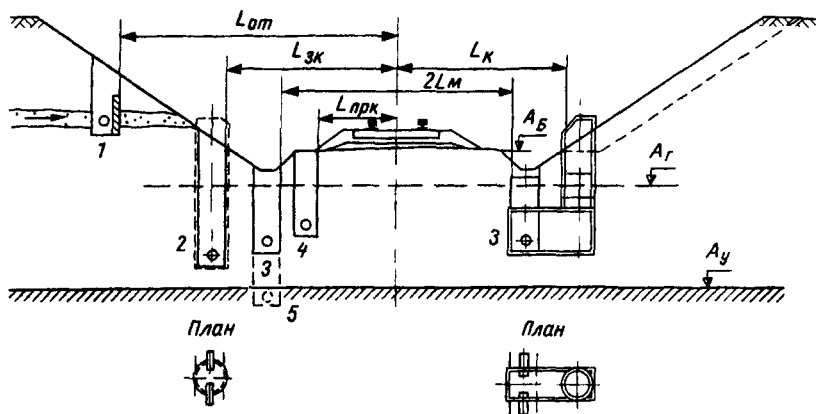


Рис. 5.2. Виды дренажей (по расположению на ПП выемки): 1 — откосный, 2 — закуветный (односторонний несовершенный); 3 — подкуветный (двусторонний); 4 — предкуветный (односторонний); 5 — подкуветный (односторонний совершенный)

Проектирование водоотводов гидравлически наиболее выгоднейших очертаний эффективно с использованием ПК. Следует иметь в виду, не очевидно, что наибольшие размеры ω_b на низовом участке, где Q_{\max} , так как ω_b зависит еще и от величины продольного уклона i_b . Поэтому в программах необходима соответствующая коррекция. Во многих случаях достаточно пользоваться ЭТ.

Эффективными конструкциями для регулирования грунтовых (подземных) вод являются дренажи. При проектировании дренажей производится (и в задачах рассматриваются) определение технической эффективности, выбор типа и местоположения в плане и продольном профиле; расчеты глубины заложения, сроков осушения, расхода воды в дренаж; подбор состава дренирующего заполнителя; выбор и гидравлический расчет трубы (дрены); разработка конструкций смотровых колодцев и других элементов.

Тип дренажа выбирается с учетом местных условий: гравитационный, горизонтальный, закрытый, траншейный, трубчатый, односторонний или двухсторонний, несовершенный или совершенный (врезанный в водоупор) и т. п. По размещению на выемке (рис. 5.2) дренажи могут быть закуветными, под- или предкуветными, откосными (при водоносных горизонтах); в нагорном склоне могут быть галереи, штольни. Для осушения подбалластной зоны наиболее эффективны (и наиболее распространенные) дренажи траншейные трубчатые подкуветные двусторонние (по местным условиям). Для дрен используются трубы преимущественно керамические, асбоцементные, бетонные для коллекторов, трубофильтры. Для предупреждения калематации отверстий, щелей в трубах, заиливания труб рассчитывается и устраивается дренажная обсыпка (с функциями обратного фильтра). В этих же целях применяют геотекстиль [24, 47, 110, 113].

Регулирование поверхностного и подземного стоков воды, защитные покрытия существенно снижают увлажнение грунтовой среды ОЗП. В случаях необходимости для улучшения прочностного состояния грунтов возможны специальные меры технической мелиорации: цементация, битумизация, силикатизация, смолизация (введением синтетических смол: карбамидной и др.). Грунты приобретают свойства гидрофобности, структурной прочности. Возможно применение электрохимических способов, термических (обжига, замораживания) и др. Широко доступна фитомелиорация с использованием растений. Если возникают сложности с осуществлением технической мелиорации, возможна вырезка и замена грунтов другими, например, дренирующими, удовлетворяющими условиям стабильности ОЗП. При выборе вариантов необходимы стоимостные оценки.

5.2. Расчеты конструкций укрепления, защитных покрытий

Задача 5.1. Рассчитать укрепление откосов каменным одиночным мощением (одиночной мостовой).

Исходные данные: $m_{от}$, λ_B , h_B , U_B , γ_K , γ_B , (или ρ_K , ρ_B).

Расчетная схема на рис. 5.3.

Решение. Определяется масса камня или вес камня по $\gamma_K = M_K g$.

Масса камня $M_K = [0,17\rho_K/(\rho_K - \rho_B)^3] \cdot [1/(m_{от} - 0,8) - 0,15]h_B^3$

При $\lambda_B/h_B < 20$ $Q_K = [0,17\gamma_K/(\gamma_K - \gamma_B)^3] \cdot [1/(m_{от} - 0,8) - 0,15]h_B^3$.

Вычисляется средний размер камня $d_{ср} = 1,2408 \sqrt[3]{Q_K/\gamma_K}$,

средняя допустимая (пристенная) скорость потока воды $U_d = 2\sqrt{gd_{ср}}$;

фактическая продольная скорость воды $U_\phi = 0,85U_B$.

Устойчивость мощения против сдвижек камней обеспечивается при условии $U_d > U_\phi$.

Если $U_\phi > U_d$, необходимо увеличить вес камней, приняв $U_d = U_\phi$.

Тогда $d_{ср} = U_\phi^2/(4g)$; $Q_K = (1/1,2408^3)d_{ср}^3\gamma_K = 0,523d_{ср}^3\gamma_K$.

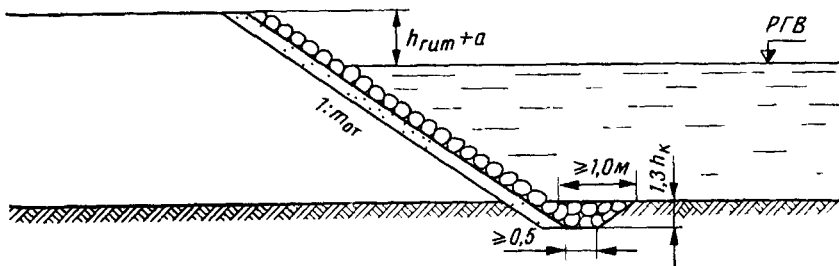


Рис. 5.3. Укрепление откоса одиночным мощением

Пример. Дано: $m_{от} = 1,5$; $\lambda_B = 2,83$ м, $h_B = 0,22$ м; $\gamma_K = 24,5$ кН/м³; $\gamma_B = 10,0$ кН/м³; $v_B = 2,0$ м/с.

Расчетная схема на рис. 5.3. Подстилающий слой — песчаногравийная смесь или гравелистый песок.

Решение. $\lambda_B/h_B = 2,83/0,22 = 12,9 < 20$.

Определяем

$$Q_K = [0,17 \cdot 24,5 / (24,5 - 10,0)^3] \cdot [1 / (1,5 - 0,8) - 0,15] 0,22^3 = 0,02 \text{ кН/м}^3;$$

вычисляем $d_{cp} = 1,2408 \sqrt[3]{0,02/24,5} = 0,12$ м;

$$v_d = 2\sqrt{9,81 \cdot 0,12} = 2,17 \text{ м/с} > v_{ф} = 0,85 \cdot 2,0 = 1,9 \text{ м/с}.$$

Устойчивость каменного мощения обеспечивается.

Задача 5.2. Рассчитать конструкцию каменной наброски для укрепления низовой части пойменной насыпи.

Исходные данные: λ_B , $h_{1\%}$, γ_K , γ_B , K_{fr} , $\alpha_{от}$.

Расчетные схемы на рис. 5.4. Каменная наброска состоит из верхнего (первого), нижнего (второго) слоя камня и обратного фильтра (фильтровой подготовки). Рисберма: $h_p = 0,8 - 1,0$ м; $b_p > 0,6$ м (при слабых грунтах).

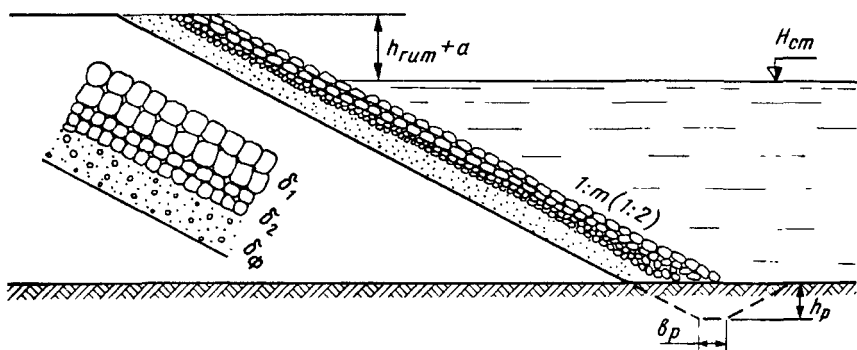


Рис. 5.4. Укрепление откоса каменной наброской

Решение. Определяются расчетная масса камня верхнего слоя в зоне обрушения волны [90] до глубины $Z < 0,7h_B$

$$M_K = K_{fr} \rho_K h_{B2\%}^2 \lambda_B / [(\rho_K / \rho_B - 1)^3 \sqrt{1 + \text{ctg}^3 \alpha_{от}}]$$

$$\text{или вес камня } Q_K = K_{fr} \gamma_K h_{B2\%}^2 \lambda_B / [(\gamma_K / \gamma_B - 1)^3 \sqrt{1 + \text{ctg}^3 \alpha_{от}}];$$

при $Z > 0,7h_B$

$$Q_z = Q_K e^{-7,5Z^2 / (\lambda_B / h_B)},$$

где K_{fr} — коэффициент, учитывающий форму наброски: 0,025 для крупного камня; 0,021 бетонных блоков; 0,008 для тетраподов;

$h_{B2\%}$ — высота волны с обеспеченностью 2%; $h_{B2\%} = h_{B1\%} K_{2\%}$.

Расчетный размер камня (приведенного к шару)

$$\text{верхнего (первого) слоя } d_{ш1} = 1,2408 \sqrt{Q_K / \gamma_K};$$

$$\text{нижнего (второго) слоя } d_{ш2} = 0,37 d_{ш1}.$$

Толщина слоев каменной наброски

верхнего (первого) $\delta_1 = K_c d_{ш1}$; нижнего (второго) $\delta_2 = K_c d_{ш2}$.

Коэффициент K_c принимается равным 2,0 при многослойной (двухслойной) наброске; 2,5 — при наброске из сортированных камней; 3,0 — при несортированной горной массе.

Общая толщина каменной наброски $\delta_{кн} = \delta_1 + \delta_2$.

Пример. Дано: $m_{от} = 2$; $\lambda_B = 9,3$ м, $h_{в2\%} = 0,81$ м; $\gamma_k = 25,0$ кН/м³; $\gamma_B = 10,0$ кН/м³; $K_{fr} = 0,025$; $K_{2\%} = 0,9$ (по задаче 2.22).

Расчетная схема на рис. 5.4. $m_{от} = \text{ctg}\alpha_{от}$.

Решение. Определяем $h_{в2\%} = 0,81 \cdot 0,9 = 0,73$ м;

вес камня верхнего слоя

$$Q_k = 0,025 \cdot 25,0 \cdot 0,73^2 \cdot 9,3 / [25,0 / 10,0 - 1]^3 \cdot \sqrt{1 + 2^3} = 0,306 \text{ кН};$$

расчетный размер камня первого слоя $d_{ш1} = 1,2408 \sqrt{0,306 / 25,0} = 0,286$ м,

второго $d_{ш2} = 0,37 \cdot 0,286 = 0,106$ м.

Определяем толщину каменной наброски

первого слоя $\delta_1 = 2 \cdot 0,286 = 0,572$ м;

второго $\delta_2 = 2 \cdot 0,106 = 0,212$ м;

общую $\delta_{кн} = 0,572 + 0,212 = 0,784$ м.

Расчет обратного фильтра см. в задачах 5.4, 5.5.

Задача 5.3. Рассчитать конструкцию сборного покрытия из железобетонных плит для укрепления низовой части откоса пойменной насыпи.

Исходные данные: $m_{от}$, λ_B , h_B , $\gamma_{п}$, γ_B .

Расчетные схемы: на рис. 5.5 сборное покрытие из железобетонных плит и обратного фильтра; на рис. 5.6 гибкое покрытие из железобетонных плит с гидроизоляционными прокладками в швах (при слабых грунтах основания — с рисбермой или фартуком).

Решение. Выбираются размеры плит $A \times B$, м в зависимости от U_d , h_B , длины откоса $l_{от}$, грузоподъемности кранов (прил. 5.6).

Определяется толщина плиты покрытия грунтового откоса [4]

$$\delta_{п} = 0,007 K_3 K_{п} h_{в2\%} \sqrt{\lambda_B / B_{пл}} \cdot [\gamma_B / (\gamma_{п} - \gamma_B)] \cdot \sqrt{m_{от}^2 + 1} / m_{от} > 0,10 \text{ м.}$$

Здесь K_3 — коэффициент запаса (1,2); $K_{п}$ — коэффициент, принимаемый для сборного покрытия 1,1, монолитного 1,0; $B_{пл}$ — длина ребра плиты, нормально урезу воды.

Количество плит $n_{пл} = l_{от} / B_{пл}$; длина откоса $l_{от} = H_{нк} \sqrt{1 + m_{от}^2}$.

Ширина швов между плитами $b_{ш} = 0,01$ м.

В основании покрытия бордюрный упор и рисберма (в слабых грунтах).

При действии воды, текущей вдоль откоса со скоростью U_T , толщина плиты проверяется по формуле

$$\delta_{п} = 0,67 K_3 K_{ид} U_T^2 \gamma_B / [g / (\gamma_{п} - \gamma_B)], \text{ приближенно } \delta_{п} = 0,01 U_T^2,$$

где K_3 — коэффициент запаса, $K_3 = 1,3—1,5$;

$K_{ид}$ — коэффициент избыточного давления: 0,30—0,35 для плит с закрытыми швами, 0,20—0,25 — с открытыми швами.

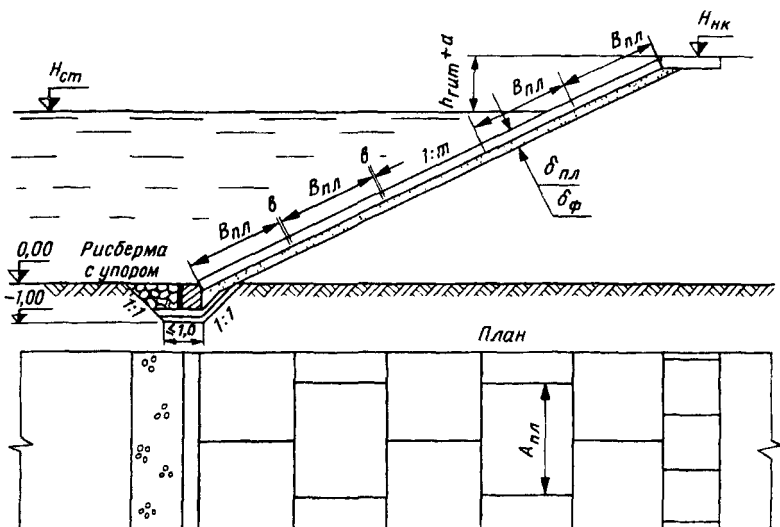


Рис 5.5. Укрепление откоса гибкими плитными покрытиями

Учитывается также максимальная скорость U_0 в момент наката волны на откос (на статическом уровне)

$$U_0 = [10K_{ш}\sqrt{g}(2\pi + m_{от})]^6 \sqrt{h_{в1\%}^2 \lambda_{в}},$$

где $K_{ш}$ — коэффициент шероховатости (при плитном покрытии 0,90).

Пример. Дано: $m_{от} = 2$; $\lambda_{в} = 12,2$ м; $h_{в1\%} = 1,05$ м; $\gamma_{п} = 26,0$ кН/м³; $\gamma_{в} = 10,0$ кН/м³; $K_3 = 1,2$; $K_{п} = 1,1$; $H_{нк} = 5,7$ м.

Расчетная схема на рис. 5.5.

Решение. Определяем длину откоса $l_{от} = 5,7\sqrt{1 + 2^2} = 12,7$ м. Выбираем плиты 3,0 x 2,5 м (прил. 5.6).

Определяем количество плит $n_{пл} = 12,7/2,5 = 5$ плит; толщину плиты $\delta_{п} = 0,007 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \sqrt{12,2/3,0} [10,0/(26,0 - 10,0)] \sqrt{2^2 + 1/2} = 0,108$ м, принимаем $\delta_{п} = 0,12$ м.

Проверяем толщину плиты по действию воды, текущей вдоль откоса со скоростью 3,5 м/с. Принимаем $K_3 = 1,3$; $K_{ид} = 0,20$.

$\delta_{п} = 0,67 \cdot 1,3 \cdot 0,2 \cdot 3,5^2 \cdot 10,0 [9,81(26,0 - 10,0)] = 0,136$ м, по приближенной формуле $\delta_{п} = 0,01 \cdot 3,5 = 0,123$ м.

Окончательно толщину плиты принимаем $\delta_{п} = 0,15$ м.

Расчеты обратного фильтра в задачах 5.4 и 5.5.

Задача 5.4. Рассчитать однослойный обратный фильтр.

Исходные данные: $\lambda_{в}$, $h_{в2\%}$; гранулометрический состав грунта ($d_{50г}$); для каменной наброски $d_{ш2}$; для плитного покрытия $b_{ш}$.

Решение. Зерновой состав материала обратного фильтра принимается для каменной наброски

$$d_{50ф} = (1/5)d_{ш2}; \quad d_{30ф} = (5/6)d_{50г};$$

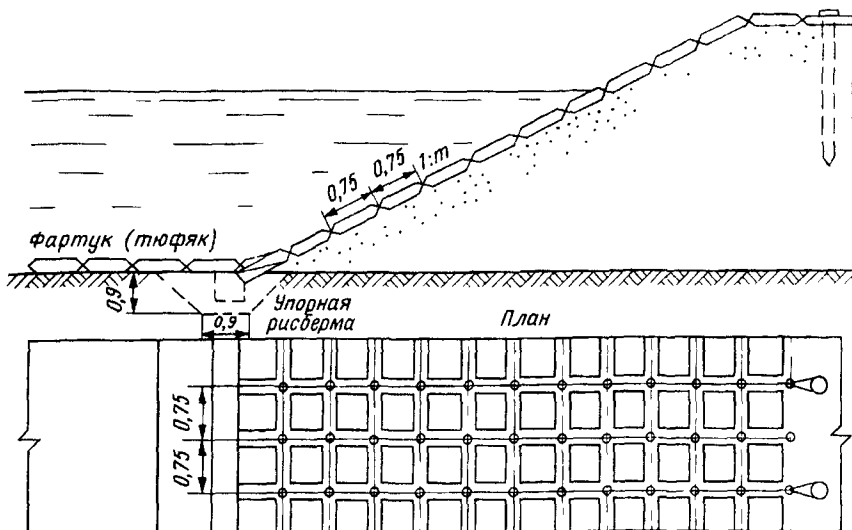


Рис 5.6 Укрепление откоса гибким плитным покрытием

при коэффициенте неоднородности (материала) $U_H = d_{60\phi}/d_{10\phi} = 12$ (до 20);
для плитного покрытия

$$d_{50\phi} = 2b_{ш}; \quad d_{30\phi} = (5/6)d_{50\phi};$$

при коэффициенте неоднородности $U_H = d_{60\phi}/d_{10\phi} = 5 \dots 12(20)$.

Определяется толщина фильтра

$$\delta_{\phi} = 4,75d_{50\phi} \ln(\varphi_0 d_{50\phi}/d_{50r}) = 10,94d_{50\phi} \lg(\varphi_0 d_{50\phi}/d_{50r}),$$

где отношение $d_{50\phi}/d_{50r} = K_{\phi r}$ — коэффициент междуслойности.

Если пологость волны $\lambda_B/h_{B1\%} < 15$, то φ_0 вычисляется по формуле

$$\varphi_0 = \varphi_{от} - 0,0025(15 - \lambda_B/h_{B1\%}),$$

где $\varphi_{от}$ берется по табл. 5.2 в зависимости от $m_{от}$, h_B .

Должно быть $0,35 \leq \delta_{\phi} \geq 10d_{50\phi}$ при открытых швах;

$0,15 \leq \delta_{\phi} \geq 4d_{50\phi}$ при омоноличенных плитах.

Таблица 5.2

Значения коэффициента $\varphi_{от}$ ($m_{от}$, h_B)

$m_{от}$	Значения $\varphi_{от}$ при h_B , м				
	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
2	0,1250	0,1825	0,2625	0,3228	0,3733
3	0,0973	0,1458	0,2083	0,2550	0,2892
4	0,0783	0,1125	0,1583	0,1758	0,2167
5	0,0583	0,0833	0,1146	0,1375	0,1563

Пример 1. Рассчитать однослойный фильтр для каменной наброски.

Дано: $\lambda_B = 8,4$ м, $h_{B2\%} = 0,65$ м; $d_{50r} = 0,08 \cdot 10^{-3}$ м; $d_{ш2} = 0,12$ м.

Решение. Принимаем материал фильтра с характеристиками

$d_{50ф} = 0,12/5 = 0,024$ м, $d_{30ф} = (5/6)0,024 = 0,02$ м; $U = 12$.

Пологость волны $\lambda_B/h_B = 8,4/0,65 = 12,923 < 15$;

$\varphi_{от} = 0,1250 + [(0,1825 - 0,1250)/(1,0 - 0,5)](0,65 - 0,50) = 0,1422$ (табл. 5.2);

$\varphi_0 = 0,1422 - 0,0025(15 - 12,923) = 0,137$.

Толщина однослойного фильтра

$\delta_ф = 10,94 \cdot 0,024 \lg(0,137 \cdot 0,024/0,00008) = 0,423$ м; принимаем $\delta_ф = 0,45$ м.

Пример 2. Рассчитать однослойный фильтр для плитного покрытия.

Дано: $\lambda_B = 9,4$ м, $h_{B1\%} = 0,75$ м, $b_{ш} \leq 0,01$ м.

Решение. Принимаем материал фильтра с характеристиками

$d_{50ф} = 2 \cdot 0,1 = 0,02$ м; $d_{30ф} = (5/6)0,02 = 0,017$ м; $U_H = 5 \dots 12$.

Пологость волны $\lambda_B/h_B = 9,4/0,75 = 12,368 < 15$;

$\varphi_{от} = 0,1250 + 0,115(0,75 - 0,50) = 0,1537$ (табл. 5.2);

$\varphi_0 = 0,1537 - 0,0025(15 - 12,368) = 0,147$;

$\delta_ф = 10,94 \cdot 0,02 \lg(0,147 \cdot 0,02/0,00008) = 0,343$ м; принимаем $\delta_ф = 0,35$ м.

Задача 5.5. Рассчитать двухслойный обратный фильтр.

Исходные данные: λ_B , $h_{B2\%}$; грансостав грунта, $d_{50ф}$; $d_{шн}$ (нижнего слоя) для каменной наброски, $b_{ш}$ — величина шва для плитного покрытия.

Решение. Для первого (верхнего) слоя фильтра принимается материал:

для каменной наброски $d_{50ф1} = (0,2 \dots 0,15)d_{шн}$

при коэффициенте неоднородности материала $U_H = d_{60,1}/d_{10,1} = 2 \dots 3$;

для плитного покрытия $d_{мин1} > b_{ш}$; $d_{50,1} > 1,5b_{ш}$ при $U_H = 2 \dots 3$.

Толщина обратного фильтра

$\delta_{ф1} = 4,75d_{50,1} \ln(\varphi_0 K_{1,2}) = 10,94d_{50,1} \lg(\varphi_0 K_{1,2})$; $\min \delta_{ф1} = 0,2$ м.

Принимаем материал для второго (нижнего) слоя фильтра:

при каменной наброске и плитном покрытии коэффициенты

междуслойности $K_{2r} = d_{50ф}/d_{50r} \leq 10$;

неоднородности материала $U_{H2} = d_{60,1}/d_{10,2} = 6 \dots 8$.

Толщина обратного фильтра

$\delta_{ф2} = 4,75d_{50,2} \ln(\varphi_0 K_{2r}) = 10,94d_{50,2} \lg(\varphi_0 K_{2r})$,

где $K_{2r} = d_{50,2}/d_{50r}$; $d_{50,2} = d_{50,1}/K_{1,2}$; $K_{1,2} = (1/\varphi_0)e^{\delta_{ф1}/4,75d_{50,1}}$.

Минимальная толщина второго слоя фильтра $\min \delta_{ф1} = 0,15$ м.

Полная толщина двухслойного обратного фильтра $\delta_ф \geq 0,35$ м.

В качестве обратного фильтра (фильтровой подготовки) под плитными укреплениями можно применять покрытия из геотекстиля типа «Дорнит» и др., которые размещаются в защитном песчаном слое (тканевые фильтры).

Задача 5.6. Определить пригодность имеющегося карьерного материала для (второго слоя) обратного фильтра плитного покрытия.

Исходные данные: гранулометрический (зерновой) состав песчано-гравийной смеси, необходимый размер $d_{50ф}$.

Решение. Определяются размеры частиц фильтра:

требуемые $d_{30ф} = (5/6)d_{50ф}$; $U_{нф} = 6...8$;

фактические $d_{50ф}$, $d_{30ф}$, $U_{нф}$ (по графику грансостава).

Если карьерный материал не удовлетворяет требуемым условиям, его обогащают отсевом фракций или заменяют другим (из другого карьера).

Пример. Дано: грансостав песчано-гравийной смеси (табл. 5.3), необходимый размер $d_{50ф} = 0,9 \cdot 10^{-3}$ м.

Таблица 5.3

Гранулометрический состав песчано-гравийной смеси

d_i , мм	5,0—2,0	2,0—1,0	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1
g_{i1} , %	40	18	16	11	10	5
g_{i2} , %	20	24	21	15	14	6

Решение. Строим график грансостава песчано-гравийной смеси (рис. 5.7), по которому определяем фактические размеры

$d_{50ф} = 1,4$ мм; $d_{60ф} = 2,0$ мм; $d_{10ф} = 0,2$ мм
и $U_{нф} = 2,0/0,2 = 10 > 8$.

Поскольку размерные характеристики фактические не соответствуют требуемым, производим обогащение материала отсевом крупной фракции $(5-2) \cdot 10^{-3}$ м (на 20 %, табл. 5.3, g_{i2}).

Сумма фракций $\Sigma g_{i < 2}$, составлявшая прежде 60%, теперь равна 80%. Соответственно удельное содержание каждой фракции увеличиваем в 1,33 раза.

Строим график по Σg_{i2} (на рис. 5.7 график 2) и определяем

$d_{50,2'} = 0,9$ мм; $U_{нф2'} = 1,2/0,15 = 8$.

Обогащенный песчано-гравийный материал удовлетворяет условиям устройства второго слоя обратного фильтра покрытия.

Задача 5.7. Запроектировать укрепление низовой части откоса пойменной насыпи гибким решетчатым покрытием.

Решение. Конструкция гибкого решетчатого покрытия (рис. 5.8) состоит из железобетонных пересекающихся гирлянд, образующих клетки (ячейки) $3,0 \times 4,5$ ($4,5 \times 4,5$) м, которые заполняются камнем (несортированной горной массой), щебнем или галькой и имеют подстилающее противосуффозионное покрытие.

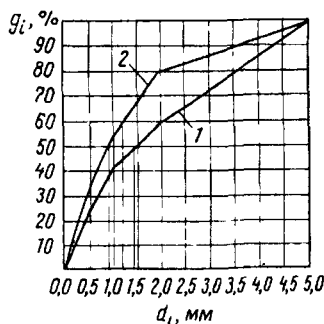


Рис. 5.7 График гранулометрического состава песчано-гравийной смеси
1 — до обогащения,
2 — после обогащения

Необходимый средний диаметр щебня и гальки для заполнения клеток решетчатого покрытия

$$d_p = K_p [\gamma_k / (\gamma_k - \gamma_b)] \sqrt{[1 / (1 + m_{от}^3)] (\gamma_b / h_b)},$$

где K_p — коэффициент решетки;

$$K_p = (0,39 \div 0,92) \delta_p / t_p \quad (\delta_p, t_p \text{ — размеры: высота ребра, шаг решетки}).$$

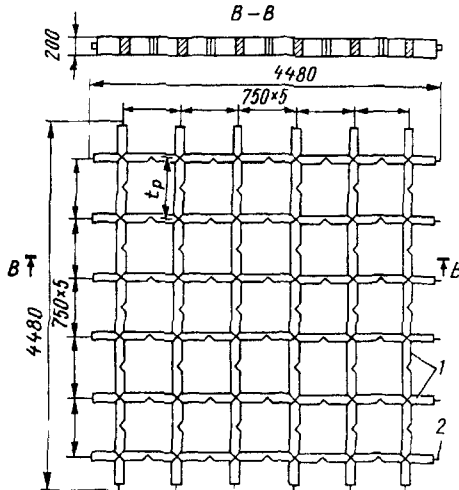


Рис. 5.8. Блок решетчатого покрытия.
1 — гибкая железобетонная girлянда (сечением 20,0 x 7,5 см); 2 — петля для стыкования

Расчетная схема на рис. 5.9.

Решение. Границы укрепления откоса насыпи:

основного — верхняя (от подошвы откоса) $H_{вгос} = H_{нк}$ (уровень наката волны);

$$\text{— нижняя } H_{нгос} = H_{ст} + h_{пд} - Z_{нгос} = H_{стп} - Z_{нгос},$$

где — $Z_{нгос}$ от уровня подпертого горизонта воды $H_{стп}$; $Z_{нгос} \geq 2h_{в1\%}$;

облегченного — верхняя $H_{вгоб} = H_{нгос}$;

— нижняя $H_{нгоб}$ определяется по допустимой (неразрывающей) скорости для грунта v_d (прил. 5.1), по формуле

$$v_z = \pi K_{п} h_{в5\%} \sqrt{(\pi \lambda_{в} / g) S h (4\pi Z_{нгоб} / \lambda_{в})} = v_d;$$

где $K_{п}$ — коэффициент; $K_{п} = 0,6; 0,7; 0,75; 0,8$ в зависимости от пологости волны $\lambda_{в} / h_{в} = 5,0; 10,0; 15,0; 20,0$.

Пример. Дано: $\lambda_{в} = 10,6$ м; $h_{в1\%} = 1,05$ м; $H_{п} = 7,12$ м; $H_{нк} = 8,67$ м; грунт — песок мелкий; $m_{от} = 2$.

Расчетная схема на рис. 5.9.

В качестве подстилающего противосуффозионного покрытия (в виде мата) можно применять синтетическое нетканное (иглопробивное) полотно типа «Дорнит» для дорожного строительства, а также другие аналогичные (на основе капрона, полиэтилена) рулонные материалы, стеклоткани.

Дорнит имеет плотность 600 г/м^2 , толщину 4 мм, прочность на разрыв ($H/5\text{см}$) 350 Н продольно, 200 — в поперечном направлении, удлинение соответственно 80 и 140 %.

Задача 5.8. Определить границы основного и облегченного укрепления откосов.

Исходные данные:

параметры волны $\lambda_{в}$, $h_{в1\%}$,

$H_{п}$, $H_{нк}$ по задаче 2.13;

грунт насыпи; v_d , $m_{от}$.

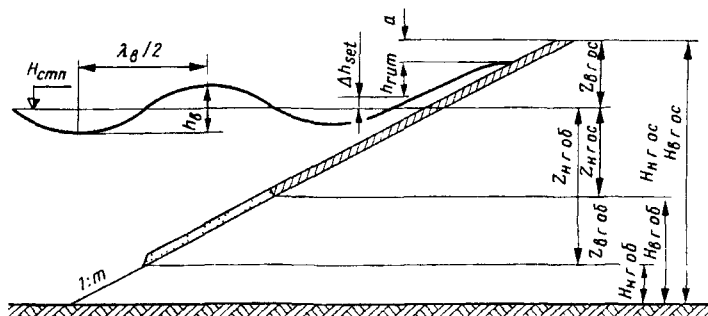


Рис. 5.9 Границы крепления низовой части откоса пойменной насыпи.

Решение. $H_{\text{вгос}} = H_{\text{нк}} = 8,67 \text{ м}$;

$Z_{\text{нгоб}} \geq 2 \cdot 1,05 = 2,10 \text{ м}$; $H_{\text{нгоб}} = 7,12 - 2,10 = 5,02 \text{ м}$.

Для определения $Z_{\text{нгоб}}$ принимаем $v_{\text{д}} = 0,20 \text{ м/с}$ для песка мелкого (прил. 5.1);

$K_{5\%} = 0,8$ (по задаче 2.22).

$h_{\text{в}5\%} = 0,8 \cdot 1,05 = 0,84 \text{ м}$; $\lambda_{\text{в}}/h_{\text{в}1\%} = 10,6/0,84 = 12,62$; $K_{\text{п}} = 0,726$;

$Sh(4\pi \cdot Z_{\text{нгоб}}/10,6) = (\pi \cdot 9,81 \cdot 0,726^2 \cdot 0,84^2)/(0,20^2 \cdot 10,6) = 27,0324$

По таблицам гиперболического синуса (прил. 5.2) находим аргумент 4,0

$Z_{\text{нгоб}} = (4,0 \cdot 10,6)/(4\pi) = 3,37 \text{ м}$;

$H_{\text{нгоб}} = 7,12 - 3,37 = 3,75 \text{ м}$.

Задача 5.9. Определить тип и толщину облегченного укрепления откоса пойменной насыпи.

Исходные данные: параметры волны: $\lambda_{\text{в}}$, $h_{\text{в}1\%}$; $d_{50\text{г}}$.

Расчетная схема на рис. 5.9.

Решение. Определяется $Z_{\text{нгоб}} = 2h_{\text{в}1\%}$;

$K_{\text{п}}$ — по пологости волны ($\lambda_{\text{в}}/h_{\text{в}1\%}$).

Тип облегченного крепления определяется в зависимости от волновой скорости

$$v_z = \pi K_{\text{п}} h_{\text{в}1\%} / \sqrt{(\pi \lambda_{\text{в}}/g) Sh(4\pi Z_{\text{нгоб}}/\lambda_{\text{в}})}$$

$d_{50\text{об}}$ облегченного крепления принимается по графику начальных скоростей трогания частиц грунта (прил. 5.3).

Толщина облегченного крепления

$$\delta_{\text{об}} \geq 10,94 d_{50\text{об}} \lg(\varphi_0 d_{50\text{об}}/d_{50\text{г}}) = 4,75 d_{50\text{об}} \ln(\varphi_0 d_{50\text{об}}/d_{50\text{г}}).$$

Пример. Дано: $\lambda_{\text{в}} = 11,3 \text{ м}$; $h_{\text{в}1\%} = 0,87 \text{ м}$; $d_{50\text{г}} = 0,00004 \text{ м}$.

Расчетная схема на рис. 5.9.

Решение. Определяем $Z_{\text{нгоб}} = 2 \cdot 0,87 = 1,74 \text{ м}$;

пологость волны $\lambda_{\text{в}}/h_{\text{в}} = 11,3/0,87 = 12,99$; $K_{\text{п}} = 0,73$.

Вычисляем волновую скорость

$$\begin{aligned} v_z &= \pi \cdot 0,73 \cdot 0,87 / \sqrt{(\pi \cdot 11,3/9,81) Sh(4\pi \cdot 1,74/11,3)} = \\ &= 1,995 / \sqrt{3,619 \cdot 3,280} = 0,58 \text{ м/с.} \end{aligned}$$

$Sh 1,935 = 3,280$ (прил. 5.2).

Для полученной v_z по графику прил. 5.3. принимаем размер частиц об-легченного крепления $d_{50об} \geq 10$ мм.

$$\begin{aligned} \text{Коэффициент } \varphi_{от} &= 0,1250 + 0,115(0,87 - 0,50) = 0,1676 \text{ (табл. 5.2);} \\ \varphi_0 &= 0,1676 - 0,0025(15 - 12,99) = 0,1625. \end{aligned}$$

Толщина облегченного крепления

$$\delta_{об} = 4,75 \cdot 0,010 \cdot \ln(0,1625 \cdot 0,010/0,00004) = 0,176 = 0,2 \text{ м.}$$

Задача 5.10. Определить объемы и стоимость укрепления откосов.

Исходные данные: $H_{нк}$, $L_{от}$ (длина откоса), $m_{от}$, δ_y , δ_ϕ .

Расчетные схемы на рис. 5.3-6.

Решение. По $m_{от}$ определяется $\alpha_{от}$ (угол наклона откоса)

$$\alpha_{от} = \arctg(1/m_{от});$$

площадь укрепления откоса $F_y = H_{нк} L_{от} / \sin \alpha_{от}$;

объемы слоев укрепления $V_y = \delta_y F_y$;

обратного фильтра $V_\phi = \delta_\phi F_\phi$.

Общая стоимость укрепления

$$C_y = V_y c_y + V_\phi c_\phi + (V_y + V_\phi) c_{yy},$$

где c_y , c_ϕ — стоимость материала укрепления, обратного фильтра;

c_{yy} — стоимость работ по устройству укрепления откосов.

Стоимость укрепления определяется для каждого варианта и служит обоснованием для его выбора.

Задача 5.11. Определить густоту и виды посадок для предотвращения размывов откосов (продольным течением воды), ширину волногасящих лесопосадок у пойменной насыпи.

Исходные данные: H_n , $H_{ст}$, λ_b , h_b .

Расчетная схема на рис. 5.10.

Решение. Расчеты густоты a , высоты $H_{пс}$ и видов защитных посадок, ширины волногасящих лесопосадок L выполняются согласно Альбому конструкций креплений откосов земляного полотна железных дорог [4, листы 125-127].

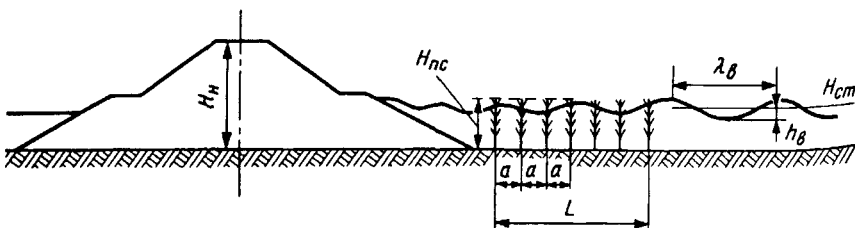


Рис. 5.10. Расчетная схема для определения густоты волногасящих лесопосадок

5.3. Регулирование поверхностного стока воды

5.3.1. Расчеты водоотводных канав

Задача 5.12. Определить принципы гидравлического расчета водоотводов.

Принципы расчетов. Для отвода поверхностных вод проектируются водоотводы: канавы, кюветы, лотки, на крутых склонах быстротоки, перепады.

По известной площади водосборного бассейна F_j определяется q_j — расчетный расход воды для ливневого стока или от снеготаяния.

При гидравлическом расчете водоотводов определяются размеры поперечного профиля h_b , b_b ; продольный уклон i_b ; вид укрепления.

Используются зависимости: для расхода воды $Q_b = \omega_b u_b$, где ω_b — площадь живого сечения;

скорость течения воды (по Шези) $u_b = C_n \sqrt{R_\Gamma i_b}$, коэффициент $C_n = (1/K_{ш}) R_\Gamma^y$; гидравлический радиус $R_\Gamma = \omega_b / \chi_b$;

площадь живого сечения $\omega_b = b_b h_b + m h_b^2$;

смоченный периметр $\chi_b = b_b + K_m h_b$; $K_m = \sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}$,

$y = \alpha_y \sqrt{K_{ш}}$, где $\alpha_y = 1,5$ при $R_\Gamma < 1,0$ м, $\alpha_y = 1,3$ при $R_\Gamma > 1,0$ м;

для водоотводных канав гидравлически наивыгоднейшего сечения (наименьших объемов работ) площадь

$$\omega_{b\min} = \frac{0,5y + 1,25}{\sqrt{K_{ш}}} \sqrt{Q K_{ш} / (K_a^y + 0,5 i_b^{0,5})},$$

где коэффициент $K_a = (2\sqrt{K_m - m})^{-1} = 1/(2\sqrt{K_m - m})$.

При проектировании водоотводов (водоотводных канав) возможны различные варианты расчетов в зависимости от исходных данных по местным условиям: по допустимой (неразмывающей) скорости течения воды u_b ; по гидравлически наивыгоднейшему сечению $\omega_{b\min}$; способом подбора.

Расчетные значения скорости для предупреждения размывов должны быть $u_p < u_d$;

расчетный расход воды Q в пределах принятой погрешности (до 5 %) [3];

ширина канавы (по дну) $b_b \geq 0,6$ м; $H_b = h_b + 0,2 \geq 0,6$ м (см. рис. 5.13);

для предупреждения заиливания $i_{\min} \geq 0,002$.

Водоотводная канава по длине расчленяется на участки (2—5 протяженностью 100—200 м) с однообразным уклоном местности i_{mj} . Расчет начинают с низового (первого) участка с наибольшим Q_b , с верхового при малых i_j .

Задача 5.13. Определить расход воды по участкам водоотводной канавы.

Исходные данные: характеристики местных условий.

Расчетная схема: продольный профиль, план местности (рис. 5.11, 5.12).

Решение. Водоотводная канава разбивается на несколько участков длиной l_j по 100—200 м с однообразным уклоном i_j (по продольному профилю).

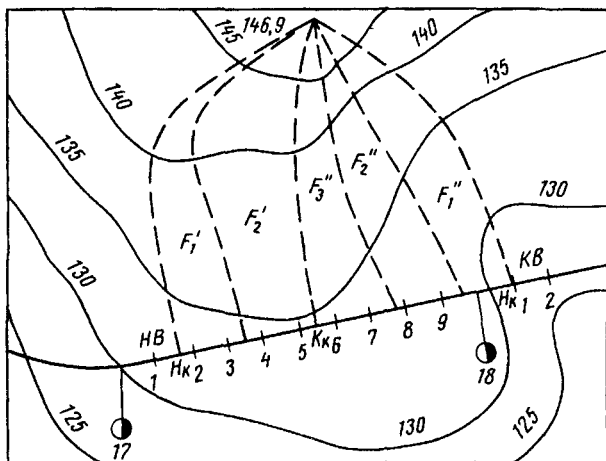


Рис. 5.11. План местности с трассой железной дороги (М1.20000).

На плане местности оконтуриваются и определяются водосборные площади F_j для каждого участка.

Расчет стока выполняется согласно ВСН 63-76 или СНиП 2.01.14-83 (см. раздел 2.1).

Расход воды $q_j = A_{1\%} \Phi_c H_{1\%} \lambda_p \delta_{60} F_j$ по [98];

$q_j = 16,67 a_{вд} \Phi_c F_j \gamma_{но} \delta_{60}$ по [79],

где $H_{1\%}$ — суточный слой осадков вероятностью превышения $p = 1\%$;

Φ_c — коэффициент полноты стока;

$A_{1\%}$ — максимальный модуль стока вероятностью превышения $p = 1\%$ (в долях от $\Phi_c H_{1\%}$);

λ_p — переводной коэффициент от вероятности превышения $p = 1\%$ к другой вероятности,

δ_{60} — коэффициент озерности, заболоченности района;

$a_{вд}$ — средняя интенсивность водоотдачи;

$\gamma_{но}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность осадков.

Расчетные расходы с учетом транзитных с верхних участков

$$Q_j = q_j + \sum_{j=1}^n q_j.$$

Пример. Дано: район Западной Сибири, интенсивность водоотдачи $a_{вд} = 1,80$ мм/мин.; коэффициент полноты стока $\Phi_c = 0,06$; коэффициенты неравномерности распределения осадков $\gamma_{но} = 1,0$; заболоченности $\delta_{60} = 1,0$.

Расчетная схема: план местности (рис. 5.11); продольный профиль выемки (рис. 5.12), начало канавы Нк—пк 171 + 50, конец канавы Кк—пк 175 + 50.

Решение. По продольному профилю и плану разделяем канаву на 2 участка (пк 173 + 40). Для каждого участка оконтуриваем и определяем водосборные площади: $F_1' = 0,116$; $F_2' = 0,194$ км².

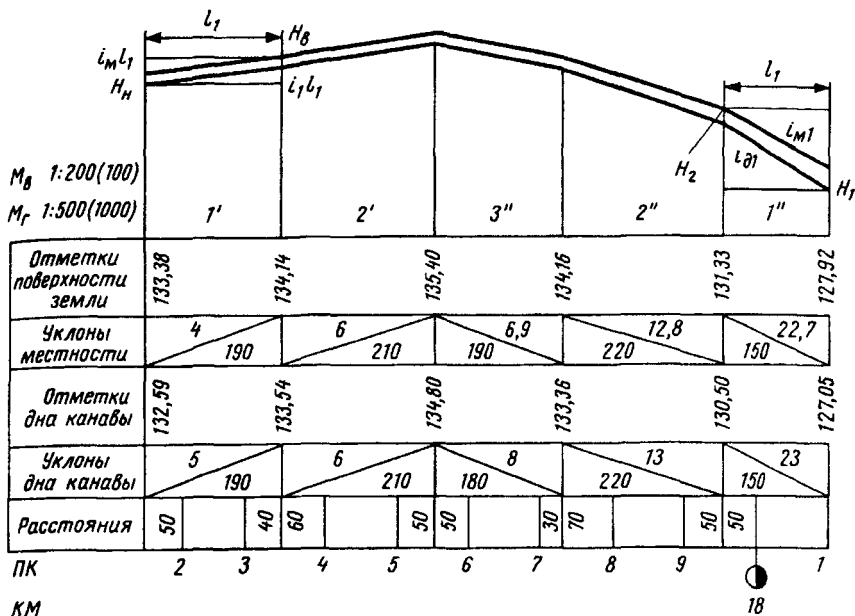


Рис. 5.12. Продольные профили водоотводных канав.

Определяем расход воды (согласно ВСН 63-76):

$$q_1 = 16,67 a_{\text{вд}} \varphi_c F_1 \gamma_{\text{но}} \delta_{60} = 16,67 \cdot 1,80 \cdot 0,06 \cdot 0,116 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,21 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$q_2 = 16,67 \cdot 1,80 \cdot 0,06 \cdot 0,194 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчетные расходы воды: $Q_1 = 0,21 + 0,35 = 0,56 \text{ м}^3/\text{с};$

$$Q_2 = 0,35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача 5.14. Определить размеры нагорной канавы (H_j , b_j) в плотных связных грунтах (без укрепления).

Исходные данные: продольный профиль выемки, вид грунта, ρ_d , расход воды q_j по участкам l_j (длиной по 100—200 м) с однообразным уклоном i_{Mj} .

Расчетные схемы: продольный, поперечный профили нагорной канавы.

Решение. По допустимой скорости (без укрепления откосов и дна канавы).

Расход воды на каждом j -ом участке канавы (с учетом транзитного с верхних)

$$Q_j = q_j + \sum_{j=j+1}^n q_j.$$

По виду грунта, ρ_d , определяются допустимая (неразмывающая) скорость течения воды v_d , коэффициент шероховатости $K_{Ш}$.

Гидравлический расчет низового участка канавы.

Принимаются $m_1 = m_2$, i_H соответственно $i_{MН}$.

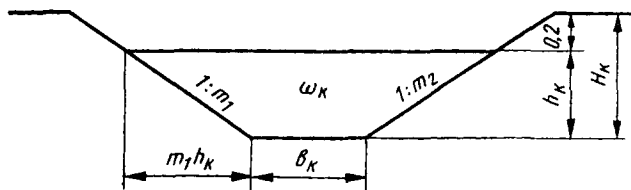


Рис 5.13 Поперечный профиль водоотводной канавы.

Вычисляются

$$\omega_H = Q_H / U_d; \quad y_H = \alpha_y \sqrt{K_{ш}}; \quad R_H = (U_d K_{ш} / i^{0,5})^{1/(y + 0,5)};$$

$$\chi_H = \omega_H / R_H; \quad K_m = 2\sqrt{1 + m^2}.$$

Неизвестные b_H и h_H определяются при совместном решении уравнений:

$$\begin{cases} \omega_H = b_H h_H + m h_H^2; \\ \chi_H = b_H + K_m h_H. \end{cases}$$

Для следующего участка принимается i_k , соответственно i_{mj} ;

вычисляются ω_j , R_j , χ_j и h_j , b_j .

Аналогично можно выполнить гидравлический расчет водоотводной канавы, приняв вид укрепления и соответствующие ему U_d , $K_{ш}$.

Пример. Дано: продольный профиль выемки, Нк пк 171 + 50, Кк пк 175 + 50; грунты — суглинки тощие $\rho_d = 1,7 \text{ т/м}^3$; расход воды $q_1 = 0,21$, $q_2 = 0,35 \text{ м}^3/\text{с}$.

Расчетные схемы: продольный профиль нагорной канавы: первый (низовой) участок $l_H = 190 \text{ м}$; $i_{мн} = 0,004$; второй (верховой) $l_B = 210 \text{ м}$, $i_{мв} = 0,006$ (рис. 5.12); поперечный профиль $m_1 = m_2 = 1,5$ (рис. 5.13).

Решение. Расход воды на участках:

верховом $Q_B = 0,35 \text{ м}^3/\text{с}$;

низовом $Q_H = 0,21 + 0,35 = 0,56 \text{ м}^3/\text{с}$.

Допустимая (неразмывающая) скорость течения воды $0,95 \text{ м/с}$ (прил. 5.1).

Коэффициент шероховатости $K_{ш} = 0,025$ (прил. 5.4).

Выполняем гидравлический расчет низового участка канавы.

Принимаем $i_H = 0,005 > i_{мн} = 0,004$.

Вычисляем $\omega_H = 0,56/0,95 = 0,589 \text{ м}^2$; $y_H = 1,5\sqrt{0,025} = 0,237$;

$R_H = (0,95 \cdot 0,025/0,005^{0,5})^{1/(0,237 + 0,5)} = 0,227 \text{ м}$;

$\chi_H = 0,589/0,227 = 2,597 \text{ м}$; $K_m = 2\sqrt{1 + 1,5^2} = 3,6$.

Составляем уравнения:
$$\begin{cases} 0,589 = b_H h_H + 1,5 h_H^2; \\ 2,595 = b_H + 3,6 h_H. \end{cases}$$

Решаем уравнения совместно. $b_H = 2,595 - 3,6 h_H$.

После подстановки в первое уравнение получим

$$2,1 h_H^2 - 2,595 h_H + 0,589 = 0,$$

откуда $h_H = (2,595 \pm \sqrt{2,595^2 - 4 \cdot 2,1 \cdot 0,589}) / (2 \cdot 2,1) = 0,30 \text{ м}$;

$b_H = 2,595 - 3,6 \cdot 0,30 = 1,5 \text{ м}$.

Аналогично выполняя гидравлический расчет для верхового участка получим $h_B = 0,31$; $b_B = 0,72$ м.

Глубина канавы $H_B = 0,6 > 0,31 + 0,20$ м;

$$H_N = H_B + l_N(i_{KH} - i_{MH}) = 0,6 + 190(0,005 - 0,004) = 0,79 \text{ м.}$$

Расчетные размеры нагорной канавы без укрепления, с уширением по дну приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Расчетные размеры нагорной канавы (без укрепления), м

Пикеты	b_K	h_K	H_K
171+50	1,51	0,30	0,79
173+40	0,72	0,31	0,60
175+50	0,60	—	0,60

Задача 5.15. Произвести гидравлический расчет нагорной канавы, определить h_j , b_j , i_{Kj} , тип укрепления.

Исходные данные: продольный профиль выемки, вид грунта, расходы воды по участкам q_j .

Расчетные схемы: продольный, поперечные профили нагорной канавы трапецидальной формы (рис. 5.13—5.15); l_j , i_{mj} .

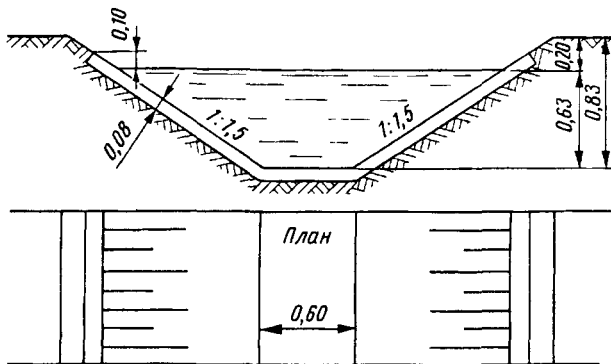


Рис. 5.14. Поперечный профиль канавы с укреплением железобетонными секциями.

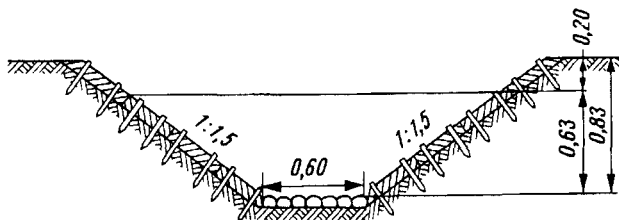


Рис. 5.15. Поперечный профиль канавы с укреплением одерновкой, мощением камнем.

Решение. По гидравлически наиболее выгодному (минимальному) сечению канавы ω_{\min} .

Расход воды на участках (с учетом транзитных):

$$Q_1 = q_1 + q_2 + q_3; \quad Q_2 = q_2 + q_3; \quad Q_3 = q_3.$$

Принимается $m_1 = m_2$ (по виду грунта).

$$\text{Вычисляются } K_m = 2\sqrt{1 + m^2}; \quad K_a = (2\sqrt{K_m} - m)^{-1}$$

Гидравлический расчет первого (низового) участка.

Принимается уклон дна канавы $i_{к1}$ соответственно $i_{м1}$; выбирается тип укрепления и соответственно $K_{ш1}$, $U_{д1}$; вычисляется $y_1 = \alpha_{ij}\sqrt{K_{ш}}$.

Определяется площадь живого сечения

$$\omega_{\min 1} = \sqrt[2]{Q_1 K_{ш} / (K_a^{y+0,5} i_1^{0,5})};$$

Здесь показатель степени $z = 0,5y + 1,25$.

При $\omega_j \geq 2,1 \text{ м}^2$; ($m = 1,5$) $h_j \geq 1,0 \text{ м}$; $b_j \geq 0,6 \text{ м}$.

Вычисляются $h_1 = \sqrt{\omega_{\min 1} / (K_m - m)}$;

$$H_1 = h_1 + 0,2 \geq H_{\min} = 0,6 \text{ м};$$

$$b_1 = h_1(K_m - 2m) \geq b_{\min} = 0,6 \text{ м}$$

Для проверки полученных h_1 и b_1 вычисляются

$$R_1 = \omega_{\min 1} / \chi_1; \quad C_1 = (1/K_{ш})R_1^y;$$

определяется расчетная скорость $U_{p1} = C_1 \sqrt{R_1 i_1}$.

Для предупреждения разрушения укрепления должно быть $U_{p1} \leq U_{д1}$.

Если $b_1 < b_{\min}$, принимают $b_1 = b_{\min}$, вычисляют h_1 из уравнения

$$\omega_{\min} = b_1 h_1 + m h_1^2; \quad H_1 = h_1 + 0,2 \geq 0,6 \text{ м}.$$

Для контроля определяют R_1 , C_1 , U_{p1} ; должно быть $U_{p1} \leq U_{д1}$.

Вычисляют расчетный расход $Q_{p1} = \omega_{\min 1} U_{p1}$;

должно быть $\Delta_1 = 100(Q_1 - Q_{p1})/Q_1 \leq 5\%$.

Расчет второго участка.

Принимаются $b_2 = b_1$; i_2 соответственно $i_{м2}$; выбирается (или сохраняет-ся принятый для первого участка) тип укрепления, $K_{ш2}$, скорость течения воды $U_{д2}$.

Определяется $h_2 = H_1 + l_1(i_{к1} - i_{м1}) - 0,2$; $H_2 = h_2 + 0,2 \text{ м}$.

Для проверки вычисляются

$$\omega_2 = b_2 h_2 + m h_2^2; \quad \chi_2 = b_2 + K_m h_2; \quad R_2 = \omega_2 / \chi_2;$$

$$y_2 = \alpha_y \sqrt{K_{ш}}; \quad C_2 = (1/K_{ш})R_2^y.$$

Определяется расчетная скорость $U_{p2} = C_2 \sqrt{R_2 i_2} \leq U_{д2}$;

расчетный расход $Q_{p2} = \omega_2 U_{p2}$;

должно быть $\Delta_2 = 100(Q_2 - Q_{p2})/Q_2 \leq 5\%$

Аналогично выполняется гидравлический расчет последующих участков водотока канавы.

Пример. Дано: продольный профиль выемки, Нк пк 181 + 00, Кк пк 175 + 50, грунты суглинки; расход воды: $q_1 = 1,79$; $q_2 = 3,02$; $q_3 = 0,47$ м³/с.

Расчетные схемы: продольный профиль нагорной канавы: $l_1 = 150$ м; $i_1 = 0,0233$; $l_2 = 220$ м; $i_2 = 0,0128$; $l_3 = 190$ м; $i_3 = 0,0069$ (рис. 5.12); поперечные профили $m_1 = m_2 = 1,5$ (рис. 5.14, 5.15).

Решение. Расход воды на участках:

$$Q_1 = 1,79 + 3,02 + 0,47 = 5,28; \quad Q_2 = 3,02 + 0,47 = 3,49, \quad Q_3 = 0,47 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Производим гидравлический расчет первого (низового) участка.

Выбираем тип укрепления — лотковыми железобетонными плитками или секциями трапецидального сечения, укладываемыми на грунт (рис. 5.14);

$$K_{ш} = 1/65 = 0,0154 [78]; \quad (0,015—0,016, \text{ прил. 5.1});$$

для бетонных одежд при марке бетона 110 ($h_{ср}$ до 1,0 м) $U_{д1} = 6$ м/с.

$$\text{Вычисляем } K_m = 2\sqrt{1 + 1,5^2} = 3,6; \quad K_a = 1/(2\sqrt{3,6 - 1,5}) = 0,345,$$

$$y_1 = 1,5\sqrt{0,0154} = 0,186; \quad \text{показатель степени } z = 0,5 \cdot 0,186 + 1,25 = 1,343.$$

Принимаем $i_{к1} = 0,023$ (соответственно $i_{м1} = 0,0233$).

$$\text{Вычисляем } \omega_{\min 1} = \frac{1,343}{\sqrt{[(5,28 \cdot 0,0154)/(0,345^{0,186+0,50,023^{0,5}})]}} = 1,08 \text{ м}^2.$$

$$\text{Определяем } h_1 = \sqrt{1,08/(3,6 - 1,5)} = 0,72 \text{ м}; \quad b_1 = 0,72(3,6 - 2 \cdot 1,5) = 0,43 \text{ м}.$$

Так как $b_1 < 0,6$ м, принимаем $b_1 = 0,6$ м.

Определяем h_1 из уравнения $1,08 = 0,6h_1 + 1,5h_1^2$;

$$h_1 = (-0,6 \pm \sqrt{0,6^2 + 4 \cdot 1,5 \cdot 1,08})/(2 \cdot 1,5) = 0,67 \text{ м}; \quad H_1 = 0,67 + 0,2 = 0,87 \text{ м}.$$

Для проверки вычисляем $\chi_1 = 0,6 + 3,6 \cdot 0,67 = 3,01$ м;

$$R_1 = 1,08/3,01 = 0,36 \text{ м}; \quad R_1^y = 0,827 \text{ м}; \quad C_1 = 65 \cdot 0,827 = 53,75.$$

Скорость $U_1 = 53,75\sqrt{0,36 \cdot 0,023} = 4,89$ м/с $< U_{д} = 6,0$ м/с.

Расчетный расход $Q_{р1} = 1,08 \cdot 4,89 = 5,28$ м³/с;

расхождение $\Delta_1 = 100(5,28 - 5,28)/5,28 = 0,0$ %.

Расчет второго участка.

Принимаем $b_2 = b_1 = 0,6$ м; $i_2 = 0,013$; тип укрепления — лотковые железобетонные секции (рис. 5.14) или плитки (укладываемые на грунт).

Определяем

$$h_2 = H_1 + l_1(i_{к1} - i_{м1}) - 0,2 = 0,87 + 150(0,0230 - 0,0233) - 0,20 = 0,63 \text{ м};$$

$$H_2 = 0,63 + 0,2 = 0,83 \text{ м}.$$

Вычисляем: $\omega_2 = 0,6 \cdot 0,63 + 1,5 \cdot 0,63^2 = 0,97$ м²;

$$\chi_2 = 0,6 + 3,6 \cdot 0,63 = 2,87 \text{ м}; \quad R_2 = 0,97/2,87 = 0,338 \text{ м};$$

$$R_2^y = 0,338^{0,186} = 0,817 \text{ м}; \quad C_2 = 65 \cdot 0,817 = 53,12.$$

Скорость воды $U_2 = 53,12\sqrt{0,388 \cdot 0,013} = 3,52$ м/с $< 6,0$ м/с.

Расход воды $Q_{р2} = 0,97 \cdot 3,52 = 3,42$ м³;

расхождение $\Delta_2 = 100(3,49 - 3,42)/3,49 = 2,0\% < 5,0\%$

Аналогично выполняем расчет третьего участка, приняв $b_3 = 0,6$ м; $i_3 = 0,008$; тип укрепления — одерновка плашмя; $K_{ш3} = 0,030$; $U_{д3} = 0,9$ м/с.

Расчет приведен в табл. 5.5; поперечный профиль канавы на пк 177 + 30 показан на рис. 5.15.

Таблица 5.5

Расчетные параметры нагорной канавы

Расчетные параметры	Значения параметров по участкам		
	низовой 1-й	средний 2-й	верховой 3-й
1	2	3	4
$l_j, \text{ м}$	150	220	180
$i_{mj}, \text{ ‰}$	23,3	12,8	6,9
$i_{kj}, \text{ ‰}$	23,0	13,0	8,0
$q_j, \text{ м}^3/\text{с}$	1,79	3,02	0,47
$Q_j = q_j + \sum_{j=1}^n q_j, \text{ м}^3/\text{с}$	5,28	3,49	0,47
Вид укрепления	ж/б плитки (секции)	ж/б плитки (секции)	Одерновка плашмя
m_j	1,5	1,5	1,5
$K_{шj}$	0,0154	0,0154	0,030
$y_i = 1,5\sqrt{K_{шj}}$	0,186	0,186	0,260
$U_{dj}, \text{ м/с}$	6,0	6,0	0,9
$\omega_{\min j} = \frac{0,5y + 1,25}{\sqrt{[Q_j K_{шj} / (K_a^{y+0,5} i_j^{0,5})]}}$	1,08	—	—
$h_j' = \sqrt{\omega_{\min j} / (K_m - m)}, \text{ м}$	0,72	—	—
$b_j = h_j (K_m - 2m), \text{ м}$	0,6 (0,43)	0,6	0,6
$h_{j1} = [-b_j + \sqrt{(b_j^2 + 4m\omega)}] / 2m, \text{ м}$	0,67	—	—
$h_{j+1} = H_j + l_j(i_{kj} - i_{mj}) - 0,2, \text{ м}$	—	0,63	0,60
$H_{j+1} = h_{j+1} + 0,2, \text{ м}$	0,87	0,83	0,80
Проверка			
$\omega_j = b_j h_j + m h_j^2, \text{ м}^2$	—	0,97	0,54
$\chi_j = b_j + K_m h_j, \text{ м}$	3,01	2,87	2,76
$R_j = \omega_j / \chi_j, \text{ м}$	0,360	0,338	0,196
$R_j^y, \text{ м}$	0,827	0,817	0,655
$C_j = (1/K_{шj}) / R_j^y$	53,75	53,12	21,83
$U_{pj} = C_j \sqrt{R_j} i_j, \text{ м/с}$	4,89	3,52	0,83
$Q_{pj} = \omega_j U_{pj}, \text{ м}^3/\text{с}$	5,28	3,42	0,45
$\Delta_j = 100(Q_j - Q_{pj}) / Q_j, \text{ ‰}$	0,0	2,0	4,2

Задача 5.16. Определить оптимальные размеры короткой водоотводной канавы (h_j, b_j при большом расходе воды, малых уклонах местности).

Исходные данные: продольный профиль местности, i_{mj} ; вид грунта; расход воды q_j .

Расчетные схемы: продольный, поперечный профили канавы.

Решение. По гидравлически наиболее выгодному сечению $\omega_{\min j}$.

Выбирается тип укрепления и соответствующие $K_{шj}, U_{dj}$.

Определяется i_{kj} (по условиям местности), принимается крутизна откоса m (с учетом вида грунта, типа укрепления).

Вычисляются

$$K_m = 2\sqrt{1 + m^2}; \quad K_a = (2\sqrt{K_m - m})^{-1}; \quad y_j = 1,5\sqrt{K_{шj}}; \quad z = 0,5y + 1,25.$$

Для каждого j -го участка канавы определяются Q_j ,

$$\omega_{\min j} = \sqrt[2]{[Q_j K_{\text{ш}} / (K_a^{y-0,5} i_j^{0,5})]};$$

вычисляются $h_j = \sqrt{\omega_{\min j} / (K_m - 2m)}$; $H_j = h_j + 0,2 \geq 0,6$ м;

$$b_j = h_j (K_m - 2m) \geq 0,6 \text{ м или } b_j = \omega_{\min j} / h_j - m h_j \geq 0,6 \text{ м.}$$

Для проверки определяются $R_j = 0,5 h_j$; $U_j = (1/K_{\text{ш}}) R_j^y \sqrt{R_j i_j}$;

должно быть $U_{pj} < U_{dj}$;

$$Q_j = \omega_j U_{pj}; \text{ должно быть } \Delta_j = 100 / [(Q_j - Q_{pj}) / Q_j] \leq 5,0 \text{ \%}.$$

Пример. Дано: $q_1 = 3,7$ м³/с; $q_2 = 2,1$ м³/с; $i_1 = 0,004$; $i_2 = 0,007$.

Решение. Выбираем укрепление железобетонными лотковыми секциями трапецидальной формы ($K_{\text{ш}} = 0,012$; $U_{\text{д}} = 10,0$ м/с); принимаем оптимальные очертания с $m_{\text{от}} = 0,6$.

Вычисляем $K_m = 2\sqrt{1 + 0,6^2} = 2,33$; $K_a = 1 / (2\sqrt{2,33 - 0,6}) = 0,380$;

$$y = 1,5\sqrt{0,012} = 0,164; z = 0,5 \cdot 0,164 + 1,25 = 1,332.$$

На первом (низовом) участке расход воды $Q_1 = 3,7 + 2,1 = 5,8$ м³/с.

$$\omega_{\min 1} = \frac{1,332}{\sqrt{[(5,8 \cdot 0,012) / (0,380^{0,164+0,5} \cdot 0,007^{0,5})]}} = 1,41 \text{ м}^2;$$

$$h_1 = \sqrt{1,41 / (2,33 - 0,6)} = 0,90 \text{ м}; H_1 = 0,90 + 0,20 = 1,10 \text{ м};$$

$$b_1 = 0,90(2,33 - 2 \cdot 0,6) = 1,02 > 0,60 \text{ м.}$$

Проверка $R_1 = 0,5 \cdot 0,90 = 0,45$ м;

$$U_{p1} = (1/0,012) 0,45^{0,164} \sqrt{0,45 \cdot 0,007} = 4,1 < 10,0 \text{ м/с};$$

$$Q_{p1} = 1,41 \cdot 4,1 = 5,78 \text{ м}^3/\text{с}; \Delta_1 = 100[(5,80 - 5,78) / 5,80] = 0,3\%.$$

На втором (верховом) участке

$$\omega_{\min 2} = \frac{1,332}{\sqrt{[(2,1 \cdot 0,012) / (0,380^{0,664} \cdot 0,004^{0,5})]}} = 0,81 \text{ м}^2;$$

$$h_2 = \sqrt{0,81 / 1,73} = 0,68 \text{ м}; H_2 = 0,68 + 0,20 = 0,88 \text{ м};$$

$$b_2 = 0,68 \cdot 1,13 = 0,77 > 0,60 \text{ м.}$$

Проверка $R_2 = 0,5 \cdot 0,68 = 0,34$ м;

$$U_{p2} = (1/0,012) 0,34^{0,164} \sqrt{0,34 \cdot 0,004} = 2,58 < 10,0 \text{ м/с};$$

$$Q_{p2} = 0,81 \cdot 2,58 = 2,09 \text{ м}^3/\text{с}; \Delta_2 = 100[(2,10 - 2,09) / 2,10] = 0,5\%.$$

Задача 5.17. Определить размеры участка водоотводной канавы h_k , b_k , тип укрепления при известном расходе воды, уклоне местности.

Исходные данные: продольный профиль местности, i_m , расход Q_k .

Расчетные схемы: продольный, поперечный профили канавы.

Решение. Способом подбора.

Принимается $i_k = i_m$; $b_k \geq 0,6$ м; m_k , h_k ; вид укрепления,

определяются $K_{\text{шк}}$, $U_{\text{дк}}$ (прил. 5.1, 5.4).

Вычисляются $\omega_k = b_k h_k + m_k h_k^2$; $K_m = 2\sqrt{1 + m_k^2}$; $\chi_k = b_k + K_m h_k$;

$$R_k = \omega_k / \chi_k; y = \alpha_y \sqrt{K_{\text{шк}}}.$$

Определяются $U_k = (R_k)^y \sqrt{R_k i_k} / K_{\text{шк}} \leq U_{\text{дк}}$; $Q_p = \omega_k U_k$.

Если $\Delta_k = 100(Q_k - Q_p) / Q_k \geq 5\%$, назначают $h_k' \geq h_k$ и выполняют перерасчет до соблюдения условия $\Delta_k \leq 5\%$.

Пример. Дано: $i_m = 0,013$; $Q_K = 1,50 \text{ м}^3/\text{с}$.

Решение. Принимаем $i_K = 0,013$; $b_K = 0,6 \text{ м}$; $m_K = 1,5$; $h_K = 0,55 \text{ м}$, вид укрепления — одерновка откосов и мощение дна ($K_{шк} = 0,035$, $U_{дк} = 0,90 \text{ м/с}$). Поперечный профиль на рис 5.15.

Вычисляем

$$\omega_K = 0,6 \cdot 0,55 + 1,5 \cdot 0,55^2 = 0,78 \text{ м}^2; \quad \chi_K = 0,6 + 2\sqrt{1 + 1,5^2} \cdot 0,55 = 2,58 \text{ м};$$

$$R_K = 0,78/2,58 = 0,302 \text{ м}; \quad y_K = 1,5\sqrt{0,035} = 0,281;$$

$$U_{рк} = (1/0,035)0,302^{0,281}\sqrt{0,302 \cdot 0,013} = 1,23 > U_{дк} = 0,9 \text{ м/с}.$$

$$Q_{рк} = 0,78 \cdot 1,23 = 0,96 \text{ м}^3/\text{с}; \quad \Delta_K = 100(1,50 - 0,96)/1,50 = 36,0 > 5,0\%.$$

Вместо неудачно выбранного типа укрепления принимаем железобетонные лотки-полутрубы ($K_{шк}' = 0,012$; $U_{дк} = 10,0 \text{ м/с}$); оставляем $h_K = 0,55 \text{ м} = r_{л}$.

Выполняем перерасчет:

$$\omega_K' = 0,5\pi r_K^2 = 0,5 \cdot \pi \cdot 0,55^2 = 0,48 \text{ м}^2; \quad \chi_K' = \pi r_K = \pi \cdot 0,55 = 1,73 \text{ м};$$

$$R_K' = 0,48/1,73 = 0,278 \text{ м}; \quad y_K' = 1,5\sqrt{0,012} = 0,164;$$

$$U_{рк}' = (1/0,012)0,278^{0,164+0,5}\sqrt{0,013} = 4,06 < U_{дк} = 10,0 \text{ м/с};$$

$$Q_{рк}' = 0,48 \cdot 4,06 = 1,95 \text{ м}^3/\text{с}; \quad \Delta_K' = 100[(1,50 - 1,95)/1,50] = |30,0| > 5,0\%.$$

Погрешность недопустима.

Принимаем $h_K'' = 0,50 \text{ м}$ и выполняем пересчет

$$\omega_K'' = 0,5 \cdot \pi \cdot 0,50^2 = 0,39 \text{ м}^2; \quad \chi_K'' = \pi \cdot 0,50 = 1,57 \text{ м};$$

$$R_K'' = 0,39/1,57 = 0,248 \text{ м};$$

$$U_{рк}'' = (1/0,012)0,248^{0,664}\sqrt{0,013} = 3,76 < U_{дк} = 10,0 \text{ м/с}.$$

$$Q_{рк}'' = 0,39 \cdot 3,76 = 1,47 \text{ м}^3/\text{с}; \quad \Delta_K'' = 100[(1,50 - 1,47)/1,50] = 2,0 < 5,0\%.$$

По результатам расчета $b_{кв} = 1,0 \text{ м}$; $h_K = r_K = 0,50 \text{ м}$; $H_K = 0,70 \text{ м}$; укрепления лотковыми секциями-полутрубами.

Задача 5.18. Запроектировать нагорную канаву на пологом уклоне.

Решение. Проектирование выполняется с расчетами размерных параметров и определением вида укрепления канавы, пользуясь ЭТ (по методике решения задачи 5.15).

Алгоритм решения Производится гидравлический расчет водоотводной канавы по наивыгоднейшему сечению $\omega_{\text{мин}}$. Вычисляются ширина канавы b_j по условиям $b_j \geq 0,6 \text{ м}$, $b_j \geq b_{\text{max}}$ и соответствующее значение h_j , расход воды Q_p (с оценкой погрешности сопоставимо с Q исходным). При $h_j < 1,0 \text{ м}$ ($\omega_j < 2,1 \text{ м}^2$) глубина канавы вычисляется по методике решения задачи 5.14.

$$h_K = (((b_K/2)^2 + m\omega_K)^{0,5} - b_K/2)/m;$$

$$\text{так как } R_K = \omega_K/\chi_K = (b_K h_K + m h_K^2)/(b_K + K_m h_K);$$

$$\text{то } U_K = R_K^{y\sqrt{Ri}/K_{ш}} = (((b_K h_K + m h_K^2)/(b_K + K_m h_K))^{y+0,5} i_K^{0,5})/K_{ш};$$

$$Q_K = (b_K h_K + m h_K^2) U_K.$$

Затем вычисляются $H_j \geq 0,6 \text{ м}$, отметки дна канавы, продольные уклоны i_j и соответствующие им скорости течения воды U_j .

Пример. Проектирование водоотводной канавы с использованием программы ЭТ—WODOT (табл. 5.6-1).

В блок исходных данных (верхняя часть таблицы) вводятся для каждого участка отметки земли: верхняя $O_{\text{в}}$ и нижняя $O_{\text{н}}$, длина l_j , расход воды q_j , коэффициент шероховатости $K_{\text{ш}}$, крутизна откосов канавы m . Отметки земли вводятся по данным продольного профиля (натурных съемок местности), длина участков принимается по условиям однообразного уклона клона, расход воды определяется по методике решения задач 5.13, коэффициент шероховатости и крутизна откосов — по виду грунта или типу укрепления (при бетонных лотках оптимальной формы $m = 0,6$).

В расчетном блоке (столбец А) помещены формулы для расчетных параметров, которые транслированы в кодах ЭТ и повторены в ячейках для каждого участка (блок А16:D49 в табл. 5.6-2).

Решение. Вводим исходные данные с учетом отметок земли и расходов воды, принимаем вид укрепления (травяным покровом, одерновкой) и вводим соответствующие $K_{\text{ш}}$ и по виду грунта крутизну откосов m .

Производим вычисление (нажатием F7) — вариант 1 (табл. 5.6-1).

Анализируем результаты (на экране): по условию предупреждения заиливания уклоны должны $i_j > 0,002$; по ширине $b_j = b_{j\text{max}} \geq 0,6$ м; по скорости течения воды $v_j \leq v_{\text{дп}}$.

Если $v_j > v_{\text{дп}}$, то следует изменить тип укрепления, например, вместо одерновки принять укрепление бетонными плитками, асфальтированными $1,0 \times 1,0$ м (предложено автором) [4], ввести соответствующий $K_{\text{ш}}$ ($K_{\text{ш}} = 0,016$, $v_{\text{дп}} = 6$ м/с при бетонных, 3 м/с при асфальтированных плитках) и произвести вычисление (вариант 2).

Анализируем результаты расчета: размерные параметры ω_j , b_j , h_j на всех участках уменьшились; $l_j > 0,002$; $b_j = b_{j\text{max}} > 0,6$ м; скорости течения воды возросли, но меньше $v_{\text{дп}}$. Принимаем размерные параметры водоотводной канавы по второму варианту и выводим результаты проектирования на печать (вариант 2 в табл. не приведен).

Задача 5.19. Запроектировать водоотводную канаву на местности.

Решение. Задача является оптимизационной: необходимо определить такие размерные параметры водоотводной канавы, которые удовлетворяли бы условиям

$$\begin{cases} \omega_j(Q) \rightarrow \min; \\ Q_p \geq Q; b_j = b_{\text{max}} \geq 0,6 \text{ м}; H_j \geq h_j + 0,2 \text{ м}; i_j \geq 0,002; v_j \leq v_{\text{дп}}. \end{cases}$$

Решение. Проектирование выполняется на ПК.

Пример. С использованием, например, программы PROW в диалоговом и автоматическом режимах.

Алгоритм проектирования. Вводится исходная информация: отметка водораздельной точки — $O_{\text{в}}$; крутизна откосов канавы m соответственно виду

Таблица 5.6-1

1	A	B	C	D	E	F
2	ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДООТВОДНОЙ КАНАВЫ (WODOT—ЭТ)					
3	-----					
4	Исходные данные по участкам			1	2	3
5	-----					
6	-----					
7	Отметка верхняя O_B , м			137.00	137.90	138.70
8	Отметка нижняя O_H , м			136.00	137.00	137.90
9	Длина L_j , м			160.00	120.00	130.00
10	Расход воды q_j , м ³ /с			1.10	1.00	.70
11	Коэффициент шероховатости $K_{ш}$			.03	.03	.03
12	Крутизна откосов m			1.50	1.50	1.50
13	-----					
14	Расчетные параметры			1	2	3
15	-----					
16	Коэффициент K_m			3.605551	3.605551	3.605551
17	$K_m = 2 \cdot (1 + m^2)^{0,5}$					
18	Коэффициент K_a			.3445776	.3445776	.3445776
19	$K_a = 1/(2 \cdot (K_m - m)^{0,5})$					
20	Показатель степени y			.2598076	.2598076	.2598076
21	$y = 1,5(K_{ш})^{0,5}$					
22	Расход воды Q_j , м ³ /с			2.8	1.7	.7
23	$Q_j = \sum q_j$					
24	Продольный уклон i_m			.00625	.0075	.0061538
25	$i_{mj} = (O_B - O_H)/l_j > 0,002$					
26	Площадь сечения $\omega_{мин}$, м ²			1.878747	1.224986	.6918349
27	$\omega_{мин} = ((Q_j K_{ш}) / (K_a \cdot (y + 0,5) \cdot i^{0,5}))^{0,5} (0,5y + 1,25)$					
28	Глубина канавы h_k' , м			.9446073	.7627507	.5732160
29	$h_k' = (\omega_{мин} / (K_m - m))^{0,5}$					
30	Ширина канавы b_k , м			.5720082	.4618846	.3471117
31	$b_k = h_k (K_m - 2m) > 0,6 \text{ м}$					
32	b_k по b_{max} , м			.6	.6	.6
33	Глубина канавы h_k , м			.9368810	.7255577	.5079712
34	$h_k = (((b_k/2)^2 + m\omega_k)^{0,5} - b_k/2)/m$; h_k по b_{max}			.9368810	.7255577	.5079712
35	Скорость течения U , м/с			1.490316	1.386455	1.006218
36	$U = ((bh + mh^2)^{0,5} / (b + K_m h))^{0,5} \cdot i^{0,5} / K_{ш}$			1.490316	1.386455	1.006218
37	Расход воды Q_{pj} , м ³ /с			2.799928	1.698387	.6961370
38	$Q = (bh + mh^2)U$					
39	Погрешность расчета			-.002563	-.094946	-.554917
40	$100(Q_j - Q_{pj})/Q_{pj} < 5\%$					
41	Глубина канавы H_k , м			1.136881	.9255577	.7079712
42	$H_k = h_k + 0,2 > 0,6 \text{ м}$			1.136881	.9255577	.7079712
43	Параметры на местности:					
44	отметка дна $O_{dk} = O_B - i_m \cdot L_j$			134.8631	136.0744	137.1920
45	уклоны по дну i_k			.0075708	.0093132	.0069844
46	скорости течения U , м/с			1.640244	1.544988	1.071972
47	-----					
48	-----					
49	-----					
50	-----					

Таблица 5.6-2

Содержимое ячеек A16:D49 программы ЭТ-WODOT

A16 = "Коэффициент K_m	A34 = "Глубина канавы h_k , м
D16 G = $2 \cdot (1 + D12^2)^{.5}$	D34 G =
A17 = " $K_m = 2 \cdot (1 + m^2)^{.5}$	A35 = " $h_k = (((b_k/2)^2 m \omega_k)^{.5} -$
D17 G =	D35 G = $IF(D31 > .6, D29, (((D32/2)^2 + D12 \cdot D26^2 -$
A18 = "Коэффициент K_a	- $D32/2)/D12)$
D18 G = $1/(2 \cdot (D16 - D12)^{.5})$	A36 = " $-b_k/2)/m$; h_k по b_{max}
A19 = " $K_a = 1/(2 \cdot (K_m - m)^{.5})$	D36 G = $((((D33/2)^2 + D12 \cdot D26^2)^{.5} - D33/2)/D12$
D19 G =	A37 = "Скорость течения v , м/с
A20 = "Показатель степени y	D37 G =
D20 G = $1.5 \cdot (D11)^{.5}$	A38 = " $v = ((bh + mh^2)^{(y + 0.5))/(b +$
A21 = " $y = 1.5(K_{ш})^{.5}$	D38 G = $((D32 \cdot D36 + D12 \cdot D36^2)/(D32 + D16 \cdot D36))^{.5}$
D21 G =	$\cdot (D20 + 5) \cdot D24^{.5}/D11$
A22 = "Расход воды Q_j , м ³ /с	A39 = " $+ K_m h)$ $^{(y + 0.5)} \cdot j^{.5}/K_{ш}$
D22 G = SUM(D10:F10)	D39 G = $((D33 \cdot D36 + D12 \cdot D36^2)/(D33 + D16 \cdot D36))^{.5}$
A23 = " $Q_j = \sum q_j$	$\cdot (D20 + 5) \cdot D24^{.5}/D11$
D23 G =	A40 = "Расход воды Q_{pj} , м ³ /с
A24 = "Продольный уклон i_m	D40 G = $(D33 \cdot D36 + D12 \cdot D36^2) \cdot D39$
D24 G = $(D7 - D8)/D9$	A41 = " $Q = (bh + mh^2)v$
A25 = " $i_{mj} = (O_b - O_n)/L > 0.002$	D41 G =
D25 G =	A42 = "Погрешность расчета
A26 = "Площадь сечения ω_{min} , м ²	D42 G = $100 \cdot (D40 - D22)/D40$
D26 G = $((D22 \cdot D11)/(D18^2(D20 + 5) \cdot$	A43 = " $1100(Q_j - Q_{pj})/Q_{pj} < 5\%$
$\cdot D24^{.5})^{.5}/(1.5 \cdot D20 + 1.25))$	D43 G =
A27 = " $\omega_{min} = ((Q_j/K_{ш})/(K_a^{.5}(y + 0.5)$	A44 = "Глубина канавы H_k , м
D27 G =	D44 G = $D35 + 2$
A28 = " $\cdot j^{.5})^{.5}/(0.5y + 1.25)$	A45 = " $H_k = h_k + 0.2 > 0.6$ м
D28 G =	D45 G = $IF(D44 > .6, D44, .6)$
A29 = "Глубина канавы h_k' , м	A46 = "Параметры на местности:
D29 G = $((D26/(D16 - D12))^{.5})$	D46 G =
A30 = " $h_k = (\omega_{min}/(K_m - m))^{.5}$	A47 = "отметка дна $O_{dk} = O_b - i_m \cdot L_j$
D30 G =	D47 G = $D8 - D45$
A31 = "Ширина канавы b_k , м	A48 = "уклоны по дну i_k :
D31 G = $D29 \cdot (D16 - 2 \cdot D12)$	D48 G = $(E47 - D47)/D9$
A32 = " $b_k = h_k(K_m - 2m) > 0,6$ м	A49 = "скорости течения v , м/с
D32 G = $IF(D31 > .6, D31, .6)$	D49 G = $D39 \cdot (D48/D24)^{.5}$
A33 = " b_k по b_{max} , м	
D33 G = $\max(D32:F32)$	

грунта; коэффициент шероховатости — $K_{ш1}$ первого верхнего участка; количество участков водоотводной канавы — N ; расчетные характеристики для каждого j -го участка: отметка земли O_j на конце участка; длина участка l_j ; расход воды q_j .

По исходным данным вычисляются расчетные параметры:

расход воды по всем участкам $Q_1 = q_1$; $Q_2 = q_1 + q_2$; $Q_k = \sum_j^N q_j$;

уклоны местности $i_j = (O_{j+i} - O_j)/l_j$; коэффициенты K_m , K_a .

Затем для верхнего участка вычисляются ω_{min} , h_j , b_j .

Если $b_i < 0,6$ м, то принимается $b_i' = 0,6$ м и вычисляются h_j , R_j , ω_j , v_j и Q_i , проверяется условие $\Delta_j = (Q_j - Q_{pj})/Q_j < 2\%$.

Если условие не соблюдается, то итерационно определяются

$$h'_j = h_j - 0,01 \text{ м при } (Q_{pj} - Q_j)/Q > 0;$$

$$h'_j = h_j + 0,01 \text{ м при } (Q_{pj} - Q_j)/Q < 0$$

и повторно вычисляются b_j , ω_j , R_j , U_j , Q_{pj} , Δ_j до соблюдения заданного условия.

При проектировании в диалоговом режиме ПК печатает на экране параметры каждого участка U_j и $K_{шj}$.

Если $U_1 < U_d$, то ПК напечатает параметры первого участка.

Если $U_1 > U_d$, то следует ввести $K_{ш}$ для измененного вида укрепления (покрытия) и ПК напечатает на экране параметры канавы H_1 , b_1 , ω_1 , i_1 .

Проектирование последующих участков канавы выполняется по аналогичной процедуре.

После расчета параметров каждого участка проверяется ширина по условию $b_{j-1} \geq b_j$. Если условие не соблюдается, то принимается $b = b_j = b_{j-1}$ и производится соответственно перерасчет параметров предыдущих участков (по подпрограмме).

По завершении проектирования последнего участка ПК печатает окончательные результаты — расчетные характеристики и параметры для каждого участка: расходы воды — заданный q_j , расчетный q_{pj} и погрешность превышения

$$\Delta_j = 100[(Q_{pj} - Q_j)/Q_j] = 1...2 \%;$$

коэффициент шероховатости принятого покрытия $K_{ш}$; скорость течения воды U_j ; площадь поперечного сечения ω_j ; ширину по дну b_j (одинаковую для всех участков); полную глубину H_j ; уклоны местности i_{mj} и водоотвода по дну i_{vj} .

При проектировании в автоматическом режиме выполняется только ввод начальной информации. ПК выполняет необходимые расчеты с выбором вида укрепления водоотвода и печатает расчетные и проектные параметры каждого участка водоотводной канавы.

Блок-схема алгоритма проектирования водоотводной канавы в диалоговом режиме и подпрограммы приведены на рис. 5.16.

Задача 5.20. Проверить обеспеченность отвода (пропуска) воды вдоль насыпи по резерву без его укрепления.

Исходные данные: Q_p , i_p , вид грунта, $b_{pн}$, H_{p1} , H_{p2} , (H_{p3}), m_1 , m_2 .

Решение. Принимаются U_d , $K_{шp}$ (по виду грунта).

Определяются $h_{pj} = H_j - 0,2$; $y = 1,5\sqrt{K_{шp}}$.

площадь живого сечения резерва (см рис. 1.7).

$$\omega_p = (b_{pн} + 1,25h_{pср})h_{pср},$$

где $h_{pср} = 0,5(h_{p1} + h_{p2})$;

смоченный периметр резерва:

$$\text{односкатного } \chi_{pод} = b_{pн} + h_{p1}\sqrt{1 + m_1^2} + h_{p2}\sqrt{1 + m_2^2};$$

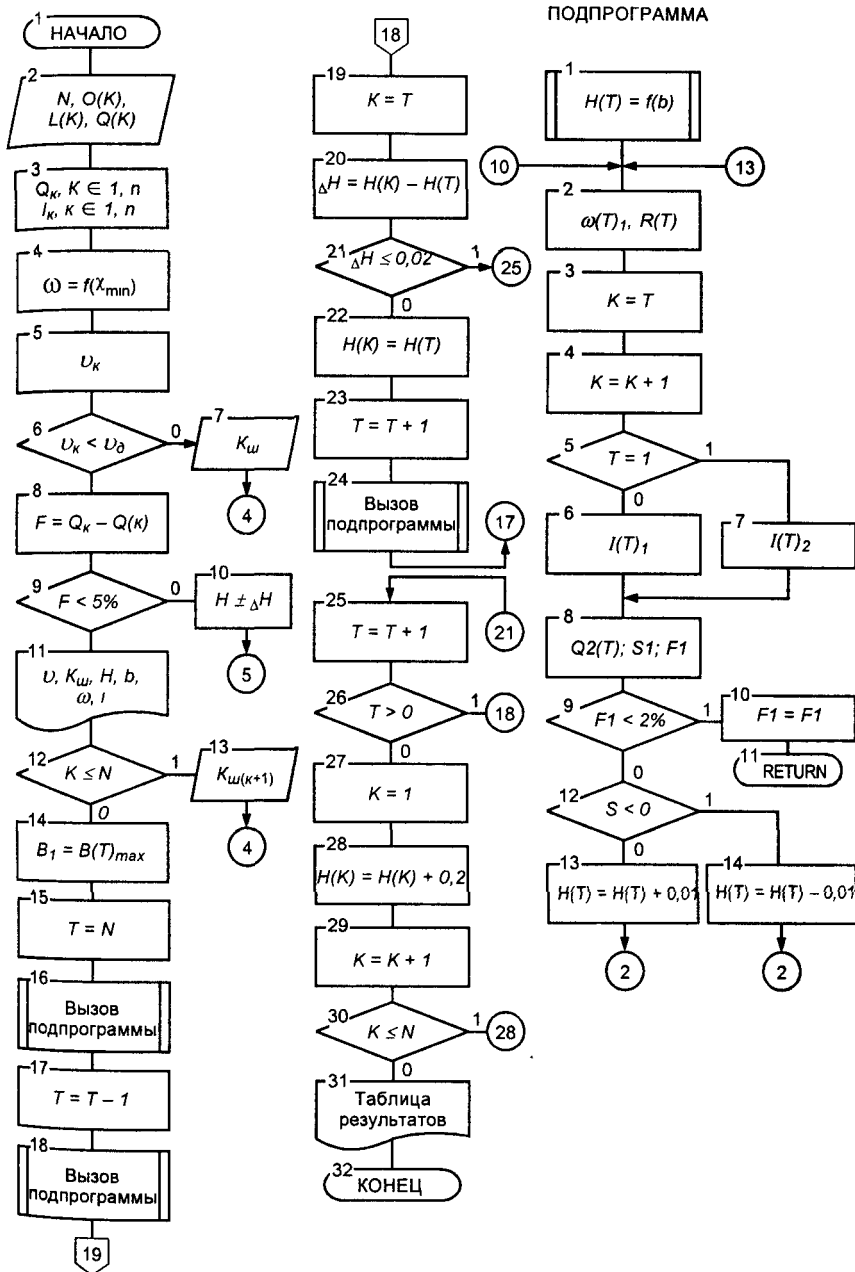


Рис. 5.16. Блок-схемы программы PROW

двухскатного $\chi_{рдв} = b_{рн} + h_{р1}(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2})$;

гидравлический радиус $R_p = \omega_p / \chi_p$;

скорость течения воды $U_p = (1/K_{шп})R_p^{y+0,5} i_p^{0,5}$.

Должно быть $U_p \leq U_{д}$; $Q_{рр} = \omega_p U_p \geq Q_p$.

Задача 5.21. Определить необходимость (и тип) укрепления кювета.

Исходные данные: вид грунта, ρ_d , H_k , b_k , m_1 , m_2 , i_k , Q_k .

Расчетная схема: поперечный профиль кювета (рис. 5.17).

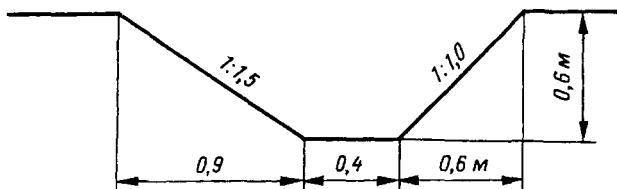


Рис. 5.17. Поперечный профиль кювета

Решение. Устанавливаются $U_{дк}$ (по виду грунта, ρ_d); $K_{шк}$.

Вычисляются:

$$K_{нк} = \sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}; \quad \chi_k = b_k + K_{нк} h_1; \quad R_k = \omega_k / \chi_k; \quad y = 1,5 \sqrt{K_{шк}}$$

Определяется скорость течения воды $U_{рк} = (1/K_{шк})R_k^{y+0,5} i_k^{0,5} \geq U_{дк}$.

Проверяется расход воды $Q_{рк} = \omega_k U_{рк} \geq Q_k$.

В зависимости от U_k укрепление кюветов может быть принято одерновкой, бетонными, асфальтобетонными плитками и другими типами покрытий [4].

Пример. Дано: $H_k = 0,6$ м; $b_k = 0,4$ м; $i_k = 0,006$; грунт лессовый, $\rho_d = 1,60$ т/м³; $Q_k = 0,25$ м³/с.

Расчетная схема: поперечный профиль кювета (рис. 5.17), $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,0$ (на выемке эксплуатируемого участка пути).

Решение. Кювет без укрепления; $U_{дк} = 0,60$ м/с; $K_{шк} = 0,020$;

$$h_k = 0,6 - 0,2 = 0,4 \text{ м.}$$

Вычисляем $\omega_k = 0,4 \cdot 0,4 + 0,5(1,5 + 1,0)0,4^2 = 0,36$ м²;

$K_{нк} = \sqrt{1 + 1,5^2} + \sqrt{1 + 1,0^2} = 3,2$; $\chi_k = 0,4 + 3,2 \cdot 0,4 = 1,68$ м;

$R_k = 0,36/1,68 = 0,214$ м; $y_k = 1,5 \sqrt{0,020} = 0,212$.

Определяем $U_{рк} = (1/0,020)0,214^{0,212} \sqrt{0,214 \cdot 0,006} = 1,29$ м/с $> U_{дк}$.

Необходимо укрепление кювета.

Принимаем укрепление одерновкой; $K_{шк}' = 0,033$; $U_{дк}' = 0,9$ м/с.

Вычисляем $y_k' = 1,5 \sqrt{0,033} = 0,272$.

Определяем $U_{дк}' = (1/0,033)0,214^{0,272} \sqrt{0,214 \cdot 0,006} = 0,71$ м/с $< U_{дк}$.

Проверяем обеспеченность пропуска воды: возможный расход воды

$$Q_{\text{рК}} = 0,36 \cdot 0,71 = 0,256 > Q_{\text{К}} = 0,250 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Эффективнее укрепление плиточным покрытием: пропуск $Q_{\text{К}}$ без размывов, разрушений и заиливания (при малом $K_{\text{шк}}$ и высокой $U_{\text{К}}$).

Задача 5.22. Выбрать (подобрать) железобетонный лоток типовых размеров для условий станции.

Исходные данные: расход $Q_{\text{л}}$, уклон $i_{\text{л}}$, отверстие лотка $b_{\text{л}}$.

Расчетная схема: поперечные профили лотков рамных, безраспорных, телескопических, лотки-желоба, лотки-полутрубы (рис. 5.18).

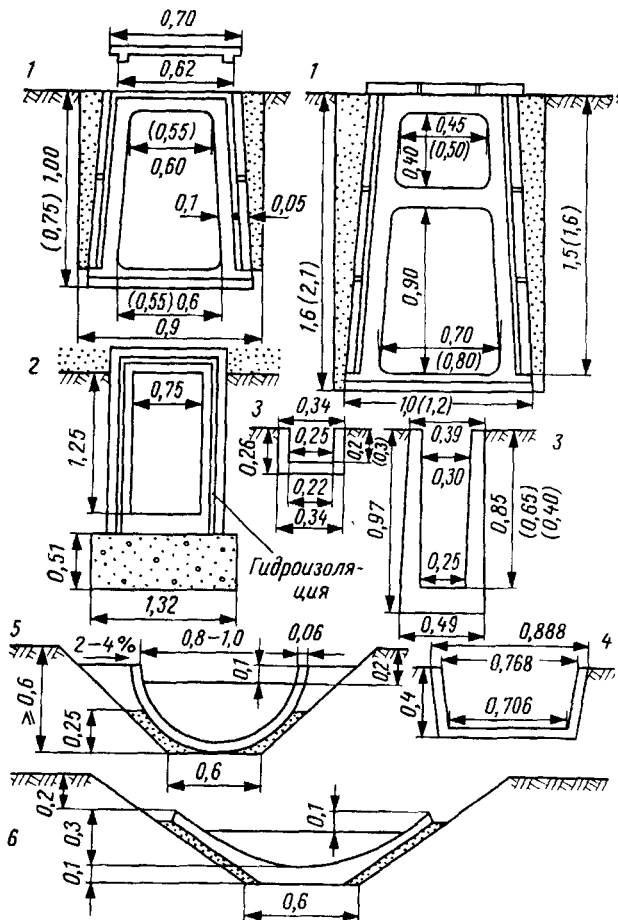


Рис. 5.18. Лотки типовые: 1 — рамные; 2 — под железнодорожными путями; 3 — безраспорные; 4 — телескопические (секции, блоки); 5 — лотки-полутрубы; 6 — лотки-желоба. (Размеры в м)

Решение. Принимается $h_{\text{д}}$ (может быть для стенок $\chi_1, K_{\text{ш1}}$, для дна $\chi_2, K_{\text{ш2}}$). $K_{\text{ш}} = 0,015$ для лотков рамных, безраспорных; $0,012$ для лотков-полутруб.

Вычисляются $\omega_{\text{л}} = b_{\text{л}} h_{\text{л}}$; $\chi_{\text{л}} = b_{\text{л}} + 2h_{\text{л}}$; $R_{\text{л}} = \omega_{\text{л}} / \chi_{\text{л}}$;

приведенное значение $K_{\text{шпр}} = \sqrt{(\chi_1 K_{\text{ш1}}^2 + \chi_2 K_{\text{ш2}}^2) / (\chi_1 + \chi_2)}$; $y_{\text{л}} = \alpha y \sqrt{K_{\text{шпр}}}$.

Определяются $v_{\text{л}} = (1/K_{\text{шл}}) R_{\text{л}}^y \sqrt{R_{\text{л}}} i_{\text{л}} < v_{\text{дл}}$; $Q_{\text{рл}} = \omega_{\text{л}} v_{\text{л}} > Q_{\text{л}}$;

$H_{\text{л}} = h_{\text{л}} + 0,05$, м для лотка безраспорного;

$H_{\text{л}} = h_{\text{л}} + 0,25$, м для рамного;

$K_{\text{шл}} = 0,015$ для рамных, безраспорных лотков;

$K_{\text{шл}} = 0,012$ для лотков-полутруб.

Пример 1. Дано: $Q_{\text{л}} = 0,04$ м³/с; $i_{\text{л}} = 0,003$; отверстие $b_{\text{л}} = 0,3$ м.

Расчетная схема на рис. 5.18.

Решение. Принимаем $h_{\text{л}} = 0,5$ м; $\chi_{\text{л1}} = 1,0$ м; $K_{\text{шл1}} = 0,035$; $\chi_{\text{л2}} = 0,3$;

$K_{\text{шл2}} = 0,017$, $v_{\text{д}} = 6,0$ м/с.

Вычисляем $\omega_{\text{л}} = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15$ м²; $\chi_{\text{л}} = 0,3 + 2 \cdot 0,5 = 1,3$ м;

$R_{\text{л}} = 0,15 / 1,3 = 0,115$;

$K_{\text{шпр}} = \sqrt{(1,0 \cdot 0,035^2 + 0,3 \cdot 0,017^2) / (1,0 + 0,3)} = 0,0359$;

$y = 1,5 \sqrt{0,0359} = 0,284$.

Определяем $v_{\text{рл}} = (1/0,0359) 0,115^{0,284} \sqrt{0,115 \cdot 0,003} = 0,28$ м/с;

$Q_{\text{рл}} = 0,15 \cdot 0,28 = 0,04$ м³/с; $H_{\text{л}} = 0,5 + 0,05 = 0,55$ м.

Принимаем безраспорный лоток прямоугольного сечения, конструкция по альбому [3].

Пример 2. Дано: $Q_{\text{л}} = 0,6$ м³/с; $i = 0,007$; $b_{\text{л}} = 0,5$ м.

Решение. Принимаем $h_{\text{л}} = 0,7$ м; $K_{\text{шл}} = 0,015$.

Вычисляем $\omega_{\text{л}} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35$ м²; $\chi_{\text{л}} = 0,5 + 2 \cdot 0,7 = 1,9$ м;

$R_{\text{л}} = 0,35 / 1,9 = 0,184$ м.

Определяем $v_{\text{л}} = (1/0,015) 0,184^{1,5} \sqrt{0,015} \sqrt{0,184 \cdot 0,007} = 1,75$ м/с.

$Q_{\text{л}} = 0,35 \cdot 1,75 = 0,61$ м³/с; $H_{\text{л}} = 0,70 + 0,25 = 0,95$ м.

Принимаем рамные лотки отверстием $0,5$ — $0,6$ м, высотой $1,0$ м.

Конструкция лотков по альбому [3].

5.3.2. Расчеты перепадов и быстротоков

Задача 5.23. Рассчитать одноступенчатый перепад.

Исходные данные: расход воды $Q_{\text{п}}$, форма сечения (прямоугольная, трапециевидальная), ширина отверстия водослива $b_{\text{п}}$, уклон $i_{\text{п}}$, высота перепада $p_{\text{п}}$.

Расчетная схема на рис. 5.19.

Решение. Выполняется гидравлический расчет одноступенчатого перепада с определением характера сопряжений бьефов (по типу гидравлического прыжка), выявляется необходимость в гасителе энергии (водобойного колодца, стенки, уступа).

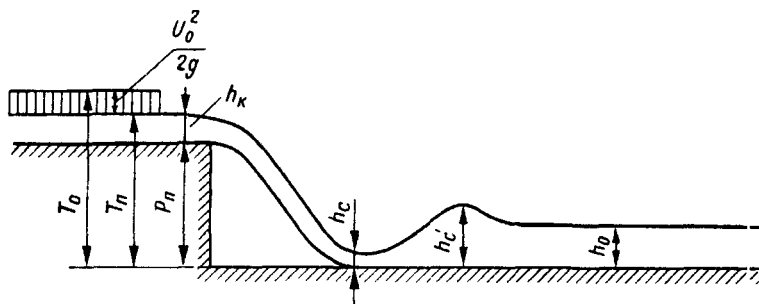


Рис 5.19 Расчетная схема одноступенчатого перепада

Вычисляется удельный расход воды $q_{\text{п}} = Q_{\text{п}}/b_{\text{п}}$.

Находится критическая глубина $h_{\text{к}}$. При прямоугольном русле нижнего бьефа $h_{\text{к}} = \sqrt[3]{0,112q^2}$; при трапецидальном сечении канавы и перепаде с крутизной откосов 1:1,5 $h_{\text{к}}$ находят по справочнику [98]. Принимается, что глубина воды на уступе (в верхнем бьефе) равна $h_{\text{к}}$ (при $i_{\text{п}} < i_{\text{к}}$ возникает спад уровня воды). Определяются скорость воды на уступе $U_0 = q_{\text{п}}/h_{\text{к}}$; полный напор воды на уступе T_0 (с учетом скоростного напора)

$$T_0 = T_{\text{п}} + U_0^2/(2g); \quad T_{\text{п}} = p_{\text{п}} + h_{\text{к}};$$

глубина в сжатом сечении h_c определяется из уравнения

$$T_{oi} = h_{ci} + q^2/(2g\varphi_c^2 h_{ci}^2),$$

где φ_c — коэффициент скорости ($\varphi_c = 0,85—1,00$).

Принимается несколько значений h_{ci} ; определяют T_{oi} ; строят графики $T_0 = f(h_c)$, по которому для известного T_0 находят h_c (рис. 5.20).

Вычисляют h_c' (сопряженную глубину)

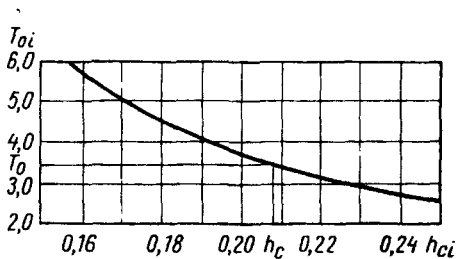
$$h_c' = 0,5h_c(\sqrt{1 + 8h_{\text{к}}^3/h_c^3} - 1).$$

Если $h_c' < h_c$, имеет место затопленный прыжок, устройство гасителей энергии не обязательно, если $h_c' > h_c$, то отогнанный или надвинутый прыжок, устройство гасителя энергии обязательно. Скорость течения воды в сжатом сечении

$$U_c = \sqrt{U_0^2 + 2g(p_{\text{п}} + 0,5h_{\text{к}})}.$$

Пример. Дано: $Q_{\text{п}} = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$; русло нижнего бьефа прямоугольное; $b_{\text{п}} = 1,2 \text{ м}$; $i_{\text{п}} = 3\text{‰}$; $p_{\text{п}} = 2,5 \text{ м}$; $U_0 = 2,0 \text{ м/с}$.

Расчетная схема на рис. 5.19.

Рис. 5.20 График зависимости $T_0 = f(h_c)$

Гидравлический расчет. Вычисляем бытовую глубину воды (до и после перепада) при установившемся режиме потока:

$$h_o = Q_{\Pi} / (b_{\Pi} v_o) = 1,8 / (1,2 \cdot 2,0) = 0,75 \text{ м};$$

удельный расход воды $q_{\Pi} = 1,8 / 1,2 = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$,

критическая глубина $h_k = \sqrt[3]{0,112 \cdot 1,5} = 0,55 \text{ м}$.

Так как $h_k < h_o$, то $i_k > i_{\Pi}$, у ребра перепада $h = h_k = 0,55 \text{ м}$.

Скорость воды на уступе $v_o = 1,5 / 0,55 = 2,73 \text{ м/с}$;

$$T_{\Pi} = 2,5 + 0,55 = 3,05 \text{ м};$$

полный напор воды на уступе $T_o = 3,05 + 2,73^2 / (2 \cdot 9,81) = 3,43 \text{ м}$.

Для определения h_c (приняв $\varphi_c = 0,9$) находим несколько значений

$$T_{oi} = h_{ci} + 1,5^2 / (2 \cdot 9,81 \cdot 0,9^2 h_{ci}^2);$$

При $h_{ci} = 0,16; 0,18; 0,20; 0,22; 0,24$;

$$T_{oi} = 5,69; 4,55; 3,74; 3,14; 2,70.$$

Строим график зависимости $T_o' = f(h_c)$ (рис. 5.20).

По этому графику для $T_o = 3,43$ находим $h_c = 0,208 \text{ м}$.

Вычисляем сопряженную глубину

$$h_c' = 0,5 \cdot 0,208 [\sqrt{1 + 8 \cdot 0,55^3 / 0,208^3} - 1] = 1,165 \text{ м}.$$

Так как $h_c' = 1,165 > h_o = 0,75 \text{ м}$, то имеет место отогнанный прыжок и необходимо устройство гасителя энергии.

Скорость течения воды в сжатом сечении

$$v_c = \sqrt{2,73^2 + 2 \cdot 9,81(2,5 + 0,5 \cdot 0,55)} = 7,87 \text{ м/с}.$$

Соответственно выбираем бетонное укрепление водобойной части [98].

Задача 5.24. Рассчитать водобойный колодец: определить его глубину d_k , длину l_k .

Исходные данные: h_o, h_k, p_k, v_o, h_c .

Расчетная схема на рис. 5.21.

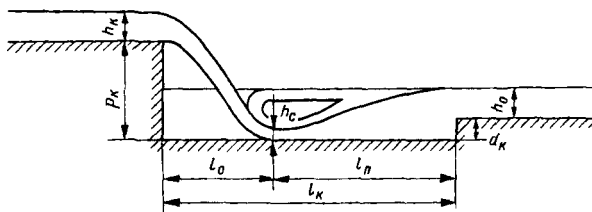


Рис. 5.21. Расчетная схема водобойного колодца.

Решение. При известных значениях h_k, h_c (по решению задачи 5.23) вычисляется сопряженная глубина

$$h_c' = (h_c/2)(\sqrt{1 + 8h_k^3/h_c^3} - 1).$$

Задаются глубиной колодца d_k по условию $(1,05 - 1,10)d + h_o > h_c'$ (с допуском до 5%).

Длина колодца $l_k = l_o + l_{\Pi}$,

где l_o — дальность отлета струи; $l_o = v_o \sqrt{(2p_k + h_k)/g}$;

l_{Π} — длина прыжка; $l_{\Pi} = 2,5(1,9 h_c' - h_c)$.

Пример. Дано: $h_c = 0,21$ м. Расчетная схема на рис. 5.21.

Решение. Вычисляем сопряженную глубину

$$h_c' = (0,21/2)(\sqrt{1 + 8 \cdot 0,55^3/0,21^3} - 1) = 1,16 \text{ м}$$

Задаемся глубиной колодца $d_k = 0,4$ м.

Проверяем условие: $1,1 \cdot 0,4 + 0,75 = 1,19 > h_c' = 1,16$ м

Разница – 2,6 %; принимаем $d_k = 0,4$ м

Вычисляем $l_o = 2,73\sqrt{(2 \cdot 3,5 + 0,55)/9,81} = 2,39$ м;

$$l_{\Pi} = 2,5(1,9 \cdot 1,16 - 0,21) = 4,98 \text{ м.}$$

Длина колодца $l_k = 2,39 + 4,98 = 7,37 \approx 7,4$ м

Задача 5.25. Рассчитать водобойную стенку: определить ее высоту d_c , длину гасителя энергии или l_k — расстояние между стенками падения и волноотбойной.

Исходные данные: Q_{Π} , b_{Π} , h_o , h_k , T_o , h_c , h_c' , l_o , l_{Π} .

Расчетная схема на рис. 5.22.

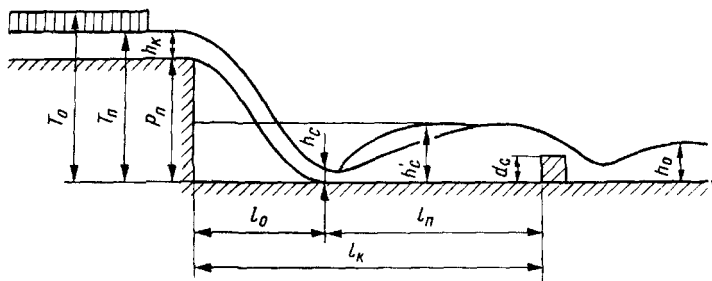


Рис 5.22. Расчетная схема водобойной стенки

Решение. Вычисляются $q_{\Pi} = Q_{\Pi}/b_{\Pi}$;

скорость подхода к водобойной стенке $v_o' = q_{\Pi}/h_c'$;

величина полного напора над водобойной стенкой $H_o = [q_{\Pi}/(K_p' \sqrt{2g})]^{2/3}$,

где $K_p' = 0,41 \dots 0,44$ — коэффициент расхода для водосливной стенки;

величина геометрического (без скоростного) напора $H_T = H_o - v_o'^2/(2g)$;

высота водобойной стенки $d_c = (1,05 - 1,10)(h_c' - H_T)$.

Должно быть $d_c > h_o$.

Если $d_c < h_o$, стенка затоплена. Необходимо принять новое значение d_c' и определить глубину затопления стенки: $h_{\Pi} = h_o - d_c'$;

напор над стенкой $H_{o1} = h_c' - d_c'$;

коэффициент затопления K_{3T} определяется по отношению h_{Π}/H_{o1} (прил. 5.5);

расход воды $Q' = K_{3T} \mu b_{\Pi} H_{o1}^{2/3}$, где $\mu = 1,86$ при $K_p' = 0,42$.

Должно быть $\Delta = 100[(Q_{\Pi} - Q')/Q_{\Pi}] < 5\%$.

Длина гасителя энергии $l_k = l_o + l_{\Pi} = v_o' \sqrt{(2p_{\Pi} + h_k)/g} + 2,5(1,9h_c' - h_c)$.

Пример. Дано: $Q_{\Pi} = 1,8$ м³/с; $b_{\Pi} = 1,2$ м; $h_o = 0,75$ м; $h_k = 0,55$ м;

$T_o = 3,43$ м; $h_c = 0,21$ м; $h_c' = 1,16$ м; $l_o = 2,4$ м; $l_{\Pi} = 5,0$ м.

Расчетная схема на рис. 5.22.

Решение Вычисляем $q_{\text{п}} = 1,8/1,2 = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$
 скорость подхода к стенке $v_0' = 1,5/1,16 = 1,29 \text{ м/с}$,
 величины напора полного (приняв $K_p' = 0,42$) $H_0 = [1,5/(0,42\sqrt{2 \cdot 9,81})]^{2/3} = 0,86 \text{ м}$,
 геометрического $H_r' = 0,86 - 1,29^2/(2 \cdot 9,81) = 0,78 \text{ м}$

Высота водобойной стенки $d_c = 1,1(1,16 - 0,78) = 0,42 \text{ м}$

Так как $d_c < h_0 = 0,75 \text{ м}$, стенка затоплена

Принимаем $d_c' = 0,25 \text{ м}$, находим глубину затопления $h_{\text{п}} = 0,75 - 0,25 = 0,50 \text{ м}$,
 напор $H_{01} = 1,16 - 0,25 = 0,91 \text{ м}$

По отношению $h_{\text{п}}/H_{01} = 0,50/0,91 = 0,549$ находим $K_{\text{зт}} = 0,922$ (прил 5 5)

Расход воды $Q_{\text{п}}' = 0,922 \cdot 1,86 \cdot 1,2 \cdot 0,91^{3/2} = 1,78 \text{ м}^3/\text{с}$

Расхождение $Q_{\text{п}}$ и Q' составляет 1% Принимаем $d_c = 0,25 \text{ м}$

Расстояние до водобойной стенки $l_k = 2,4 + 5,0 = 7,4 \text{ м}$

Задача 5.26. Рассчитать многоступенчатый перепад (колодезного типа прямоугольного сечения)

Исходные данные $Q_{\text{п}}$, $b_{\text{п}}$, $l_{\text{п}}$, $p_{\text{п}}$, p_l (высота стенок перепада), n_c (число ступеней)

Расчетная схема на рис 5 23, конструкция на рис 5 24

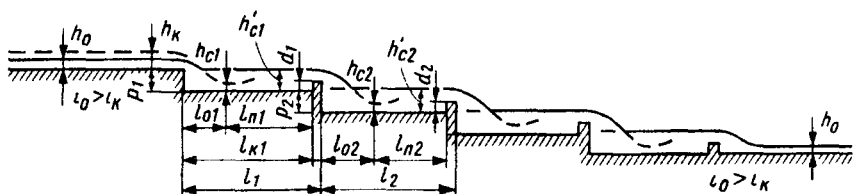


Рис 5 23 Расчетная схема многоступенчатого перепада

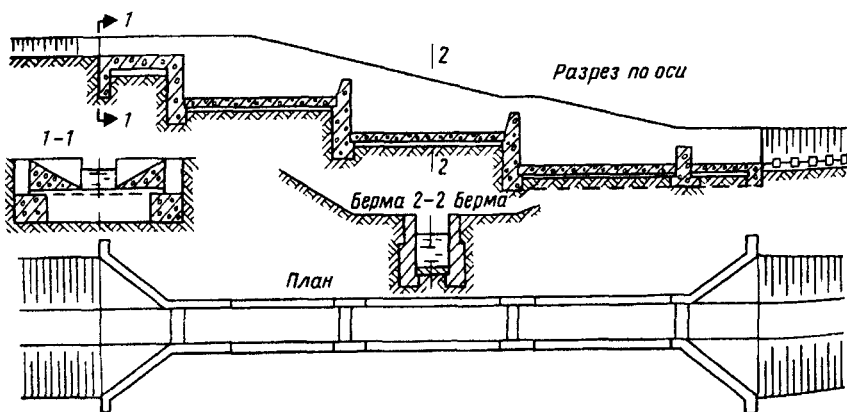


Рис 5 24 Конструкция многоступенчатого перепада

Решение Гидравлический расчет выполняется для первой, второй и последующих ступеней

Определяются высоты водобойных стенок и длины ступеней (аналогично расчетам гасителей энергии)

Методика расчета — согласно альбому [3] справочнику [98] и решениям задач 5 23 5 25

Задача 5.27. Рассчитать быстроток

Исходные данные Q_6 , l_6 , l_6 , форма лотка, $K_{ш}$ (коэффициент шероховатости)

Расчетная схема на рис 5 25, конструкция быстротока на рис 5 26

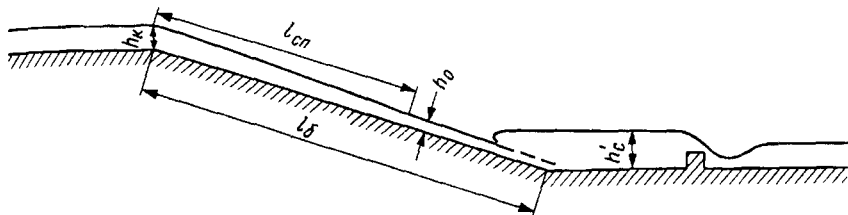


Рис 5 25 Расчетная схема быстротока

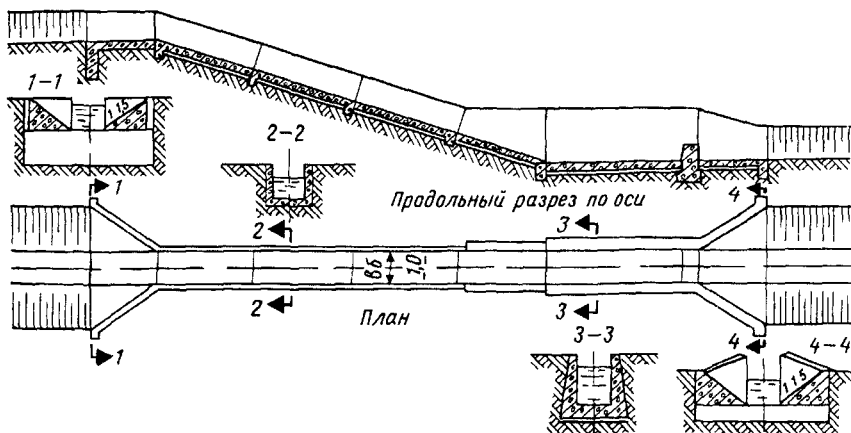


Рис 5 26 Конструкция быстротока

Решение Гидравлический расчет быстротока (лотка с большим уклоном) включает определение наивыгоднейшей ширины на выходе b_6 , глубины потока h_6 , скорости U_6 в конце быстротока, построение свободной поверхности кривой спада на водоскате, расчет сопряжений в нижнем бьефе (при необходимости — с расчетом гасителя энергии)

При прямоугольном сечении быстротока наивыгоднейшая ширина лотка $b_6 = 0,765^5 \sqrt{Q_6^2}$

Коэффициент шероховатости с учетом аэрации $K_{шз} = a_{аз} K_{ш}$, где $a_{аз}$ — коэффициент аэрации: при i_0 , равном 0,1—0,2; 0,2—0,4 и более 0,4, $a_{аз}$ соответственно равен 1,3, 1,33—2,0; 2,0—3,33.

Приняв h_0 на участке равномерного движения потока, находят $\omega_0 = b_6 h_0$; $\chi_0 = b_6 + 2h_0$; $R_0 = \omega_0 / \chi_0$; $C_0 = (1/K_{шз}) R_0^y$; $v_0 = C_0 \sqrt{R_0 i_0}$; $Q_0 = v_0 \omega_0$.

Должно быть $\Delta = 100[(Q_6 - Q_0)/Q_6] < 5\%$.

Для определения кривой спада $l_{сп}$ (расстояние между сечениями с критической глубиной h_k на ребре быстротока и h_0 с установившимся равномерным движением потока) вычисляют:

$$q_k = Q_6 / b_6; \quad h_k = \sqrt[3]{0,112 q_k'}$$

Для каждого сечения с глубинами h_k и h_0 определяют

$$\omega_k = b_6 h_k; \quad \chi_k = b_6 + 2h_k; \quad R_k = \omega_k / \chi_k; \quad C_k = (1/K_{шз}) R_k^y.$$

Вычисляются значения удельной энергии потока

в критическом сечении $\mathcal{E}_k = h_k + \alpha_3 Q^2 / (2g \omega_k^2)$;

при равномерном движении $\mathcal{E}_0 = h_0 + \alpha_3 Q^2 / (2g \omega_0^2)$;

где $\alpha_3 = 1,1$ — коэффициент кинетической энергии потока.

Вычисляются средние значения:

$$\omega_{ср} = 0,5(\omega_k + \omega_0); \quad R_{ср} = 0,5(R_k + R_0); \quad C_{ср} = 0,5(C_k + C_0);$$

средний уклон трения $i_{фср} = Q^2 / (C_{ср}^2 \omega_{ср}^2 R_{ср})$;

длина кривой спада $l_{сп} = (\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_k) / (i_0 - i_{фср})$.

Если $l_{сп} < l_6$, то в конце быстротока равномерное движение воды с глубиной h_0 .

Если $l_{сп} > l_6$, имеет место короткий быстроток (расчеты согласно [3, 98]).

Устанавливается характер сопряжения с нижним бьефом. Определяется h_c' (приняв $h_c = h_0$). Если $h_c' > h_0$, необходимо запроектировать гаситель энергии (см. задачи 5.24, 5.25).

Пример 1. Дано: $Q_6 = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$; $l_6 = 12,0 \text{ м}$; $i_0 = 0,3$; бетонный лоток прямоугольного сечения; $K_{ш} = 0,014$.

Расчетная схема на рис. 5.25, конструкция на рис. 5.26.

Решение. Вычисляем ширину лотка:

$$b_6 = 0,765 \sqrt[5]{1,8^2} = 0,968 \approx 1,0 \text{ м}; \quad K_{шз} = 1,6 \cdot 0,014 = 0,0224.$$

Принимаем $h_0 = 0,26 \text{ м}$; находим $\omega_0 = 1,0 \cdot 0,26 = 0,26 \text{ м}^2$;

$$\chi_0 = 1,0 + 2 \cdot 0,26 = 1,52 \text{ м}; \quad R_0 = 0,26 / 1,52 = 0,171 \text{ м};$$

$$C_0 = (1/0,0224) 0,171^{1,5 \sqrt{0,0224}} = 30,03;$$

$$v_0 = 30,03 \sqrt{0,171 \cdot 0,3} = 6,8 \text{ м/с}; \quad Q_0 = 6,8 \cdot 0,26 = 1,77 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расхождение $100[(1,80 - 1,77)/1,80] = 1,7\%$.

Принимаем $h_0 = 0,26 \text{ м}$.

Вычисляем $q_k = 1,8 / 1,0 = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$; $h_k = \sqrt[3]{0,112 \cdot 1,8^2} = 0,71 \text{ м}$;

$$\omega_k = 1,0 \cdot 0,71 = 0,71 \text{ м}^2; \quad \chi_k = 1,0 + 2 \cdot 0,71 = 2,42 \text{ м};$$

$$R_k = 0,71 / 2,42 = 0,295 \text{ м}; \quad C_k = (1/0,0224) 0,293^{1,5 \sqrt{0,0224}} = 33,93.$$

Находим значения энергии потока в критическом сечении

$$\mathcal{E}_k = 0,71 + 1,1 \cdot 1,8^2 / (2 \cdot 9,81 \cdot 0,71^2) = 1,070;$$

на участке равномерного движения

$$\mathcal{E}_0 = 0,26 + 1,1 \cdot 1,8^2 / (2 \cdot 9,81 \cdot 0,26^2) = 2,947$$

Средние значения: $\omega_{cp} = 0,5(0,26 + 0,71) = 0,485 \text{ м}^3$;

$$R_{cp} = 0,5(0,171 + 0,293) = 0,232 \text{ м}; \quad C_{cp} = 0,5(30,03 + 33,93) = 31,97.$$

Средний уклон трения $i_{fcp} = 1,8^2 / (31,97^2 \cdot 0,485^2 \cdot 0,232) = 0,058$.

Длина кривой спада $l_{cp} = (2,947 - 1,070) / (0,3 - 0,058) = 7,8 \text{ м}$;

$l_{cp} < l_6 = 12,0 \text{ м}$; в конце быстротока равномерное течение.

Гидравлические расчеты других типов быстротоков, в том числе, с гасителями энергии, выполняются согласно [3, 98].

Пример 2. Расчет быстротока на ПК (программа РГУПС).

Программа включает пять подпрограмм: определения критической глубины, условий существования быстротока, глубины, при равномерном движении потока, расчета кривой спада и определения расчетной глубины (в конце быстротока).

Результаты расчета (пример информации на печать):

Расход $Q_6 = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$; ширина $b_6 = 0,6 \text{ м}$; глубина критическая $h_k = 0,68 \text{ м}$; крутизна стенки $m_6 = 0,0$; коэффициент шероховатости $K_{ш} = 0,025$; уклон дна $i_6 = 0,1$; критический уклон $i_k = 0,0577$.

Параметры потока при критической глубине h_k :

$b_k = 0,6 \text{ м}$; $\omega_k = 0,4 \text{ м}^3$; $\chi_k = 1,96 \text{ м}$; $R_k = 0,2 \text{ м}$; $C_k = 29$;

$K_{ш} = 0,025$; коэффициент аэрации 1,3; глубина $h_0 = 0,57 \text{ м}$ при равномерном потоке.

Параметры потока при глубине h_0 :

$\omega_0 = 0,34 \text{ м}^3$; $\chi_0 = 1,74 \text{ м}$; $R_0 = 0,195 \text{ м}$; $C_0 = 21$;

длина кривой спада $l_{cp} = 0,8 \text{ м}$; длина быстротока $l_6 > l_{cp}$.

Расчетные параметры быстротока:

$h_p = 0,66 \text{ м}$, $\omega_p = 0,396 \text{ м}^3$; скорость $v_p = 2,52 < v_d = 5,0 \text{ м/с}$.

5.4. Расчеты и проектирование дренажей

5.4.1. Определение эффективности, расхода воды в дренаж

Задача 5.28. Определить техническую эффективность проектируемого (гравитационного траншейного) дренажа.

Исходные данные. характеристики грунта n_T , γ_T , W_T , γ_B .

Решение. Техническая эффективность дренажа определяется коэффициентом водоотдачи $K_{во}$, величиной весовой влажности, снижаемой дренажем ΔW .

Вычисляются $e_{\Gamma} = n_{\Gamma}/(1 - n_{\Gamma})$; $\gamma_d = \gamma_s/(1 + e_{\Gamma})$.

Определяется водоотдача

$$m_{\text{в}} = n_{\Gamma} - (1 + \alpha_{\text{к}})W_{\text{м}}(\gamma_d/\gamma_{\text{в}}),$$

где $\alpha_{\text{к}}$ — доля капиллярно-застрявшей воды.

Коэффициент водоотдачи $K_{\text{во}} = m_{\text{в}}/n_{\Gamma} \geq 0,20$;

величина снижаемой весовой влажности $\Delta W = n_{\Gamma}(\gamma_{\text{в}}/\gamma_d) - (1 + \alpha_{\text{к}})W_{\text{м}}$.

Пример. Дано: $n_{\Gamma} = 42\%$; $\gamma_s = 26,8 \text{ кН/м}^3$; $W_{\text{м}} = 14\%$; $\alpha_{\text{к}} = 0,12$, $\gamma_{\text{в}} = 10,0 \text{ кН/м}^3$.

Решение. Вычисляем $e_{\Gamma} = 0,41/(1 - 0,42) = 0,724$;

$$\gamma_d = 26,8/(1 + 0,724) = 15,54 \text{ кН/м}^3.$$

Определяем $m_{\text{в}} = 0,42 - (1 + 0,12)0,14(15,54/10,0) = 0,172$;

$$K_{\text{во}} = 0,172/0,42 = 0,41 > 0,2.$$

Следовательно, дренаж будет технически эффективным.

$$\Delta W = 0,42(10,0/15,54) - (1 + 0,12)0,14 = 0,11 = 11\%.$$

Задача 5.29. Определить глубину заложения, ширину траншеи дренажа.

Исходные данные: характеристики грунта $I_{\text{д}}$, $\alpha_{\text{кп}}$, глубина промерзания $Z_{\text{пр}}$; размеры ϵ_0 , h_0 , $b_{\text{кн}}$, $h_{\text{к}}$, $m_{\text{от}}$, m_1 , m_2 , δ , $B_{\text{оп}}$, отметки A_{δ} , A_{Γ} (бровки по профилю, грунтовых вод по гидроизогипсам) [78].

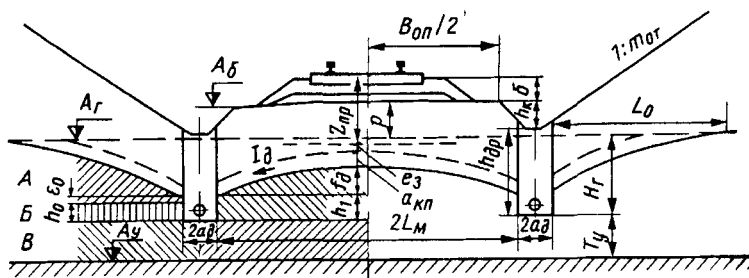


Рис 5 27 Расчетная схема двустороннего несовершенного подкюветного дренажа

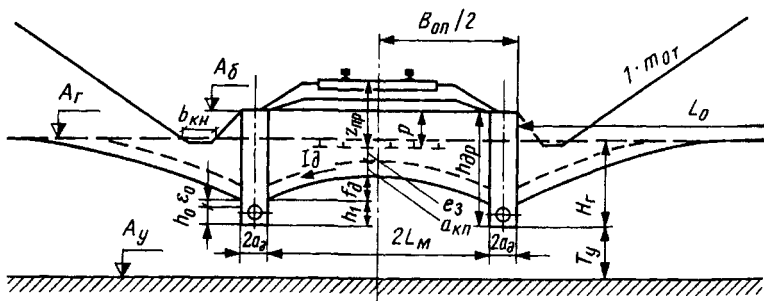


Рис 5 28. Расчетная схема двустороннего несовершенного предкюветного дренажа

Расчетные схемы дренажей несовершенных двусторонних подкюветного на рис. 5.27, предкюветного на рис. 5.28, закюветного на рис. 5.29, одно-сторонних: подкюветного на рис. 5.30, закюветного (откосного) на рис. 5.31, при наклонном водоупоре на рис. 5.32; на двухпутном участке на рис. 5.33

Решение. Глубина заложения дренажей двусторонних и одно-сторонних подкюветного $h_{др} = Z_{пр} - б + e_3 + a_{кп} + f_d + \epsilon_0 + h_0 - h_k$;

предкюветного $h_{др} = Z_{пр} - б + e_3 + a_{кп} + f_d + \epsilon_0 + h_0$;

закюветного $h_{др} = Z_{пр} - б + e_3 + a_{кп} + f_d + \epsilon_0 + h_0 + (C_d - b_{кв})/m_{от}$,

где $b_{кв} = b_{кн} + (m_1 + m_2)h_k$ — ширина кювета по верху, $C_d > b_{кв}$, e_3 — величина запаса (на уровне $Z_{пр}$, $a_{кп}$); $a_{кп}$ — высота капиллярного поднятия воды; h_0 — до верха трубы; ϵ_0 — высота высачивания воды.

При двусторонних дренажах $f_d = I_d L_M$;

у подкюветных $L_M = 0,5[B_{оп} + 2(m_{от}h_k - 0,2)]$;

предкюветных $L_M = 0,5(B_{оп} - 4a_d)$, где a_d — полуширина траншеи дренажа,

у закюветных (откосных) $L_M = 0,5B_{оп} + C_d$.

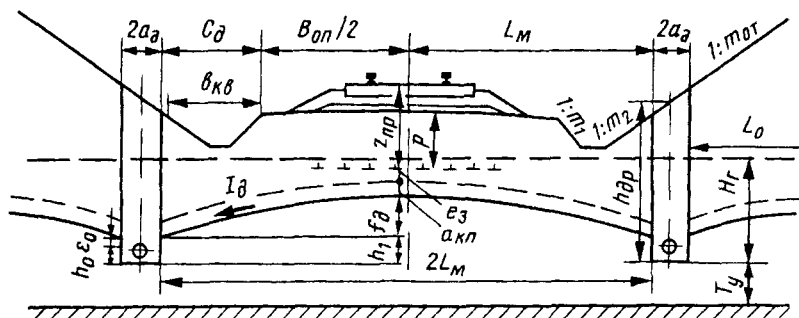


Рис. 5.29 Расчетная схема двустороннего несовершенного закюветного дренажа

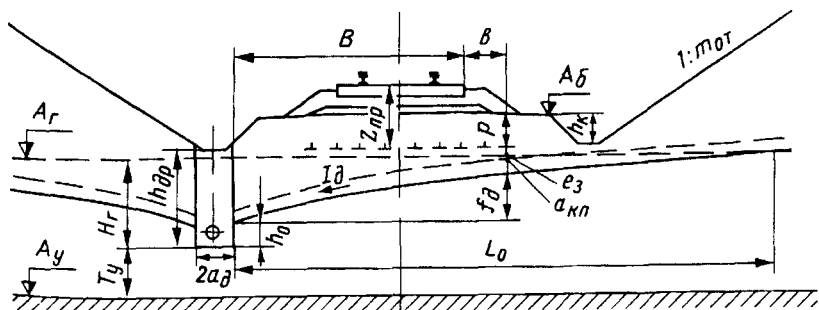


Рис. 5.30 Расчетная схема одностороннего несовершенного подкюветного дренажа

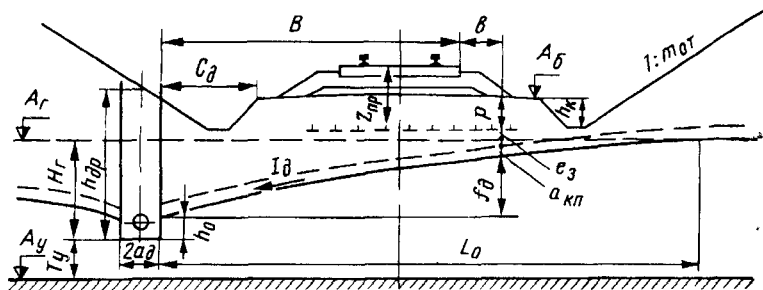


Рис 5.31 Расчетная схема одностороннего несовершенного закуветного дренажа

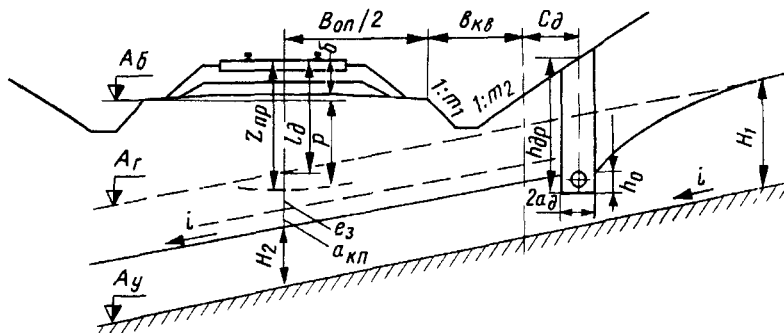


Рис 5.32. Расчетная схема одностороннего несовершенного закуветного дренажа при наклонном водоупоре

При односторонних дренажах $f_d = -0,5F_1 + \sqrt{0,25F_1^2 + G_i}$,

где $F_1 = 2h_0 - I_d(B_l + b_3)$; $G_i = I_d(B_l + b_3)(H_0 + h_0)$;

$B_l = L_M + 0,5b_{ш}$, $H_0 = A_r - A_b + Z_{пр} - b + e_3 + a_{кп} + h_0$,

где b_3 — величина запаса, $b_{ш}$ — длина шпалы.

Ширина траншеи принимается $0,8 < 2a_d < 1,0$ м при $h_{др} < 2,5$ м;

$1,0 < 2a_d < 1,5$ м при $2,5 < h_{др} < 6,0$ м, $2a_{др} = 0,52 \dots 0,80$ м при устройстве дренажа дренажной машиной.

Пример. Дано $I_d = 0,04$; $a_{кп} = 0,6$ м; $Z_{пр} = 1,9$ м; $b = 0,6$ м; $e_0 = 0,03$ м, $h_0 = 0,4$ м, $b_{кн} = 0,4$ м, $h_k = 0,6$ м; $m_1 = 1,0$; $m_2 = 1,5$; $m_{от} = 1,5$; $A_b = 105,2$; $A_r = 104,3$, $B_{оп} = 6,0$ м;

Расчетные схемы на рис. 5.27...5.33

Решение. Определяем глубину заложения дренажей.

двустороннего подкуветного $L_M = 0,5[6,0 + 2(1,0 \cdot 0,6 - 0,2)] = 3,4$ м;

$f_d = 0,04 \cdot 6,8 = 0,27$ м; принимаем $e_3 = 0,25$ м;

$h_{др} = 1,90 - 0,60 + 0,25 + 0,60 + 0,27 + 0,03 + 0,40 = 2,25$ м,

Решение. Для случая отсутствия снежного покрова проверяется условие $Z_{\text{прmax}} \leq h_{\text{прдр}}$,

Приведенное значение глубины промерзания

$$Z_{\text{прmax}} = Z_{\text{max}} - \Sigma[(K_{6i} - 1)/K_{6i}]b_i;$$

приведенная глубина заложения дренажа (до верха трубы)

$$h_{\text{прдр}} = (1/K_{3п})(h_{\text{др}} - h_0)$$

Пример. Дано: $Z_{\text{max}} = 2,05$ м; $h_{\text{др}} = 2,3$ м; $b_{\text{п}} = 0,2$ м; $b_{\text{щ}} = 0,4$ м; $K_{\text{п}} = 1,05$; $K_{\text{щ}} = 1,3$; $K_{3п} = 1,1$.

Решение. Вычисляем $h_{\text{прдр}} = (1/1,1)(2,3 - 0,4) = 1,73$ м;

$$Z_{\text{прmax}} = 2,05 - [(1,05 - 1,0)/1,05]0,2 - [(1,3 - 1,0)/1,3]0,4 = 1,95 \text{ м.}$$

Поскольку $Z_{\text{прmax}} > h_{\text{прдр}}$, следует увеличить глубину заложения дренажа:

$$h_{\text{др}}' = h_{\text{др}} + K_{3п}(Z_{\text{прmax}} - h_{\text{прдр}}) = 2,3 + 1,1(1,95 - 1,73) = 2,54 \text{ м.}$$

Задача 5.31. Определить сроки осушения грунтов дренажем.

Исходные данные: характеристики грунта $K_{\text{ф}}$, $m_{\text{в}}$, $I_{\text{д}}$, $a_{\text{кп}}$; дренажа h_0 , $h_{\text{др}}$, $a_{\text{д}}$, $L_{\text{м}}$; промерзания $Z_{\text{пр}}$; b , отметки: $A_{\text{б}}$, $A_{\text{Г}}$, $A_{\text{У}}$.

Решение. Определяются

$$H_{\text{Г}} = H_0 + f_{\text{д}} = A_{\text{Г}} - A_{\text{б}} + Z_{\text{пр}} - b + e_3 + a_{\text{кп}} + h_0 + I_3 L_{\text{м}}; \quad T_{\text{У}} = A_{\text{Г}} - A_{\text{У}} - H_{\text{Г}}.$$

Вычисляются величина высачивания воды $\epsilon_0 = [I_{\text{д}}/(2 + I_{\text{д}})](H_{\text{Г}} - h_0)$;

проекция кривой депрессии $L_0 = \{2(1 - I_{\text{д}})/(2 - I_{\text{д}})I_{\text{д}}\}(H_{\text{Г}} - h_0)$;

коэффициент $B_{\text{д}} = 1 + 5,5\sqrt{a_{\text{д}}T_{\text{У}}/[H_{\text{Г}}(H_{\text{Г}} + T_{\text{У}})]}$.

Вычисляются функции, определяющие время осушения (рис.5.33):

при двусторонних дренажах — с междренажного пространства

η_1 — от начала осушения до смыкания ветвей кривой депрессии,

$$\eta_1 = (H_{\text{Г}} + 2h_0)/[3(H_{\text{Г}} + h_0)^2], \text{ м}^{-1};$$

η_2 — от смыкания ветвей до стационарного положения кривой депрессии

$$\eta_2 = [2/(3A_{\text{д}}^2)](1/f_0 - 1/H_{\text{Г}}), \text{ м}^{-1},$$

где $f_0 = h_0 + I_{\text{д}}L_{\text{м}} + \epsilon_0$; $A_{\text{д}} = f(h_0/H_{\text{Г}})$ — по табл. 5.6;

при односторонних и двусторонних дренажах с полевой стороны

η_1 — от начала осушения до стационарного положения ветвей кривой депрессии

$$\eta_1 = 4(H_{\text{Г}}^3 - h_0^3)/[3(H_{\text{Г}}^2 - h_0^2)^2], \text{ м}^{-1}; \quad \eta_2 = 0.$$

Время осушения грунта дренажем

$$t_0 = [m_{\text{в}}L_0^2/(K_{\text{ф}}\sqrt{B_{\text{д}}})](\eta_1 + \eta_2) < 3 \text{ лет.}$$

Таблица 5.6

Значения коэффициента $A_{\text{д}} = f(h_0/H_{\text{Г}})$

$h_0/H_{\text{Г}}$	0,00	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
$A_{\text{д}}$	0,862	0,861	0,857	0,842	0,817	0,781	0,734	0,674	0,597	0,497

Пример 1. Определить t_0 — время осушения выемки двусторонним подкюветным дренажем.

Дано: $K_{\phi} = 10^{-6}$ м/с; $m_{\text{в}} = 0,2$; $I_{\text{д}} = 0,05$; $a_{\text{кп}} = 0,5$ м; $h_0 = 0,4$ м; $h_{\text{др}} = 2,6$ м; $a_{\text{д}} = 0,4$ м; $2L_{\text{м}} = 10,9$ м; $A_{\text{б}} = 105,2$; $A_{\text{Г}} = 104,3$; $A_{\text{у}} = 99,3$ м; $Z_{\text{пр}} = 1,95$ м; $\text{б} = 0,6$ м.

Решение. Определяем

$$H_{\text{Г}} = 104,3 - 105,2 + (1,95 - 0,60) + 0,25 + 0,50 + 0,40 + 0,05 \cdot 5,45 = 1,87 \text{ м};$$

$$T_{\text{у}} = 104,3 - 99,3 - 1,87 = 3,13 \text{ м}.$$

Вычисляем $\epsilon_0 = [0,05/(2 - 0,05)](1,87 - 0,40) = 0,04$ м;

$$L_0 = \{2(1 - 0,05)/[(2 - 0,05)0,05]\}(1,87 - 0,40) = 28,65 \text{ м};$$

$$B_{\text{д}} = 1 + 5,5\sqrt{0,4 \cdot 3,13}/[1,87(1,87 + 3,13)] = 3,01.$$

Определяем $t_{\text{п}}$ для полевой стороны дренажа:

$$\text{функции } \eta_1 = 4(1,87^3 - 0,40^3)/[3(1,87^2 - 0,40^2)^2] = 0,775 \text{ м}^{-1}; \eta_2 = 0,0.$$

времени осушения

$$t_{\text{п}} = [0,2 \cdot 28,65^2/(0,000001\sqrt{3,01})]0,775 = 173332702/86400 = 849 \text{ сут.} = 2,3 \text{ года}.$$

Здесь 86400 секунд в сутках. Допустимо $t_{\text{п}} = 1 \dots 3$ года.

Определяем срок осушения $t_{\text{м}}$ междренажного пространства (подбалластной зоны)

$$f_0 = 0,40 + 0,05 \cdot 5,45 + 0,04 = 0,71 \text{ м}; \quad h_0/H_{\text{Г}} = 0,4/1,87 = 0,21.$$

По табл. 5.6 интерполируя, определяем $A_{\text{д}}$

$$A_{\text{д}} = 0,842 - [(0,842 - 0,817)/0,1](0,21 - 0,20) = 0,839.$$

$$\eta_1 = (1,87 + 2 \cdot 0,40)/[3(1,87 - 0,40)^2] = 0,173 \text{ м}^{-1};$$

$$\eta_2 = [2/(3 \cdot 0,839^2)](1/0,71 - 1/1,87) = 0,827 \text{ м}^{-1}.$$

$$t_{\text{м}} = [0,2 \cdot 5,45^2/(10^{-6}\sqrt{3,01})](0,173 + 0,827) = 3,42 \cdot 10^6/86400 = 39,6 \text{ сут.}$$

Задача 5.32. Определить глубину заложения и расход воды в дренаж при наклонной поверхности водоупора.

Исходные данные: характеристики грунта K_{ϕ} , $a_{\text{кп}}$, $Z_{\text{пр}}$; величины $l_{\text{д}}$, $A_{\text{Г}}$, $A_{\text{б}}$, $A_{\text{у}}$, $i_{\text{д}}$, h_0 , размеры $B_{\text{оп}}$, б , $b_{\text{кв}}$, $C_{\text{д}}$.

Расчетная схема на рис. 5.32.

Решение. Уровень заложения дренажа $h_{\text{дру}} = l_{\text{д}} + (H_1 - H_2) + h_0$ или $h_{\text{дру}} = Z_{\text{пр}} + e_3 + a_{\text{кп}} + h_0$, так как $l_{\text{д}} = Z_{\text{пр}} + e_3 + a_{\text{кп}} - (H_1 - H_2)$;

$$H_1 = A_{\text{Г}} - A_{\text{у}}; \quad H_2 = H_1 - (h_{\text{дру}} - l_{\text{д}} - h_0).$$

Отметка дна дренажа $O_{\text{дд}} = A_{\text{б}} + \text{б} - h + (B_{\text{оп}}/2 + b_{\text{кв}} + C_{\text{д}})i_{\text{д}}$.

Расход воды $q_{\text{д}} = K_{\phi}(H_1 - H_2)i_{\text{д}}$.

Пример. Дано: $K_{\phi} = 7 \cdot 10^{-6}$ м/с; $a_{\text{кп}} = 0,6$ м; $Z_{\text{пр}} = 1,9$ м; $l_{\text{д}} = 0,7$ м; $A_{\text{Г}} = 113,6$; $A_{\text{б}} = 113,7$; $A_{\text{у}} = 108,3$ м; $i_{\text{д}} = 0,21$; $h_0 = 0,4$ м; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $\text{б} = 0,6$ м; $b_{\text{кв}} = 2,2$ м; $C_{\text{д}} = 0,8$ м.

Расчетная схема на рис. 5.32.

Решение. Определяем глубину заложения дренажа, приняв $e_3 = 0,25$ м.

$$h_{\text{дру}} = 1,90 + 0,25 + 0,60 + 0,40 = 3,15 \text{ м};$$

$$O_{\text{дд}} = 113,7 + 0,6 - 3,15 + (3,0 + 2,2 + 0,8)0,21 = 112,41 \text{ м}$$

$$H_1 = 113,6 - 108,3 = 5,3 \text{ м}; \quad H_2 = 5,30 - 3,15 + 0,70 + 0,40 = 3,25 \text{ м}.$$

$$\text{Расход } q_{\text{д}} = 7 \cdot 10^{-6}(5,30 - 3,25) \cdot 0,21 = 3,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача 5.33. Определить расход воды в дренаж несовершенный подкюветный двусторонний.

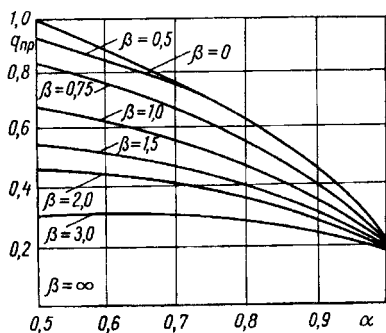


Рис. 5.34. График для определения $q_{пр} = \psi(\alpha, \beta)$

$$\alpha = L_o / (L_o + a_d); \quad \beta = L_o / T_y; \quad L_o = \{2(1 - I_d) / [(2 - I_d)I_d]\} (H_\Gamma - h_o).$$

Если $\beta > 3$, то $q_{пр}$ определяется по формуле $q_{пр} = q_{пр}' / [(\beta - 3)q_{пр}' + 1]$; $q_{пр}'$ принимается по графику рис. 5.34 при $\beta = 3$ и $\alpha = 3T_y / (2T_y + a_d)$.

Расход воды со стороны междренажного пространства

$$q_m = K_\phi I_d [L_m (I_d + q_{пр}) + 2h_o].$$

Приведенный расход $q_{пр}$ принимается по графику $q_{пр} = \psi(\alpha, \beta)$ (рис. 5.34) при $\alpha = L_o / (L_o + a_d)$; $\beta = L_o / T_y$.

Полный расход (приток) воды в дренаж по всей длине дренажа L_d с одной стороны (выемки) $Q_1 = q_d L_d$, по всей длине двухстороннего дренажа $Q_0 = 2Q_1$.

Пример. Дано: $H_\Gamma = 2,4$ м; $h_o = 0,35$ м; $a_d = 0,4$ м; $\epsilon_o = 0,03$ м; $T_y = 3,1$ м; $2L_m = 11,2$ м; $K_\phi = 9 \cdot 10^{-7}$ м/с; $I_d = 0,04$; $L_b = 540$ м.

Расчетные схемы на рис. 5.27, 5.28, 5.29.

Решение. Определяем $q_{пс}$

$$q_{пс} = 0,5 \cdot 9 \cdot 10^{-7} \cdot 0,04 (2,40 + 0,35 + 0,03) = 0,50 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с};$$

вычисляем $L_o = \{2(1 - 0,04) / [(2 - 0,04)0,04]\} (2,40 - 0,35) = 50,2$ м;

$$\beta = 50,2 / 3,1 = 16,2 > 3;$$

принимаем $\beta = 3$; вычисляем $\alpha = 3 \cdot 3,1 / (3 \cdot 3,1 + 0,4) = 0,959$.

По графику $q_{пр} = \psi(\alpha, \beta)$ принимаем $q_{пр}' = 0,20$;

вычисляем $q_{пр} = 0,2 / [(16,2 - 3,0)0,2 + 1,0] = 0,055$;

определяем $q_{нд} = 9 \cdot 10^{-7} (2,40 - 0,35) \cdot 0,055 = 1,015 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$.

Исходные данные: $H_\Gamma, h_o, \epsilon_o, T_y, a_d, L_m$; характеристики грунта K_ϕ, I_d .

Расчетные схемы на рис. 5.27, 5.28, 5.29, 5.33.

Решение. Полный расход (приток) воды на 1 м дренажа

$$q_d = q_{пс} + q_m.$$

Расход воды

со стороны поля $q_{пс} = q_{пс} + q_{пд}$;

со стороны стенки

$$q_{пс} = 0,5 K_\phi I_d (H_\Gamma + h_o + \epsilon_o);$$

со стороны дна $q_{пд} = K_\phi (H_\Gamma + h_o) q_{пр}$.

Приведенный расход $q_{пр}$ принимается в зависимости от α, β по графику $q_{пр} = \psi(\alpha, \beta)$ (рис. 5.34);

Для междренажного пространства $L_0 = L_M = 5,6$ м
вычисляем $\beta = 5,6/3,1 = 1,81 < 3$; $\alpha = 5,6/(5,6 + 0,4) = 0,93$;
по графику $q_{пр} = \psi(\alpha, \beta)$ принимаем $q_{пр}' = 0,33$.

Определяем $q_M = 9 \cdot 10^{-7} \cdot 0,04[5,6(0,04 - 0,33) + 2 \cdot 0,35] = 0,998 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$.

Полный расход воды на 1 м дренажа с одной стороны выемки

$$q_d = 1,525 \cdot 10^{-7} + 0,998 \cdot 10^{-7} = 2,52 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с};$$

по всей длине дренажа $Q_1 = 2,52 \cdot 10^{-7} \cdot 540 = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$;

по всей длине двустороннего дренажа $Q_0 = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$.

Задача 5.34. Определить расход воды в несовершенный односторонний дренаж.

Исходные данные: $K_\phi, I_d, H_\Gamma, T_y, h_0, \varepsilon_0, a_d$.

Расчетная схема на рис. 5.30, 5.31.

Решение. Расход воды в односторонний дренаж определяется по формуле

$$q_d = 2(q_{пс} + q_{пд}) = K_\phi [I_d(H_\Gamma + h_0 + \varepsilon_0) + 2(H_N - h_0)q_{пр}'];$$

$q_{пр}$ определяется по графику $q_{пр} = \psi(\alpha, \beta)$ при $\beta = L_0/T_y$; $\alpha = L_0/(L_0 + a_d)$;
 $L_0 = H_\Gamma/I_d$.

Если $\beta > 3$ $\alpha = 3T_y/(3T_y + a_d)$; $\beta = 3$; $q_{пр} = q_{пр}'/[(\beta - 3)q_{пр}' + 1]$.

Пример. Дано: $K_\phi = 10^{-7} \text{ м/с}$; $I_d = 0,07$; $H_\Gamma = 2,7$ м; $T_y = 3,4$ м; $h_0 = 0,35$ м;
 $\varepsilon_0 = 0,04$ м; $a_d = 0,5$ м.

Решение. Вычисляем $L_0 = 2,7/0,07 = 38,57$ м; $\beta = 38,57/3,4 = 11,34 > 3$.

Принимаем $\beta = 3$; $\alpha = 3 \cdot 3,4/(3 \cdot 3,4 + 0,35) = 0,967$.

По графику $q_{пр} = \psi(\alpha, \beta)$ принимаем $q_{пр}' = 0,2$;

вычисляем $q_{пр} = 0,2/[(11,34 - 3)0,2 + 1] = 0,075$.

Определяем

$$q_d = 10^{-7}[0,07(2,7 + 0,35 + 0,04) + 2(2,7 - 0,35)0,075] = 0,57 \cdot 10^{-7} \approx 0,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача 5.35. Определить расход воды в совершенный дренаж.

Исходные данные: $K_\phi, I_d, H_\Gamma, h_0, \varepsilon_0, a_d, (T_y = 0)$.

Расчетная схема на рис. 5.33.

Решение. Расход воды в совершенный дренаж односторонний $q_d = K_\phi I_d(H_\Gamma + h_0 + \varepsilon_0)$;

двусторонний $q_d = q_n + q_m$,

где $q_n = 0,5K_\phi I_d(H_\Gamma + h_0)$; $q_m = K_\phi I_d(L_M I_d + 2h_0)$.

Задача 5.36. Определить расход воды в поперечные прорезы и время осушения грунта.

Исходные данные: размерные параметры L_M, H_Γ ; уклон кривой депрессии I_d ; коэффициент фильтрации K_ϕ ; водоотдача грунта t_b .

Расчетная схема на рис 5.35.

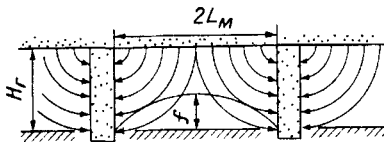


Рис. 5.35. Схема дренажных (поперечных) прорезей

Решение. Расход воды

$$q_{\text{п}} = E_{\text{п}} K_{\text{ф}} H_{\text{Г}},$$

где значения $E_{\text{п}}$ равны 0,47; 0,67; 0,74 при $L_{\text{М}} = 0,5H_{\text{Г}}$; $H_{\text{Г}}$; $2H_{\text{Г}}$ соответственно.

Время осушения грунтов

$$t_{\text{о}} = (1/K_{\text{ф}}) m_{\text{в}} L_{\text{М}}^2 (\eta_1 + \eta_2),$$

где функции $\eta_1 = 1/(3H_{\text{Г}})$;

$$\eta_2 = 0,897[1/(I_{\text{д}} L_{\text{М}}) - 1/H_{\text{Г}}].$$

Пример. Дано: $L_{\text{М}} = 6,0$ м; $H_{\text{Г}} = 2,5$ м; $I_{\text{д}} = 0,06$; $K_{\text{ф}} = 3 \cdot 10^{-6}$ м/с; $m_{\text{в}} = 0,3$.

Определяем $L_{\text{М}}/H_{\text{Г}} = 12,0/2,5 = 4,8 > 2$; $E_{\text{п}} = 0,74$;

$$q_{\text{п}} = 0,74 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 = 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вычисляем $\eta_1 = 1/(3 \cdot 2,5) = 0,133 \text{ м}^{-1}$;

$$\eta_2 = 0,897[1/(0,06 \cdot 6,0) - 1/2,5] = 2,133 \text{ м}^{-1}.$$

Определяем

$$t_{\text{о}} = [(0,3 \cdot 6,0^2)/(3 \cdot 10^{-6})](0,133 + 2,133) = 8157600/86400 = 94 \text{ суток}.$$

5.4.2. Расчеты конструкции дренажа

Задача 5.37. Выбрать трубы для дренажа и определить их размеры (диаметр d_{T} , длину l_{T}).

Исходные данные: $q_{\text{д}}$, $i_{\text{д}}$, длина дренажа $L_{\text{д}}$.

Расчетные схемы на рис. 5.36

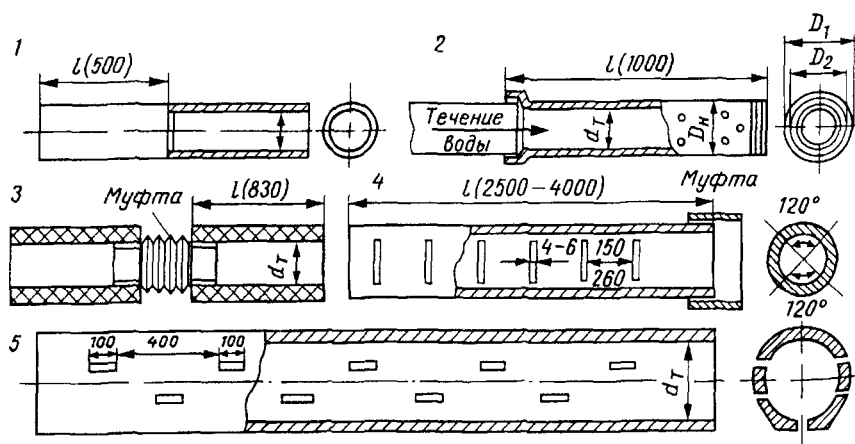


Рис. 5.36. Дренажные трубы: 1 — керамические безраструбные; 2 — керамические раструбные; 3 — трубофильтры; 4 — асбоцементные; 5 — бетонные. (Размеры в мм)

Решение. Трубы (дрены) выбираются в соответствии с расходом воды Q_0 , уклоном i_d , местными условиями (табл. 5.7). Подбирается труба (круглого сечения) диаметром d_T (внутренним).

Вычисляются: площадь сечения трубы $\omega_T = 0,25\pi d_T^2 = 0,785d_T^2$;
гидравлический радиус $R_T = 0,25d_T$; $C_T = (1/K_{ш})R^y$.

Определяются скорость воды в трубе $u_T = C_T\sqrt{R_T i_d}$;
пропускная способность дренажа $Q_T = \omega_T u_T$;

фактический расход воды в конце дренажа

$$Q_d = K_{зс} q_d L_d \text{ или } Q_d = K_{зс}(Q_{тр} + q_d l_i),$$

где $K_{зс} = 1,5$ — коэффициент, учитывающий возможное засорение (заиление) дренажных труб; $Q_{тр}$ — транзитный расход (с верхних участков).

Должно быть $Q_d < Q_T$.

Коэффициент

$C_T = (1/K_{ш})R_T^{0,142} = (1/0,012)R_T^{0,142} = 83,333R_T^{0,142} = 68,442d_T^{0,142}$,
тогда $u_T = C_T\sqrt{R_T i_d} = 83,333R_T^{0,642} i_d^{0,5} = 34,221d_T^{0,642} i_d^{0,5}$;

$$Q_T = \omega_T u_T = 26,864 d_T^{2,642} i_d^{0,5}; d_T = (0,037Q_d/i^{0,5})^{0,379}.$$

Таблица 5.7

Параметры подбора дренажных труб

Круглые трубы: бетонные, керамические (керамиковые)		Характеристики u_d, Q_d		
диаметр $d_T \cdot 10^{-3}$, м	продольный уклон i_d	скорость u_d , м/с	Расход Q_d	
			10^{-3} м ³ /с	м ³ /ч
1	2	3	4	5
150	0,003	0,42	7,35	26,5
	0,004	0,48	8,49	30,5
	0,005	0,54	9,49	34,0
	0,006	0,59	10,40	37,4
200	0,003	0,52	16,43	59,0
	0,004	0,60	18,97	68,4
	0,005	0,68	21,21	76,4
	0,006	0,74	23,24	83,6
250	0,003	0,62	39,55	107,0
	0,004	0,72	35,28	126,5
	0,005	0,80	39,44	141,8
	0,006	0,88	43,21	155,7
300	0,003	0,72	50,60	202,0
	0,004	0,83	58,43	210,0
	0,005	0,92	65,32	235,1

Пример. Дано: $q_d = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; $i_d = 0,004$; $L_d = 470 \text{ м}$.

Расчетные схемы на рис. 5.36.

Решение. Определяем фактический расход воды в конце дренажа

$$Q_d = 1,5 \cdot 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 470 = 1,833 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выбираем керамические круглые трубы, $d_T = 0,15 \text{ м}$ (табл. 5.7) длиной 0,5 м.

Вычисляем $\omega_T = \pi \cdot 0,15^2/4 = 0,0177 \text{ м}^2$; $R_T = 0,25 \cdot 0,15 = 0,0375 \text{ м}$;

$$C_T = (1/0,012)0,0375^{0,142} = 52,279.$$

Скорость воды в трубе $v_T = 52,279\sqrt{0,0375 \cdot 0,004} = 0,64 \text{ м/с}$

Пропускная способность $Q_T = 0,0177 \cdot 0,64 = 1,133 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$.

Выбранные трубы обеспечивают пропуск полного расхода воды

$$Q_d = 1,833 \cdot 10^{-3} < Q_T = 1,133 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача 5.38. Подобрать дренирующий заполнитель дренажа (дренажной граншей)

Исходные данные. $q_{пс}$, $q_{пд}$, $q_{мс}$, $q_{мд}$, h_o , ε_o , a_d , $K_{фг}$; грансостав карьерных материалов (заполнителя — $d_{з1}$, $g_{з1}$); грунта ($d_{г1}$, $g_{г1}$); n_3 .

Расчетная схема на рис. 5.37.

Решение. Подбор дренирующего заполнителя производится в целях предотвращения на контактах грунта и дренирующего заполнителя, дренирующего заполнителя и трубы:

1 — механической суффозии частиц из i -го слоя в $(i + 1)$ -й с более крупными частицами; должно быть $v_{ср} < |v_d|$;

2 — проникания частиц i -го слоя в $(i + 1)$ -й; должно быть $l_{i+1} < C_3 d_{\alpha i}$.

Здесь $v_{ср}$, $|v_d|$ — средняя входная скорость фильтрации, допустимая; l_{i+1} — расчетный линейный размер поры более крупного материала $(i + 1)$ -го слоя или диаметр круглого отверстия, ширины щели; $d_{\alpha i}$ — расчетный линейный размер частиц мелкого материала (α — содержание по весу частиц, %); коэффициент $C_3 = 3,0 \dots 4,5$ для круглых отверстий, $2,0 \dots 3,0$ для щелей.

а) Контакт грунта и дренирующего заполнителя.

Первое условие

$$q_{пс} = 0,5K_{ф}I_d(H_{г} + h_o + \varepsilon_o); q_{пд} = K_{ф}(H_{г} + h_o)q_{пр};$$

$$q_{мс} = K_{ф}I_m(L_m L_m + 2h_o); q_{мд} = K_{ф}I_m L_m q_{пр}.$$

Вычисляется допустимая скорость фильтрации $|v_d| = \sqrt[3]{K_{фг}/30}$

Определяются входные скорости фильтрации

$$v_{пс} = q_{пс}/(h_o + \varepsilon_o) \leq |v_{дг}|, v_{мс} = q_{мс}/(h_o + \varepsilon_o) \leq |v_{дг}|,$$

$$v_d = (q_{пд} + q_{мд})/(2a_d) \leq |v_{дг}|.$$

Второе условие: $U_{нз} = d_{60,3}/d_{10,3} = 5 \dots 6$; $e_3 < C_3 d_{90г}$;

$$e_3 = 0,455 \sqrt[6]{U_{нз} [n_3/(1 - n_3)] d_{17,3}},$$

где $d_{90г}$ определяется по таблице, графику грансостава грунта (для частиц, содержание которых в грунте 90 %);

$d_{10,3}$, $d_{17,3}$, $d_{60,3}$ — размеры частиц дренирующего заполнителя (определяются по таблицам, графикам грансостава).

б) Контакт дренирующего заполнителя и трубы.

Первое условие: $v_{ср} = q_d / (K_H \Sigma F_T) \leq |v_{д}|$; $q_d = q_{пс} + q_{мс} + q_{пд} + q_{мд}$;

где ΣF_i — площадь отверстий на 1 м длины трубы,

K_H — коэффициент неравномерности, неодновременности использования всех отверстий; $K_H = 0,25 \dots 0,50$.

$$|v_{дз}| = \sqrt[3]{K_{фз}/30}; K_{фз} = 0,1 d_n^2; 1/d_n = \Sigma g_i(1/d_i); 1/d_i = 0,5(1/d_{i\max} + 1/d_{i\min})$$

Второе условие: $d_{90i} \geq l_T / C_3$; $l_T < C_3 d_{90i}$,

где l_T — диаметр круглого отверстия, ширина щели трубы, зазора между трубами.

Пример Дано: $K_{фг} = 4 \cdot 10^{-7}$ м/с, $h_0 = 0,35$ м, $\epsilon_0 = 0,03$ м, $a_d = 0,4$ м, $q_{пс} = 0,42 \cdot 10^{-6}$ м³/с; $q_{пд} = 0,6 \cdot 10^{-6}$ м³/с; $q_{мс} = 0,4 \cdot 10^{-6}$ м³/с, $q_{мд} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м³/с

Расчетная схема на рис 5.37

Решение а) Контакт грунта и дренирующего заполнителя.

$$\text{Вычисляем } |v_{дг}| = \sqrt[3]{4 \cdot 10^{-7}/30} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

Определяем входные скорости

$$v_{пс} = 0,42 \cdot 10^{-6} / (0,35 + 0,03) = 0,11 \cdot 10^{-5} \text{ м/с};$$

$$v_{мс} = 0,4 \cdot 10^{-6} / 0,38 = 0,105 \cdot 10^{-5} \text{ м/с};$$

$$v_{д} = (0,6 + 0,5) \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 0,4) = 0,14 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}.$$

Поскольку все скорости $v_i < |v_{д}| = 2,4 \cdot 10^{-4}$ м/с, первое условие выполняется.

По данным таблиц 5.8, 5.9 строим графики грансостава грунтов (рис. 5.38) и песчано-гравийных материалов карьеров ст. А, Б, В (рис. 5.39).

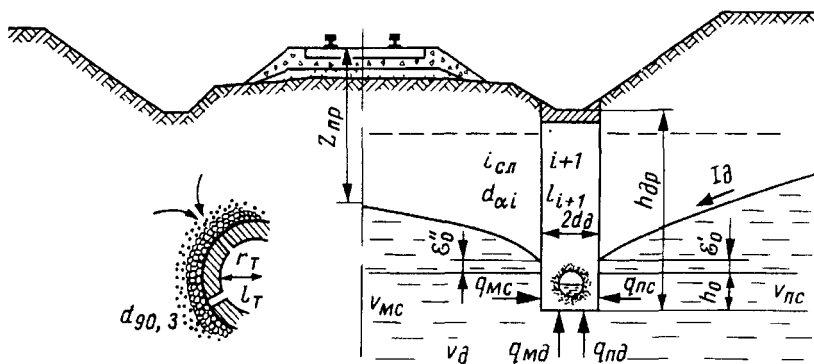


Рис. 5.37. Схема траншейного трубчатого дренажа

Таблица 5.8

Гранулометрический состав грунта

$d_i, 10^{-3} \text{ м}$	<0,005	0,005—0,05	0,05—0,10	0,10—0,25	0,25—0,50	0,5—1,0
$g_i, \%$	16/16	31/47	37/84	11/95	3/98	2/100

Таблица 5.9

Гранулометрический состав дренающего заполнителя

Карьеры стан-ций	Содержание (g_i в %) частиц с линейными размерами (d_i в мм)							n_3
	0,001—0,005	0,005—0,05	0,05—0,10	0,10—0,25	0,25—0,50	0,5—2,0	2,0—5,0	
А	3/3	5/8	8/18	14/27	24/51	32/83	17/100	0,37
Б	1/1	2/3	4/17	11/18	28/46	43/89	11/100	0,42
В	0,5/0,5	0,5/1,0	2/3	5/8	30/38	40/78	22/100	0,46

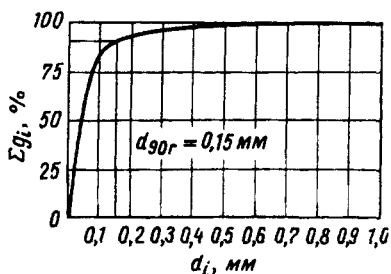


Рис. 5.38. График грансостава грунта

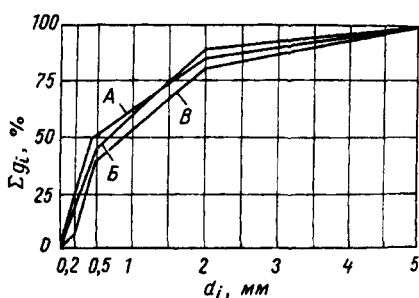


Рис. 5.39. Графики грансостава дренающего заполнителя (карьеры А, Б, В)

Определяем коэффициенты неоднородности материала карьеров:

$$U_{НА} = 0,9/0,06 = 15,0 > 6; U_{НБ} = 1,0/0,11 = 9,1 > 6; U_{НВ} = 1,3/0,26 = 5,0.$$

Гравелистый песок карьера ст. В может быть использован в качестве дренающего заполнителя.

$$\text{Вычисляем размер пор } e_3 = 0,455^6 \sqrt{5,0} [0,46/(1 - 0,460)]^{0,38} = 0,192 \text{ мм.}$$

По графику рис. 5.39 $d_{90r} = 0,15 \text{ мм}$.

Трубы керамические (безраспорные) укладываются с зазорами.

$$\text{Принимаем } C_3 = 2; e_3 = 0,192 \text{ мм} < 2 \cdot 0,15 = 0,30 \text{ мм} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Материал карьера ст. В удовлетворяет и второму условию.

б) Контакт дренающего заполнителя и трубы.

$$\text{Вычисляем } 1/d_1 = 0,5(1/0,005 + 1/0,001) = 600; 1/d_2 = 0,5(1/0,05 + 1/0,005) = 110;$$

$$1/d_3 = 15; \quad 1/d_4 = 7; \quad 1/d_5 = 3; \quad 1/d_6 = 1,25; \quad 1/d_7 = 0,35;$$

$$1/d_{\Pi} = 0,005 \cdot 600 + 0,005 \cdot 110 + 0,02 \cdot 15 + 0,05 \cdot 7 + 0,30 \cdot 3 + 0,40 \cdot 1,25 +$$

$$+ 0,22 \cdot 0,35 = 5,677; \quad d_{\Pi} = 1/\sqrt{5,677} = 0,176 \text{ мм.}$$

Коэффициент фильтрации дренирующего заполнителя

$$K_{фз} = 0,1 \cdot 0,176^2 = 3,09 \cdot 10^{-3} \text{ м/с;}$$

допустимая скорость фильтрации

$$|v_{дз}| = \sqrt[3]{0,00309/30} = 0,005 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Трубы керамические (керамиковые, гончарные) $d_T = 0,15$ — $0,2$ м длиной $0,5$ м укладываются с зазорами $e_3 = 0,002$ м (по две трубы впритык на 1 м).

Площадь щелевых зазоров

$$\Sigma F_i = \pi d_T 2e_3 = \pi \cdot 0,15 \cdot 2 \cdot 0,002 = 0,001885 \text{ м}^2.$$

Принимаем коэффициент $K_H = 0,4$. Скорость воды

$$v_{ср} = (0,42 + 0,4 + 1,1) \cdot 10^{-6} / (0,4 \cdot 0,001885) = 2,55 \cdot 10^{-3} < |v_{дз}| = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Первое условие выполняется.

По графику грансостава (рис. 5.39) $d_{90,3} = 3,6 > 2/2 = 1,0$ мм.

Второе условие обеспечивается.

Следовательно, механической суффозии мелких частиц дренирующего заполнителя в зазоры трубы не будет.

В этих же целях используется СНМ (вместо дренажной обсыпки). Трубы с отверстиями и щелями обертываются геотекстилем, что предотвращает засорение и кальматацию дрен.

Задача 5.39. Определить коэффициент фильтрации макропористых труб, трубофильтров, укладываемых без дренажного заполнителя.

Исходные данные: $K_{фг}$ грунта, контактирующего с трубой.

Решение. Коэффициент фильтрации макропористых труб можно определить по формуле $K_{фгмп} = 185 K_{фг}^{0,8} = 100 K_{фг}$.

Предотвращается суффозия частиц грунта через стенки трубы.

Задача 5.40. Для одностороннего дренажа требуется подобрать дренирующий заполнитель при дренажных асбоцементных трубах (со щелями).

Исходные данные: d_T , угол пропила щели $\alpha_{щ}$; толщина дренирующего заполнителя под трубой h_3 , K_H , q_c , q_d , a_d , $K_{фг}$; грансостав грунта, дренажного заполнителя (d_i , g_i), n_3 .

Расчетная схема на рис. 5.36.

Решение. Определяем длину щели по периметру трубы

$$l_{щ} = \pi d_T \alpha_{щ} / (2 \cdot 180);$$

расстояние от низа трубы до низа пропила

$$h_H = 0,5 d_T [1 - \cos(90^\circ - 0,5 \alpha_{щ})];$$

используемую высоту каждой щели $h_{и} = K_H l_{щ}$;

расстояние от уровня воды (у стенки трубы) до дна траншеи

$$h_0 = h_3 + h_H + h_{и}.$$

а) Контакт грунта и дренирующего заполнителя.

$$\text{Вычисляется } |v_{\text{дг}}| = 0,0333 \sqrt[3]{K_{\text{фг}}};$$

определяются выходные скорости $v_c = q_c/h_o$; $v_d = q_d/(2a_d)$.

При $v_l < |v_{\text{дг}}|$ выполняется условие предотвращения суффозии частиц грунта в дренирующий заполнитель.

По грансоставу определяются — для грунта $d_{90г}$; для заполнителя $U_3 = d_{60,3}/d_{10,3} = 5...6$; $d_{17,3}$;

$$\text{вычисляется } l_3 = 0,455 \sqrt[6]{U_3 [n_3 / (1 + n_3)]} d_{17,3}.$$

При $l_3 < 2d_{90г}$ предотвращается проникание глинистых частиц в поры дренирующего заполнителя.

б) Контакт дренирующего заполнителя и трубы.

Определяются l/d_{13} ; d_{n3} ; d_{903} ;

$$\text{вычисляются } K_{\text{фз}} = 0,1 d_{n3}^2; \quad |v_{\text{дз}}| = 0,0333 \sqrt[3]{K_{\text{фз}}}; \quad l_T \leq 2d_{90,3};$$

площадь щели $F_T = l_{\text{щ}} l_T$; на длине 1 м трубы $\Sigma F_T = N_{\text{щ}} F_T$.

Количество щелей (пропилы) на 1 м асбоцементной трубы (с двух сторон)

$$N_{\text{щ}} = q_{\text{др}} / (K_{\text{н}} F_T v_d),$$

где $q_{\text{др}} = 2q_c + q_d$.

Пример. Дано. $d_T = 0,2$ м; $\alpha_{\text{щ}} = 60^\circ$; $h_3 = 0,1$ м; $K_{\text{н}} = 0,5$; $q_c = 2 \cdot 10^{-6}$ м³/с; $q_d = 5 \cdot 10^{-6}$ м³/с; $a_d = 0,4$ м; $K_{\text{ф2}} = 10^{-7}$ м/с. Трубы асбоцементные (безнапорные) — рис. 5.36. Гранулометрический состав грунта, песчано-гравийных материалов дан в табл. 5.10.

Расчетные схемы — на рис. 5.36, 5.37.

Таблица 5.10

Гранулометрический состав грунта, дренирующего заполнителя

Карьеры	Содержание частиц (g_l в %) с линейными размерами (d_l , 10^{-3} м)							n_3
	0,002— 0,005	0,005— 0,05	0,05— 0,10	0,10— 0,25	0,25— 0,50	0,5— 2,0	2,0— 5,0	
Ст Г	3/3	5/8	8/13	14/27	24/51	32/83	17/100	0,37
Ст Д	1/1	3/4	4/8	13/21	36/57	27/84	16/100	0,45
Грунт выемки	16/16	31/47	37/84	11/95	3/98	1/99	1/100	—

Решение. Определяем длину щели $l_{\text{щ}} = (\pi \cdot 0,2 \cdot 60) / (2 \cdot 180) = 0,105$ м;

$$h_{\text{н}} = 0,5 \cdot 0,2 [1 - \cos(90^\circ - 0,5 \cdot 60^\circ)] = 0,1(1 - 0,5) = 0,05 \text{ м}$$

$$h_{\text{и}} = 0,5 \cdot 0,105 = 0,0525 \text{ м}; \quad h_o = 0,1 + 0,05 + 0,0525 = 0,2025 \text{ м};$$

принимаем 0,2 м.

а) Контакт грунта и дренирующего заполнителя.

$$\text{Вычисляем } |v_{\text{д}}| = 0,0333 \sqrt[3]{10^{-7}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м/с};$$

$$\begin{aligned} \text{входные скорости } v_c &= (2 \cdot 10^{-6})/0,20 = 10^{-7} \text{ м/с;} \\ v_d &= (5 \cdot 10^{-6})/(2 \cdot 0,40) = 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ м/с.} \end{aligned}$$

Условие $v_i < |v_d|$ выполняется.

По таблице грансостава грунта, интерполируя, определяем:

$$d_{90г} = 0,1 + [(0,25 - 0,1)/11] \cdot (90 - 84) = 0,15 \text{ мм;}$$

для песчано-гравийных материалов

$$\begin{aligned} \text{карьера ст. Г } d_{60з} &= 0,5 + [(2,0 - 0,5)/32] \cdot (60 - 51) = 0,94 \text{ мм;} \\ d_{10з} &= 0,05 + [(0,1 - 0,05)/8] \cdot (10 - 8) = 0,062 \text{ мм;} \\ U_{Г} &= 0,94/0,062 = 15,2 > 6; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{карьера ст. Д } d_{60з} &= 0,5 + (1,5/27) \cdot (60 - 57) = 0,667 \text{ мм;} \\ d_{10з} &= 0,1 + [(0,25 - 0,1)/13] \cdot (10 - 8) = 0,123 \text{ мм;} \\ U_{Д} &= 0,667/0,123 = 5,4; \\ d_{17з} &= 0,1 + (0,15/13) \cdot (17 - 8) = 0,2 \text{ мм} \end{aligned}$$

В качестве дренирующего выбираем песчаный материал карьера ст. Д.

$$\text{Вычисляем } l_3 = 0,456 \sqrt[6]{5,4} \cdot [0,45/(1 - 0,45)] \cdot 0,2 = 0,1 < 2 \cdot 0,15 = 0,3 \text{ мм.}$$

Необходимое условие обеспечивается.

б) Контакт дренажного заполнителя (обсыпки) и трубы.

$$\text{Определяем } 1/d_1 = 660; 1/d_2 = 110; 1/d_3 = 15; 1/d_4 = 7; 1/d_5 = 3; 1/d_6 = 1,25; 1/d_7 = 0,35.$$

$$1/d_{нз} = 0,01 \cdot 660 + 0,03 \cdot 110 + 0,04 \cdot 15 + 0,13 \cdot 7 + 0,36 \cdot 3 + 0,27 \cdot 1,25 + 0,16 \cdot 0,35 = 12,883;$$

$$d_{нз} = 1/12,883 = 0,0776 \text{ мм; } K_3 = 0,1 \cdot 0,0776^2 = 6,0 \cdot 10^{-4} \text{ м/с;}$$

$$|v_{дз}| = 0,0333 \sqrt[3]{6,0 \cdot 10^{-4}} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м/с;}$$

$$d_{90з} = 2,0 + [(5 - 2)/16] \cdot (90 - 84) = 3,1 \text{ мм (табл. 5.10).}$$

Ширина щели (пропила) $l_T \leq 2 \cdot 3,1 \text{ мм;}$ принимаем $l_T = 6 \text{ мм;}$

$$\text{площадь щели } F_T = 0,105 \cdot 0,006 = 630 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Необходимое количество щелей на 1 м трубы

$$N_{щ} = 9 \cdot 10^{-6}/(0,5 \cdot 630 \cdot 10^{-6} \cdot 2,8 \cdot 10^{-3}) = 10,2 \text{ шт.}$$

Принимаем 10 щелей, по 5 с каждой стороны трубы.

Задача 5.41. Рассчитать конструктивные элементы дренажа, смотровые колодцы.

Исходные данные: длина дренажа $L_{д}$, план участка (выемки), диаметр элементов колодца (колец, дрен) $D_{н}$ (наружный), $D_{в}$ (внутренний), d_T ; $h_{др}$, h_0 , h_k , b_k , q_d , v_T .

Расчетные схемы: на рис. 5.40 — смотровой (галерейный) колодец подкюветного дренажа, на рис. 5.41 — цилиндрический колодец закюветного дренажа, на рис. 5.43 продольный профиль.

Решение. Определяется количество смотровых колодцев

$$N_k = L_{дп}/l_{кп} + (L_{д} - L_{дп})/l_{кк},$$

где l_k — расстояние между осями колодцев: $l_{кп} = 75 \text{ м}$ на прямых участках; $l_{кк} = 50 \text{ м}$ в кривых участках; $L_{дп}$ — длина дренажа на прямых.

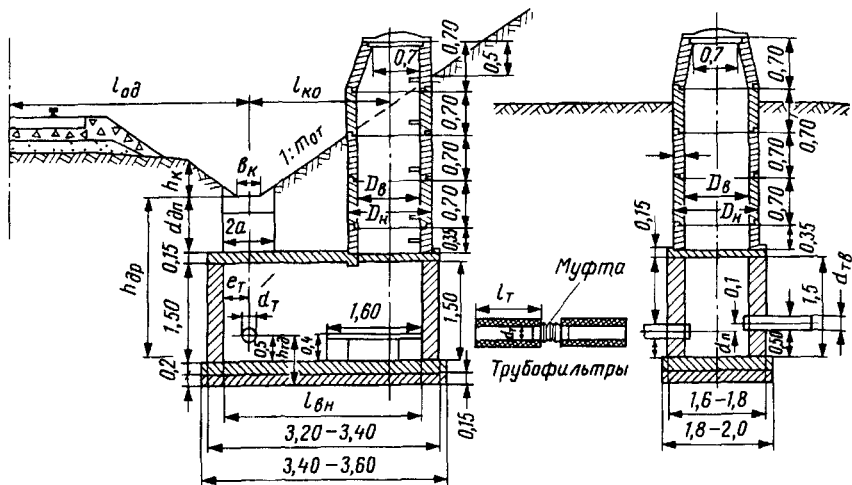


Рис 5 40 Конструкция смотрового галерейного колодца. (Размеры в м)

Глубина заложения колодца

$$H_k = h_{др} + h_{тд} + 0,5d_t - h_о,$$

где $h_{тд}$ — расстояние от оси трубы до дна колодца, $h_{тд} \geq 0,8$ м.

Расстояние между дном кювета и поверхностью плиты галерейного колодца $d_{дп} > 0,2$ м.

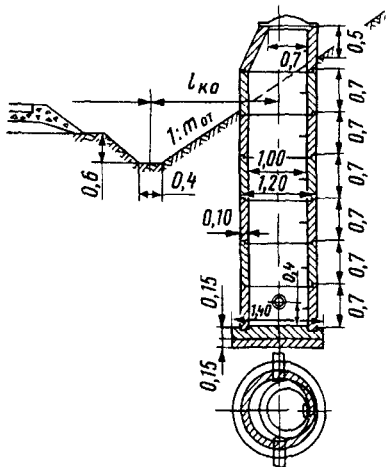


Рис 5 41 Смотровой колодец закуветного дренажа (Размеры в м)

Минимальное расстояние от оси кювета до оси цилиндрического смотрового колодца

$$l_{ко} > m_{от} h_k + 0,5(b_k + D_n);$$

Перепад входной и выходной труб $d_{п} \geq 0,1$ м.

Продольный уклон дренажных труб

$$i_d = i_k - d_{п} l_k,$$

где i_k — уклон дна кювета (параллельно дну траншеи дренажа).

Границы участков изменения (уменьшения) сечений дренажных труб d_v верховых участков с шагом $\Delta d_t = 0,05$ м по сравнению с низовыми d_n ;

$$d_v = d_n - \Delta d_t.$$

Протяжение низовых участков

$$l_n = \pi(d_n^2 - d_v^2) \nu_T / (4K_{зт} q_d),$$

где $K_{зт}$ — коэффициент загрязнения (кальматации) труб, $K_{зт} = 1,5$.

Начало укладки труб меньшего диаметра $l_B = L_d - l_H$

Изменения диаметров труб предусматриваются в местах смотровых колодцев

Пример. Дано: дренаж подкюветный, длина $L_d = 440$ м, на прямой $L_{дп} = 300$ м; $D_H = 1,2$ м; $d_T = 0,2$ м, $h_{др} = 2,3$ м; $h_0 = 0,4$ м; $h_k = 0,6$ м; $b_k = 0,4$ м, $q_d = 0,49 \cdot 10^{-4}$ м³/с; $v_T = 0,75$ м/с, $K_{зт} = 1,5$.

Расчетные схемы на рис. 5.40, 5.43

Решение. Определяем количество смотровых колодцев:

$$N_K = 300/75 + (440 - 300)/50 = 7 \text{ шт.};$$

глубину заложения колодца

$$H_K = 2,3 + 0,8 + 0,5 \cdot 0,2 - 0,4 = 2,8 \text{ м.};$$

расстояние от оси кювета до оси смотрового колодца

$$l_{ко} = 1,5 \cdot 0,6 + 0,5(0,4 + 1,2) = 1,7 \text{ м.};$$

протяженность низовых участков с трубами $d_T = 0,2$ м

$$l_H = \pi(0,2^2 - 0,15^2)0,75/(4 \cdot 1,5 \cdot 0,49 \cdot 10^{-4}) = 140,2 \text{ м.}$$

Примем: $l_H = 150$ м, $l_B = 440 - 150 = 290$ м; изменение d_T в третьем смотровом колодце (в кривой)

Конструкция выпуска дренажа — на рис. 5.42.

Продольный профиль дренажа (утрированный) на рис. 5.43.

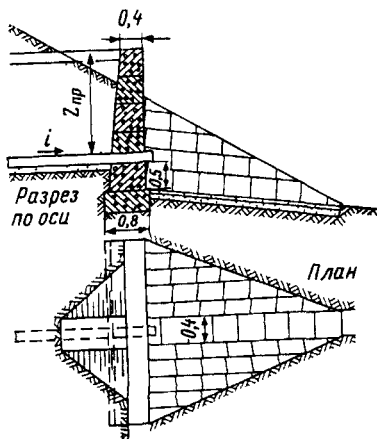


Рис 5.42. Выпуск дренажа.
(Размеры в м)

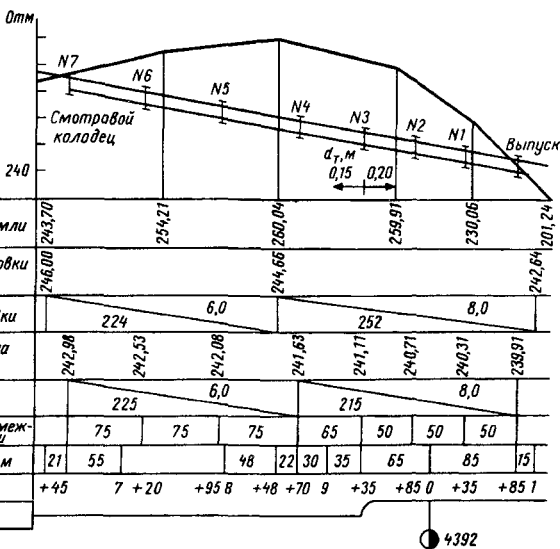


Рис. 5.43 Продольный профиль дренажа

Задача 5.42. Рассчитать контрфорсный дренаж в откосе выемки.

Решение. Контрфорсы устраиваются в оползневой толще глинистых грунтов при затруднениях с их осушением.

Расчетные схемы на рис. 5.44. Контрфорсы в виде продольных лент (в нижней или средней части откоса) при кладке насухо служат контрфорс-

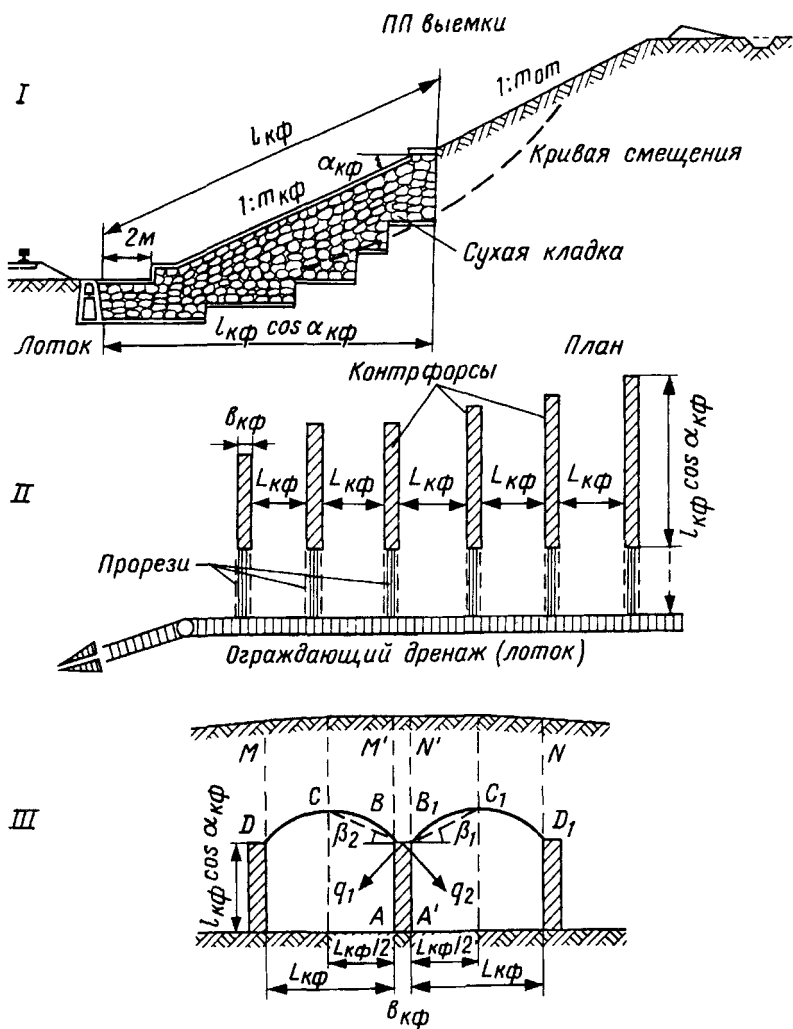


Рис. 5.44. Контрфорсный дренаж: I — конструкция; II — размещение; III — расчетная схема

ными дренажами, с выпусками воды в продольный дренаж, лоток непосредственно или через прорези (возможно в подстилающий поглощающий грунт под водоупором).

Расстояние между контрфорсными дренажами $L_{кф}$ назначается из условия формирования в межконтрфорсном пространстве уплотненного ядра, а в верхней части уплотненной зоны (в виде свода). В глинах $L_{кф} = 8,0$ м; в тяжелых суглинках 10,0; в легких 12,0; в супесях 15,0 м.

Задаваясь длиной $l_{кф}$, по величине $K_{уc}$ определяют ширину контрфорса $b_{кф}$

$$b_{кф} = K_{уc}(E_{г} + q_1 \cos \beta_1 + q_2 \cos \beta_2) / (\gamma_{к} f_{кф} \Omega_{кф}),$$

где горизонтальные составляющие сил: $E_{г}$ — от давления оползневого массива $BM'N'B'$; q_1 — от давления массива $BM'MD$; q_2 — от давления $B_1N'ND_1$; $\Omega_{кф}$ — площадь продольного сечения контрфорса; $\gamma_{к}$ — удельный вес камня; $f_{кф}$ — коэффициент трения контрфорса по грунту.

Трением контрфорса по граням AB и $A'B'$ пренебрегают (в запас прочности).

Задача 5.43. Составить системную комплексную классификацию дренажей (для регулирования стока подземных вод).

Решение. Системную комплексную классификацию дренажей можно представить в виде иерархически структурного висячего графа, обуславливая на первом уровне возможные композиции:

- одиночные дренажи, групповые, дренажная сеть;
- на втором — разновидности по способу отбора воды из грунта: вентиляционные, гравитационные, биологические, специальные;
- на последующих — конструкционные характеристики, размещение на объектах земляного полотна, положение относительно водоупора и другие особенности.

Пример. Структурная (системная) классификация дренажей может быть представлена в форме графа, показанного на рис. 5 45.

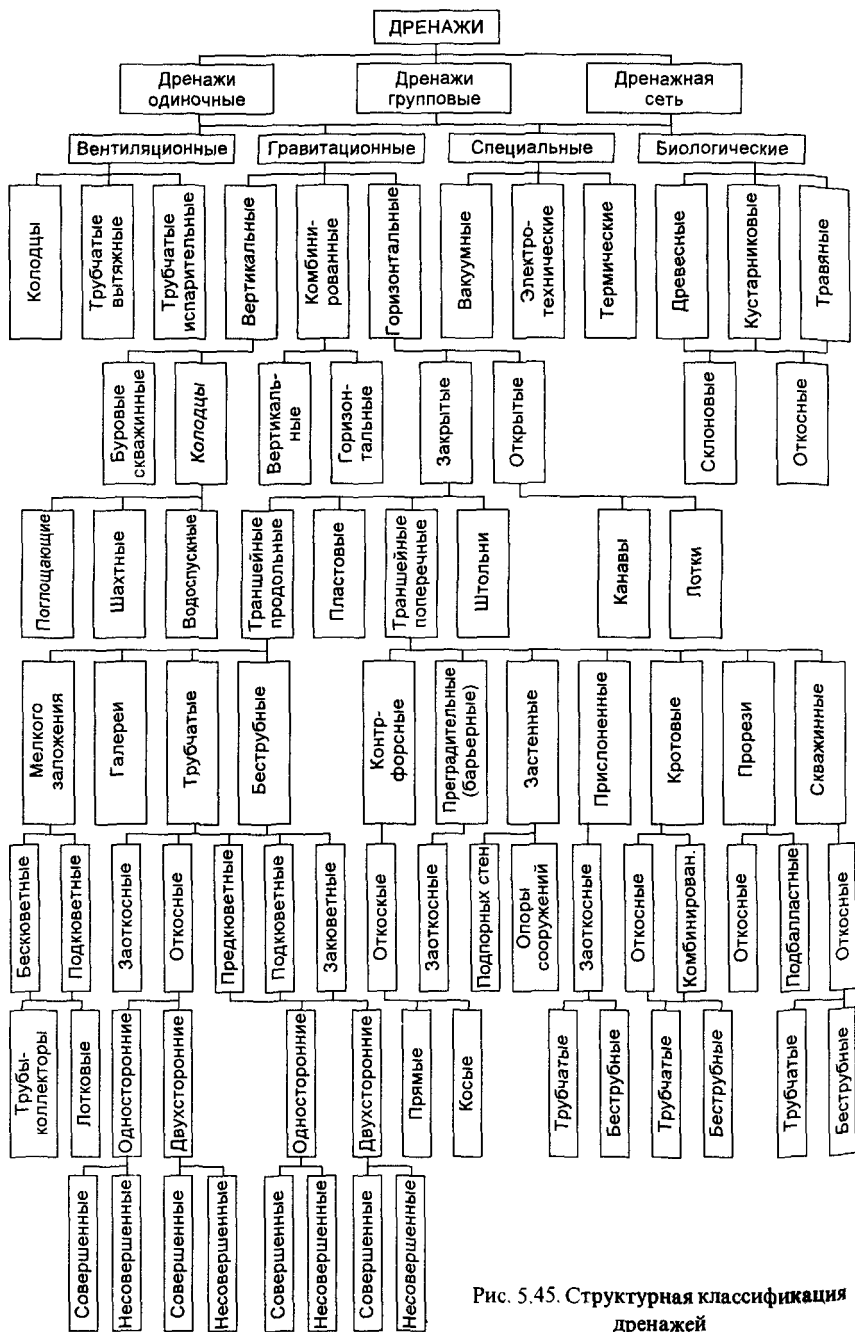


Рис. 5.45. Структурная классификация дренажей

Раздел 6

РАСЧЕТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

6.1. Общие положения

Для проектирования земляного полотна в сложных условиях ПКС используются конструкции по типовым специальным поперечным профилям: насыпи на болотах, засоленных грунтах, насыпи и выемки из песков, переувлажненных глинистых грунтов, выемки в лессах, легко- и слабовыветривающихся скальных породах [34, 70, 94].

Индивидуальное проектирование требуется для насыпей высотой более 12 м (6 м из глинистых тугопластичных грунтов), на слабых основаниях, на болотах II типа (глубиной более 3 м), I, III типов (глубиной более 4 м), и при уклонах минерального дна болота I типа (не круче 1:10, II типа 1:15, III — 1:20), на участках водотоков, временного подтопления (на поймах), водоемов, морей, на косогорах (круче 1:5 при скальных грунтах, 1:3 при не-скальных); выемок глубиной более 12 м; в грунтах набухающих, переувлажненных, снижающих прочность и устойчивость под влиянием климатических факторов, в скальных породах при неблагоприятном залегании пластов; для земляного полотна в сложных инженерно-геологических условиях — на участках пучиноопасных, с активными склоновыми процессами, возможным развитием оползней, обвалов, осыпей, селей, снежных лавин, каменных россыпей (курумов), оврагов, карста, наледей, вечномерзлых грунтов с наличием подземного льда, марей, термокарста, бугров выпирания, солифлюкции, в районах аридных, с высокой (≥ 7 баллов) сейсмичностью [53, 58, 80, 93].

Соответственно мерами для обеспечения стабильности ОЗП в сложных природных условиях должны быть необходимое уплотнение грунтов до нормативных значений; устройство защитных слоев, противодеформационных подушек в подбалластной зоне; применение покрытий на ОП, на слабых

основаниях термоизолирующих (пенопласты, шлак, торф), гидроизолирующих, армирующих, защитные покрытия несортированной горной массой; анкерные, одевающие и другие железобетонные конструкции; химические способы укрепления глинистых грунтов; система отвода поверхностных и грунтовых (подземных) вод, в том числе с применением многоярусных лотков, дренажей мелкого заложения; другие меры и конструкции.

При проектировании ОЗП в глинистых грунтах следует предусматривать противодеформационные подушки в подбалластной зоне. Во всех случаях и вариантах должна быть обеспечена устойчивость откосов. Это особенно существенно для пойменных насыпей, где увлажнение грунтов снижает их прочностные характеристики. Сложные и трудоемкие расчеты при проектировании пойменных насыпей следует выполнять на ПК с использованием ЭТ и программных средств.

К слабым грунтам относят связные грунты, имеющие малую сопротивляемость сдвигу. Это торфы, сапрпели, илы, иольдиевые глины, мокрые солончаки, переувлажненные глинистые грунты и др. Земляное полотно на слабых грунтах проектируют, обычно, в виде насыпей. В соответствии с прогнозными характеристиками слабые грунты могут использоваться в качестве основания насыпей (возможно с дополнительными мерами по их усилению) или заменяться другими (с выторфовыванием, вырезкой) [9, 28, 85].

Усиление основания может быть сваями грунтовыми, песчаными, забивными, набивными. Усиление насыпи может быть пригрузочными бермами. Эффективны армогрунтовые, габионные конструкции. Необходимо обеспечение безопасности движения поездов в районах распространения карста, горных выработок.

Все более актуальное значение приобретают методы расчетов и проектирования земляного полотна в условиях вечномерзлых грунтов, поскольку островная мерзлота (коэффициент замерзленности $K_{зм} < 1,0$), сплошная ($K_{зм} = 1,0$) распространена на значительной территории Севера, Сибири, Востока России (более 50%), а перспективное строительство железных дорог связано с этими районами (Трансарктика, АЯМ Трансконтиненталь на Чукотку и Аляску и др.).

При оттаивании вечномерзлых грунтов возникают большие по величине и неравномерные по площади осадки, снижается несущая способность объектов земляного полотна. Активно проявляются наледные процессы, морозное пучение, оползание откосов. Необходимы меры по регулированию зоны оттаивания посредством термоизоляции, сохранения мерзлого состояния грунтов (консервации, при низкотемпературной мерзлоте — 2° — 3°). С учетом состояния и свойств глинистых грунтов деятельного слоя (ежегодно оттаивающего-промерзающего), которые при оттаивании переходят в текучепластичное и текучее состояние, на участках с марями, наледями, подземными льдами необходимо предусматривать противодеформационные конструкции [8, 38, 99].

Для пропуска воды в условиях подтопления, возможных переливов через путь, затоплений могут быть эффективными фильтрующие насыпи (напорной

и безнапорной конструкции). В условиях водотоков, горных рек необходимы защитные сооружения для предупреждения от русловых, абразивных размывов водой с большими скоростями течения, подмывов со смещениями откосов, склонов. Береговую зону водных акваторий необходимо защищать от волнового воздействия [32, 90]. Для этого служат берегозащитные сооружения: волноотбойные стены, буны, волноломы (с траверсами), в том числе гравитационные подводные и других типов. Эффективны искусственные свободные пляжи, пляжеформирующие и пляжеудерживающие сооружения и конструкции [105].

В горных условиях конструкция земляного полотна зависит от вида грунтов, часто скальных, крупнообломочных, что находит отражение на поперечных профилях ОЗП. Кроме того с нагорной стороны необходима защита железнодорожного пути от камнепадов, осыпей, обвалов. Для этого устраиваются улавливающие, удерживающие и другие сооружения. В селевых районах селеспуски, селедуки, эстакады. На прижимных участках насыпи (полунасыпи) допустимо отсыпать в русла горных рек, с учетом возможного повышения их уровня (в периоды снеготаяния, затяжных муссонных дождей) на несколько метров [45, 86, 88].

Таким образом, расчеты и проектирование земляного полотна в сложных условиях природной среды предусматривают решение большого комплекса сложных инженерных задач. При этом стремясь к минимуму капитальных вложений (и максимуму доходности) необходимо предусматривать меры по сохранности естественных природных условий, техногенного рельефа, рекреационных зон и ландшафтной архитектуры, по нанесению минимального ущерба окружающей среде.

6.2. Расчеты конструкций насыпей и выемок

Задача 6.1. Рассмотреть возможные варианты противодеформационных подушек в подбалластной зоне ОЗП.

Решение. В целях обеспечения стабильности ОП в подбалластной зоне всех ОЗП из глинистых грунтов всех видов (кроме супесей, содержащих фракции 0,05-2,0 мм и более), как правило, должны проектироваться противодеформационные подушки, защитные слои из дренирующих (песчаных) грунтов (возможно в комбинации с геотекстилем) для предупреждения балластных углублений, пучинных деформаций и с учетом расчетной глубины промерзания, глубины затухания вибродинамических колебаний.

По условиям предупреждения пучинных деформаций толщина противодеформационной подушки (защитного слоя) должна быть равна

$$H_{\text{пд}} = K_{\text{пр}}(Z_{\text{пр}} - \Sigma b_i)K_{\text{из}} \geq 0,40 \text{ м,}$$

где $K_{\text{из}}$ — коэффициент избыточности (неравномерного) пучения;

$K_{из} = (h_{г} - h_{д})/h_{г}$ (с учетом параметров пучения, характерных для региона);
 $h_{д}$ — по формулам задачи 8.17.

Пример. На рис. 6.1. показаны варианты противодеформационных подушек на насыпи, на выемках с углубленным кюветом и лотком, на полунасыпи (защитный слой), на выемке с лотком и дренажем (в условиях грунтовых вод). Поперечный уклон по дну подушки, основанию защитного слоя 0,04.

Примем $v_{п}$ от 81 до 100 км/ч; $i_1 = 0,001$; $l_1 = 5$ м; $i_{д} = 0,0015$ (табл. 8.6);
 $\Sigma b_i = 0,6$ м; расчетные параметры $Z_{пр}$, $h_{г}$, $l_{п}$ по номограмме рис. 3.8: для $\Sigma(-T_c) = 3000^{\circ}\text{C}$ 2,5; 0,06; 30,0 м; для 2000°C 2,0; 0,04; 20,0 м; 1000°C 1,4; 0,02; 14,0 м.

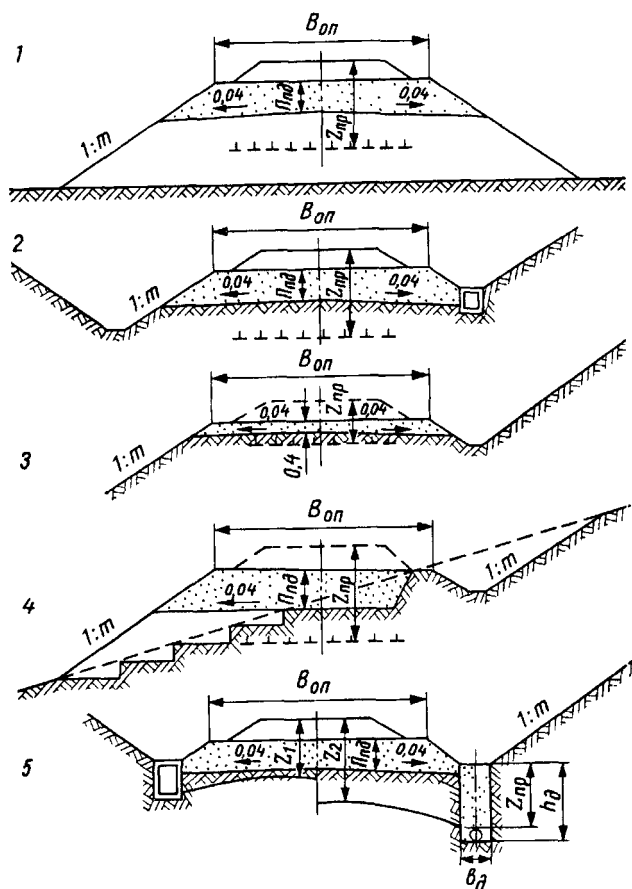


Рис. 6.1. Варианты противодеформационных подушек: 1 — на насыпи; 2 — на выемке с углубленным кюветом, лотком; 3 — защитный слой; 4 — на полунасыпи, 5 — на выемке с лотком, дренажем

Тогда при $\Sigma(-T_c) = 3000^\circ\text{C}$ $h_d = 0,001 \cdot 5 + 0,0015 \cdot (30/2) = 0,0275$ м.

$K_{из} = (0,06 - 0,0275)/0,06 = 0,54$; $П_{пд} = 1,0(2,5 - 0,6)0,54 = 1,0$ м;

при $\Sigma(-T_c) = 2000^\circ\text{C}$ $h_d = 0,020$; $K_{из} = 0,50$; $П_{пд} = 0,7$ м;

при $\Sigma(-T_c) = 1000^\circ\text{C}$ $h_d = 0,0155$; $K_{из} = 0,225$; $П_{пд} = (0,18)0,40$ м.

Полученные $П_{пд}$ следует умножить на $K_{пр}$ того материала, который используется для противодеформационной подушки.

Задача 6.2. Запроектировать поперечный профиль выемки в условиях водонасыщенных (переувлажненных) грунтов.

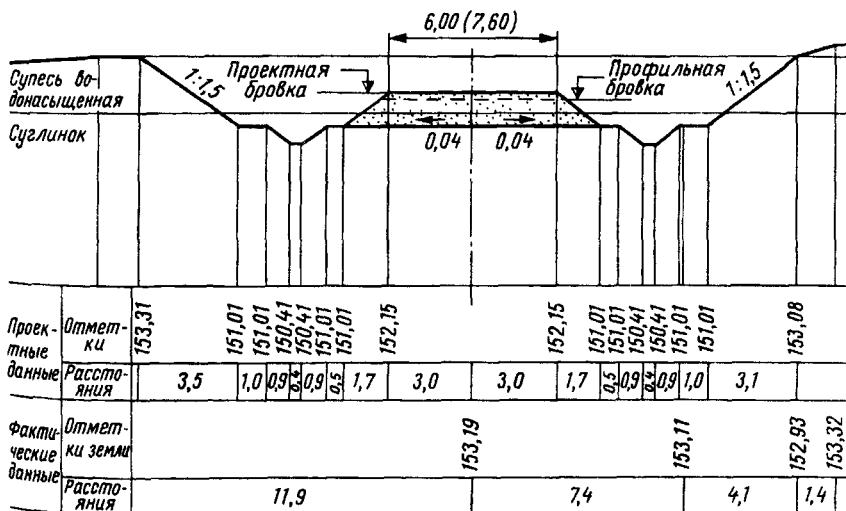
Решение. Выемка проектируется с устройством противодеформационной подушки из дренирующих грунтов.

Пример (по Мосгипротрансу). Проектирование выполняется на ПК в два этапа.

На первом этапе (в отделе геологии) на поперечный профиль наносится (пользуясь ПК) геологическая ситуация природного состояния местности по трассе на характерных пикетах и плюсах.

На втором этапе (в отделе земляного полотна) проектируется ПП объекта земляного полотна (на дисплее ПК) с вычислением проектных отметок поперечного профиля.

На рис. 6.2 приведен поперечный профиль выемки в переувлажненных глинистых грунтах (при влажности $W > W_p + 0,50 I_p$), запроектированный по типовому профилю N23 [70] с противодеформационной подушкой их песка, удовлетворяющего требованиям для балластной подушки. Толщина



пк 925 + 40

Рис. 6.2. Поперечный профиль выемки в переувлажненных глинистых грунтах (при влажности $W > W_p + 0,5I_p$)

подушки $P_{\text{пд}} = 0,5Z_{\text{пр}}$. Обочины и откосы подушки укрепляются гравием, дрсевой (слоем 0,05—0,10 м).

Задача 6.3. Определить коэффициент устойчивости объекта земляного полотна в условиях сейсмичности.

Исходные данные. ОЗП — насыпь: высота $H_{\text{н}}$, ширина ОП $B_{\text{оп}}$, крутизна откосов m_i ; характеристики грунта: удельный вес $\gamma_{\text{н}}$, удельное сцепление $c_{\text{н}}$, угол внутреннего трения $\varphi_{\text{н}}$.

Характеристики сейсмичности: сейсмичность $N_{\text{с}}$ в баллах; ускорение сейсмической волны $\rho_{\text{с}}$ (табл. 6.1); коэффициенты: сейсмичности $K_{\text{с}} = \rho_{\text{с}}/g$ (0,025 при $N_{\text{с}} = 7$; 0,05 при 8; 0,10 при 9), динамичности $K_{\text{д}}$ (1 у основания высокой насыпи, 2 — у бровки) [84, 121]. Сейсмичность в пределах СНГ до 9 баллов.

Таблица 6.1

Ускорения сейсмической волны $\rho_{\text{с}}$

$N_{\text{с}}$, баллы	$\rho_{\text{с}}$, м/с ²	$N_{\text{с}}$, баллы	$\rho_{\text{с}}$, м/с ²
1	до 0,025	7	0,101—0,250
2	0,026—0,005	8	0,251—0,500
3	0,006—0,010	9	0,500—1,000
4	0,011—0,025	10	1,0—2,5
5	0,026—0,050	11	2,5—5,0
6	0,051—0,100	12	более 5,0

Расчетная схема. В каждом отсеке силы: веса отсека Q_{gi} , сейсмичности Q_{ci} под углом $\xi_{\text{с}}$ (к горизонтали), равнодействующая Q_i под углом θ_i (к вертикали).

Решение. Определяются: динамический коэффициент сейсмичности $K_{\text{дс}}$ (сотрясения) $K_{\text{дс}} = K_{\text{д}}\rho_{\text{с}}/g$; в каждом отсеке $Q_{gi} = m_i g$ (m_i — масса отсека); $Q_{ci} = m_i K_{\text{д}} \rho_{\text{с}} = K_{\text{дс}} Q_{gi}$; β_i ; $\theta_i \pm \beta_i$.

При $\xi_{\text{с}} = 0^\circ$ $K_{\text{дс}} = \text{tg}\theta_{\text{с}}$; $Q_i = Q_{gi} \sqrt{1 + K_{\text{дс}}^2} = K_{\text{с}}' Q_{gi} = K_{\text{с}}' \gamma_{\text{н}} \omega_i$; составляющие $T_i = Q_i \sin(\theta_{\text{с}} \pm \beta_i)$; $N_i = Q_i \cos(\theta_{\text{с}} \pm \beta_i)$.

$$K_{\text{ус,с}} = \{f_{\text{г}} \Sigma Q_i \cos(\theta_{\text{с}} \pm \beta_i) + c_{\text{г}} \Sigma l_i + [\Sigma Q_i \sin(\theta_{\text{с}} \pm \beta_i)_{\text{уд}}]\} / [\Sigma Q_i \sin(\theta_{\text{с}} \pm \beta_i)]_{\text{сд}}$$

Пример. Дано: насыпь, $H_{\text{н}} = 16,0$ м; $B_{\text{оп}} = 10,1$ м; $m_1 = 1,5$; $m_2 = 1,75$; характеристики грунта насыпи: $\gamma_{\text{г}} = 19,2$ кН/м³; $c_{\text{г}} = 32,0$ кПа; $\varphi_{\text{г}} = 18^\circ$; характеристики сейсмичности: $N_{\text{с}} = 9$ баллов, $\rho_{\text{с}} = 1,0$ м/с³ (табл. 6.1); $K_{\text{д}} = 2,0$; $\xi_{\text{с}} = 0^\circ$.

Расчетная схема на рис. 6.3; $h_3 = 3,4$ м; $b_3 = 6,8$ м.

Решение. $K_{\text{дс}} = 2,0 \cdot 1,0/9,81 = 0,204 = \text{tg}\theta_{\text{с}}$; $\theta_{\text{с}} = 11,53$ град.

$$K_{\text{с}}' = \sqrt{1 + 0,204^2} = 1,02.$$

Расчетные параметры определены в табл. 6.2.

$$K_{\text{ус,с}} = (0,3249 \cdot 3386,11 + 32,00 \cdot 39,58 + 14,67)/2784,23 = 0,86.$$

$K_{\text{ус,с}}$ значительно меньше $K_{\text{ус}} = 1,26$ вне условий сейсмичности.

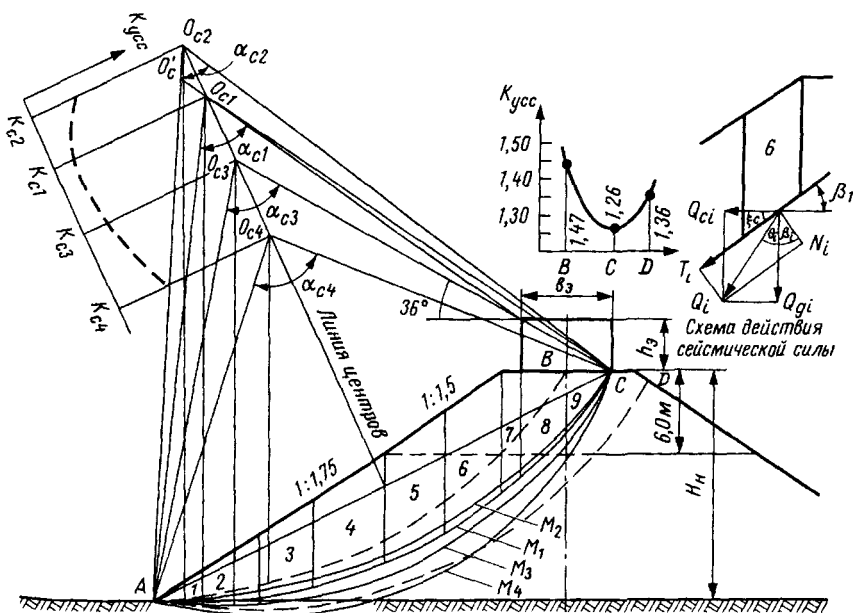
$K_{\text{ус,сmin}}$ определяется согласно расчетной схеме на рис. 6.3.

Углы $\alpha_{\text{с1}} = 63^\circ$; $\alpha_{\text{с2}} = 57^\circ$; $\alpha_{\text{с3}} = 73^\circ$; $\alpha_{\text{с4}} = 87^\circ$.

Таблица 6.2

Расчетные параметры для определения $K_{у,с}$ в условиях сейсмичности

Расчетные параметры	Значения расчетных параметров по отсекам						Сумма ΣQ_i
	1	2	...	7	8	9	
x_i , м	2,10	1,90		22,95	25,40	28,80	
$\sin \beta_i = x_i/R$	0,0583	0,0528		0,6375	0,7056	0,8000	
β_i , град	3,34	3,03		39,61	44,87	53,13	
$(\theta_c + \beta_i)$, град	—	14,56		51,14	56,40	64,66	
$(\theta_c - \beta_i)$, град	8,19	—		—	—	—	
$\sin(\theta_c + \beta_i)$	—	0,2514		0,7787	0,8329	0,9038	
$\sin(\theta_c - \beta_i)$	0,1425	—		—	—	—	
$\cos(\theta_c + \beta_i)$	—	0,9679		0,6274	0,5534	0,4280	
$\cos(\theta_c - \beta_i)$	0,9898	—		—	—	—	
ω_i , м ²	5,25	13,87		12,82	33,32	19,72	
$Q_i = K_c \gamma_T \omega_i$	102,82	271,63		251,07	652,54	386,20	
$Q_i \cos(\theta_c + \beta_i)$, кН	—	262,91		157,52	361,12	165,29	3386,11
$Q_i \cos(\theta_c - \beta_i)$, кН	101,77	—		—	—	—	
$Q_i \sin(\theta_c + \beta_i)$, кН	—	68,28		195,50	543,50	349,05	2784,23
$Q_i \sin(\theta_c - \beta_i)$, кН	14,67	—		—	—	—	14,67

Рис. 6.3. Расчетная схема для определения $\min K_{у,с}$ (в условиях сейсмичности)

Задача 6.4. Определить предельную высоту насыпи из глинистых грунтов $H_{\text{нmax}}$ с крутизной откосов $1:m_i$.

Исходные данные: $B_{\text{оп}}$, m_i ; K_3 ; поездной нагрузки $p_{\text{п}}$, $b_{\text{п}}$; тип верхнего строения пути; характеристики грунта: $c_{\text{Г}}$, $\varphi_{\text{Г}}$, $\gamma_{\text{Г}}$.

Расчетная схема на рис. 6.4.

Решение. Определяются параметры верхнего строения: $p_{\text{вс}}$, $b_{\text{вс}}$. Выполняется построение фиктивного столбика грунта с размерами: h_3 , b_3 .

При заданной крутизне откоса принимаются несколько значений (минимум 3) $H_{\text{нi}}$, для каждой из которых выполняются графические построения кривых возможного смещения и вычисляются коэффициенты устойчивости $K_{\text{усij}}$.

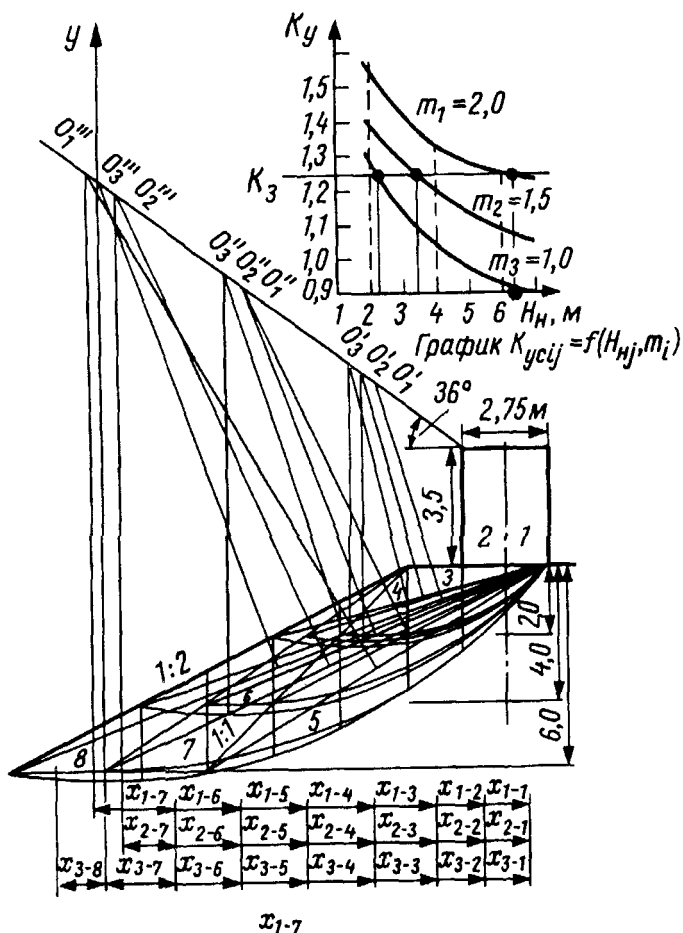


Рис. 6.4. Расчетная схема для определения $K_{\text{устij}}$; $H_{\text{нmaxi}}$.

$$K_{ycij} = [f_{\Gamma} \gamma_{\Gamma} \Sigma \omega_i \cos \beta_i + c_{\Gamma} \Sigma l_i + (\gamma_{\Gamma} \Sigma \omega_i \sin \beta_i) u_{\Gamma}] / (\gamma_{\Gamma} \Sigma \omega_i \sin \beta_i) c_{\Gamma}$$

Затем строят график коэффициентов K_{ycij} , по которому H_{\max} определяется при K_3 .

Пример. Дано: $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $K_3 = 1,25$; ($m_i = 1,0 - 1,5 - 2,0$).

Поездная нагрузка; $p_{\text{п}} = 42,5$ кПа; $b_{\text{п}} = 2,75$ м;

верхнее строение среднего типа, шпалы деревянные;

грунт — суглинок: $c_{\Gamma} = 10,0$ кПа; $\varphi_{\Gamma} = 20^{\circ}$; $\gamma_{\Gamma} = 19,0$ кН/м³.

Расчетная схема на рис. 6.4.

Решение. Определяем $p_{\text{вс}} = 15,0$ кПа; $b_{\text{в}} = 4,6$ м (прил. 1.3); размеры фиктивного столбика грунта: $h_3 = 3,5$ м; $b_3 = 2,75$ м.

При каждой крутизне откоса m_i принимаем $H_{\text{н1}} = 2,0$ м; $H_{\text{н2}} = 4,0$ м; $H_{\text{н3}} = 6,0$ м; выполняем графические построения кривых возможного смещения, для которых вычисляем K_{ycij} (в табличной форме). Расчетные значения K_{ycij} для $H_{\text{нj}}$ при m_i приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Расчетные значения K_{ycij} ($H_{\text{нj}}$, m_i)

Высота насыпи $H_{\text{нj}}$, м	Значения K_{ycij} при крутизне откосов 1: m_i		
	1:1,0	1:1,5	1:2,0
2,0	1,31	1,39	1,56
4,0	1,03	1,20	1,32
6,0	0,91	1,09	1,26

Строим семейство графиков K_{ycij} при крутизне откосов 1: m_i (рис. 6.4), по которым определяем H_{\max} ; при K_3 . Искомые значения $H_{\text{нmax}}$ равны: 2,2 м при крутизне откосов 1:1,0; 3,4 м при 1:1,5; 6,3 м при 1:2,0 — по графику зависимости $K_{ycij} = f(H_{\text{нj}}, m_i)$.

Задача 6.5. Рассчитать контрбанкет для обеспечения устойчивости насыпи на косогоре.

Исходные данные: уклон местности $n(\beta)$, параметры насыпи $H_{\text{н}}$, $B_{\text{оп}}$, m_i ; грунта, γ_{Γ} , φ_{Γ} , c_{Γ} ; камня для контрбанкета $\gamma_{\text{к}}$, $\varphi_{\text{к}}$, $c_{\text{к}}$; нагрузок $p_{\text{п}}$, $b_{\text{п}}$, $p_{\text{вс}}$, $b_{\text{вс}}$; K_3 .

Расчетная схема на рис. 6.5.

Решение — графическим способом.

Для каждого отсека строится многоугольник векторов

$$(\bar{K}_3 T_i - \bar{c}_i l_i), \bar{N}_i, \bar{S}_i = f \bar{R}_i + \bar{R}_i, \bar{E}_i.$$

Предельное состояние, обеспечивающее устойчивость насыпи с K_3 , соответствует равнодействующей (результатирующей) равной $E_{\text{п}} = 0$.

Пример. Дано: уклон местности $\beta = 21^{\circ}$; $H_{\text{н}} = 4,8$ м; $B_{\text{оп}} = 7,0$ м; крутизна откосов 1:1,5; грунт — суглинок, $\gamma_{\Gamma} = 19,0$ кН/м³, $\varphi_{\Gamma} = 16^{\circ}$, $c_{\Gamma} = 9,0$ кПа; камень скальных пород $\gamma_{\text{к}} = 24,0$ кН/м³; $\varphi_{\text{к}} = 34^{\circ}$; $p_{\text{п}} = 60$ кПа, $b_{\text{п}} = 2,75$ м, $p_{\text{вс}} = 15$ кПа, $b_{\text{вс}} = 4,6$ м; $K_3 = 1,3$.

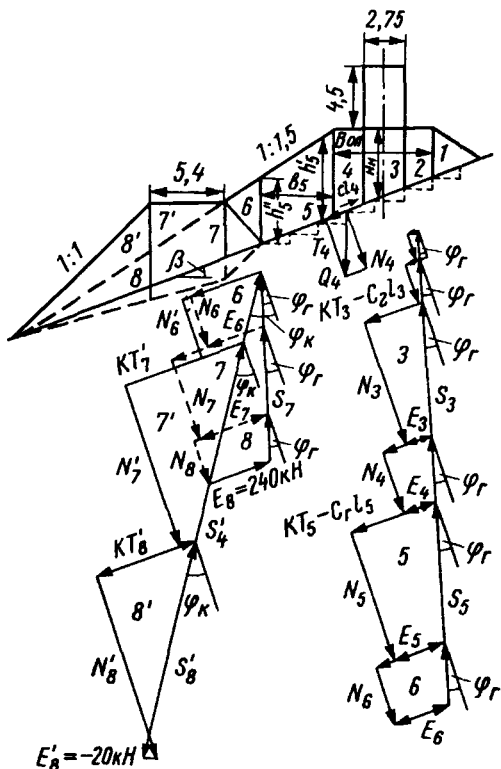


Рис. 6.5. Графический расчет контрбанкета насыпи на косогоре

Расчетная схема на рис. 6.5.

Решение — графическим способом. Определяем высоту эквивалентного нагрузкам (фиктивного) столбика грунта $h_3 = 4,5$ м. На масштабном чертеже (ПП насыпи) в каждом отсеке измеряем b_i, h_i', h_i'' , определяем площади ω_i ; вес каждого Q_i и составляющие N_i, T_i (с коэффициентом $K_3 = 1,3$); $\sin 21^\circ = 0,3584, \cos 21^\circ = 0,9336$.

Расчет сил тангенциальных (сдвигающих) T_i , нормальных N_i , сцепления $c_r l_i$ приведен в табл. 6.4. Удельное сцепление (зацепление) камня принято в запас устойчивости.

Используя расчетные значения сил $K_3 T_i, N_i, c_r l_i$ и зная направления сил E_i параллельно плоскости смещения, равнодействующей S_i под углом φ_i к нормали (перпендикуляру к плоскости смещения), строим многоугольники сил для всех отсеков. Результирующая сдвигающая сила (оползневое давление) $E_8 = 240$ кН (на 1 п. м насыпи).

Устройство контрбанкета принятых размеров обеспечивает устойчивость насыпи на косогоре (круче 1:3) с заданным коэффициентом устойчивости (и запасом устойчивости $E_8' = 20$ кН).

Таблица 6.4

Параметры K_{yc} насыпи с контрбанкетом

Расчетные параметры	Значения расчетных параметров по отсекам								
	насыпи						контрбанкета		
	1	2	3	...	7	8	6'	7'	8'
$b_i, \text{ м}$	3,4	2,15	2,7		5,4	8,0	2,6	5,4	9,6
$h'_i, \text{ м}$	0,0	3,4	8,8		4,0	2,4	4,8	4,0	6,0
$h''_i, \text{ м}$	3,4	4,3	9,9		2,4	0,0	4,0	6,0	0,0
$\omega_{\text{ни}}, \text{ м}^2$	5,78	8,28	25,25		17,28	9,60	6,24	—	—
$\omega_{\text{кб}}, \text{ м}^2$	—	—	—		—	—	5,20	27,00	28,80
$Q_{\text{ни}} = \gamma_{\Gamma} \omega_{\text{ни}}, \text{ кН}$	109,8	157,3	479,7		382,3	182,4	118,6	—	—
$Q_{\text{кб}} = \gamma_{\Gamma} \omega_{\text{кб}}, \text{ кН}$	—	—	—		—	—	124,8	648,0	691,2
$T_i = Q_i \sin \beta_i, \text{ кН}$	37,2	56,4	171,9		117,7	65,4	87,2	232,2	247,7
$K_3 T_i, \text{ кН}$	48,4	73,3	223,5		153,0	85,0	113,4	301,9	322,0
$N_i = Q_i \cos \beta_i, \text{ кН}$	102,5	146,8	447,8		305,6	170,3	227,2	605,0	645,3
$l_i, \text{ м}$	3,53	2,30	2,89		5,78	8,57	—	—	—
$c_{\Gamma} l_i, \text{ кН}$	31,8	20,7	26,0		52,0	77,1	—	—	—

Контрбанкет из камня может быть с уположением основания (на рис. 6.5 показано пунктиром).

Задача 6.6. Определить предельную высоту устойчивого вертикального (наклонного) откоса выемки в скальных породах.

Исходные данные. Сцепление породы в образце $c_{\text{п}}$, по контактам поверхности ослабления (трещинам) $c_{\text{тр}}$, угол внутреннего трения породы в образце по контактам поверхностей ослабления $\varphi_{\text{тр}}$, расстояния между плоскостями ослабления l_i (среднее $l_{\text{ср}}$), объемный вес породы $\gamma_{\text{п}}$.

Расчетные схемы на рис 6.6.

Решение. Предельная высота устойчивого вертикального откоса H_{90} рассчитывается по формулам [85]:

— при благоприятном расположении поверхностей ослабления ($\beta_{\text{п}} < \varphi_{\text{тр}}$) к поверхности откоса (рис. 6.6-1,2,3,4)

$$H_{90} = (2c_{\text{м}}/\gamma_{\text{п}}) \text{ctg}(45^\circ - \varphi/2),$$

где сцепление породы в массиве $c_{\text{м}} = (c_{\text{пр}} - c_{\text{тр}})/[1 + a_{\text{с}} \ln(H_0 M_{\text{тр}})] + c_{\text{тр}}$. Здесь H_0 — высота проектируемого откоса; $a_{\text{с}}$ — коэффициент, в зависимости от $c_{\text{р}}$ (рис. 6.7); $M_{\text{тр}}$ — параметр трещиноватости породы

$$M_{\text{тр}} = 1/l_{\text{ср}} = (1/l_1 + 1/l_2 + \dots + 1/l_n)/n;$$

— при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления ($\beta_{\text{п}} > \varphi_{\text{тр}}$), рис. 6.6-5

$$H_{90} = (c_{\text{тр}}/\gamma_{\text{ср}}) \cos \varphi_{\text{тр}} / [\cos \beta_{\text{п}} \cdot \sin(\beta_{\text{п}} - \varphi_{\text{тр}})],$$

где $\beta_{\text{п}}$ — угол наклона поверхности ослабления к горизонту.

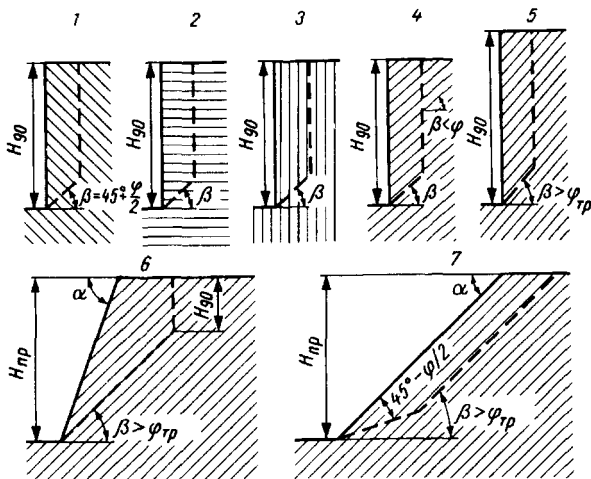


Рис. 6.6. Расчетные схемы вертикальных откосов: 1, 2, 3, 4 — с благоприятным, с неблагоприятным расположением поверхностей ослабления (поверхностям откосов); 5 — $\beta > \varphi_{тр}$; 6 — $\alpha \neq \beta$, 7 — $\alpha = \beta$.

Предельная высота наклонного откоса $H_{пр}$ определяется по формулам — при неблагоприятном расположении поверхности ослабления ($\beta_{п} > \varphi_{тр}$) и несовпадении угла наклона откоса $\alpha_{от} \neq \beta_{п}$ (рис. 6.6-6) с углом наклона поверхности ослабления $\beta_{п}$

$$H_{пр} = H_{90} / (1 - \sqrt{\text{ctg}\alpha_{от} \cdot \text{tg}\beta_{п}}),$$

где $\alpha_{от}$ — угол наклона проектируемого откоса;

— при неблагоприятном расположении поверхности ослабления ($\beta_{п} > \varphi_{тр}$) и совпадении углов $\alpha_{от}$ и $\beta_{п}$ (рис. 6.6-7)

$$H_{пр} = H_{90} / (1 - \sqrt{\text{ctg}\alpha_{от} \cdot \text{tg}\psi}).$$

Здесь $\text{tg}\psi = \text{tg}\varphi_{тр} + c_{тр}/\sigma_{ср}$; $\sigma_{ср} = 0,3\gamma_{п}H_{90}\cos\alpha$.

Пример 1. Определить предельную высоту вертикального откоса H_{90} в массиве выемки из песчаника при горизонтальной слоистости.

Дано: $\gamma_{п} = 25,3 \text{ кН/м}^3$; $c_{п} = 9000 \text{ кПа}$; $\varphi_{тр} = 35^\circ$; $l_{ср} = 0,43 \text{ м}$; $c_{тр} = 60 \text{ кПа}$; коэффициент запаса $K_3 = 1,3$.

Расчетная схема на рис 6.6-2.

Решение. Методом последовательного приближения определяем расчетные значения $c_{пр} = 9000/1,3 = 6923 \text{ кПа}$; $c_{трр} = 60/1,3 = 46 \text{ кПа}$; $\varphi_{трр} = 35/1,3 = 27^\circ$; $M_{тр} = 1/0,43 = 2,33$.

По графику рис. 6.7 при $c_p = 6923 \text{ кПа}$ коэффициент $\alpha_c = 44$.

Задаемся значениями высоты откоса

$$H_{90} = 15,0 \text{ м.}$$

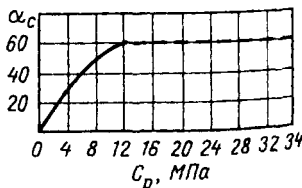


Рис. 6.7. График зависимости $\alpha_c = f(c_p)$

Вычисляем $c_m' = (6923 - 46)/[1 + 44 \cdot \ln(1,5 \cdot 2,33)] + 46 = 89,7$ кПа.

Определяем $H_{90}' = (2 \cdot 89,7/25,3) \operatorname{ctg}(45^\circ - 27^\circ/2) = 11,5$ м.

Расхождение

$$\Delta' = [(H_{90} - H_{90}')/H_{90}']100 = [(15,0 - 11,5)/11,5] \cdot 100 = 30,4 > 5\%.$$

Используя $H_{90}' = 11,5$, вычисляем

$$c_m'' = (6923 - 46)/[1 + \ln(11,5 \cdot 2,33)] + 46 = 93 \text{ кПа и } H_{90}'' = 12,0 \text{ м.}$$

Расхождение $\Delta'' = [(12,0 - 11,5)/12,0] \cdot 100 = 4,2 < 5\%$.

Принимаем $H_{90} = 11,5$ м.

Пример 2. Определить H_{90} в известняковом массиве выемки при падении поверхностей ослабления в сторону пути под углом $\beta_{\text{п}} > \varphi_{\text{тр}}$.

Дано: $\gamma_{\text{п}} = 24,9$ кН/м³; $c_{\text{тр}} = 90,0$ кПа; $\varphi_{\text{тр}} = 24^\circ$; $\beta_{\text{п}} = 42^\circ$; $K_{\text{зп}} = 1,3$.

Расчетная схема на рис. 6.6-5.

Решение. Определяем расчетные значения

$$c_{\text{трр}} = 90,0/1,3 = 69,0 \text{ кПа; } \varphi_{\text{трр}} = 24/1,3 = 18,5^\circ.$$

$$\begin{aligned} \text{Вычисляем } H_{90} &= (69,0/24,9) \cos 18,5^\circ / [\cos 42^\circ \cdot \sin(42^\circ - 18,5^\circ)] = \\ &= 69,0 \cdot 0,9483 / (24,9 \cdot 0,7431 \cdot 0,3987) = 8,87 \text{ м.} \end{aligned}$$

Задача 6.7. Определить устойчивость откоса полувыемки из легковетвирающихся скальных пород (Туапсе-Лазаревская).

Исходные данные. Высота откоса $H_{\text{от}}$, крутизна (средняя) $\alpha_{\text{от}}$. Литология: аргиллиты $\beta_{\text{а}}$, песчаники $\beta_{\text{пс}}$. три системы трещин: две с благоприятным к откосу падением, одна с неблагоприятным (круче угла откоса), средний размер структурных блоков $l_{\text{ср}}$, массив макрооднородный (квазиизотропный), $K_{\text{зп}}$.

Расчетная схема на рис. 6.8. Графическое построение кривой обрушения: на уровне $H_{\text{от}}$ проводят горизонталь AD , откладывают от бровки ширину призмы обрушения $b = AD$, опускают перпендикуляр AA_1 и DD_1 на линию KZ (H_{90}), прямые D_1C и A_1C под углом $(45^\circ + \varphi/2)$ к линии KZ до пересечения в узловой точке C , проводят прямую MN под углом $(45^\circ - \varphi/2)$ к MA ; восстанавливают перпендикуляры к MN в точке M и к D_1B в C до пересечения в точке O , центре криволинейного участка MC обрушения; массив разбивается на отсеки.

Решение. Вариант ускоренной (приближенной) оценки устойчивости массива [58].

Для аргиллитов принимается $\varphi_{\text{а}} = 32^\circ$, для песчаников $\varphi_{\text{пс}} = 34^\circ$, удельное сцепление $c_{\text{а}} = 600$ кПа, $c_{\text{пс}} = 1420$ кПа.

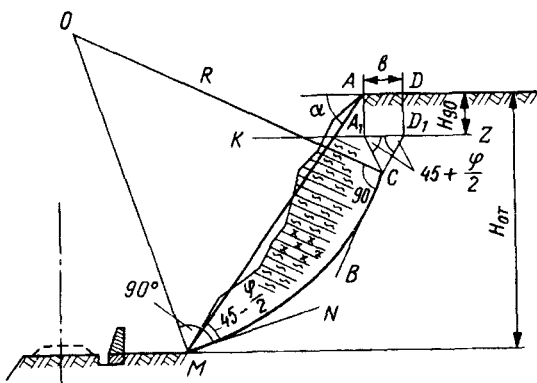


Рис 6.8. Расчетная схема откоса из выемки из легковетвирающихся скальных пород

Средневзвешенные значения (с учетом литологических разностей)

$$\varphi_{вз} = 0,01(32\beta_a + 34\beta_{пс}), \text{ град.},$$

$$c_{вз} = 0,01(600\beta_a + 1420\beta_{пс}), \text{ кПа.}$$

Расчетные значения с учетом коэффициента запаса $K_{зп}$

$$\varphi_p = \varphi_{вз}/K_{зп}; \quad c_p = c_{вз}/K_{зп}.$$

Сцепление $c_{тр}$ — по справочным материалам;

расчетное значение $c_{трp} = c_{тр}/K_{зп}$.

По графику рис. 6,7 определяется коэффициент α_c .

Среднее сцепление в массиве

$$c_m = c_{трp} + (c_p - c_{трp})/[1 + \alpha_c \ln(H_{от}/l_{cp})].$$

Высота вертикальной трещины отрыва

$$H_{90} = (2c_m/\gamma_a) \text{ctg}(45^\circ - \varphi/2).$$

По графику рис. 6.9 при α и φ_p определяется $H' = H/H_{90}$.

Устойчивость откоса обеспечивается, если предельная высота устойчивого откоса $H_{пр} = H' \cdot H_{90} > H_{от}$.

Пример. Дано: $H_{от} = 23$ м; $\alpha_{от} = 56^\circ$; $\beta_a = 74\%$; $\beta_{пс} = 26\%$; $\gamma_a = 24$ кН/м³; $K_{зп} = 1,3$. Неблагоприятное падение круче угла откоса ($73...90^\circ$ против $55...60^\circ$); $Hl_{cp} = 0,14$ м; массив макрооднородный.

Расчетная схема на рис. 6.8.

Решение. Принимаем $\varphi_a = 32^\circ$; $\varphi_{пс} = 34^\circ$; $c_a = 600$ кПа; $c_{пс} = 1420$ кПа.

Средневзвешенные значения $\varphi_{вз} = 0,01(32 \cdot 74 + 34 \cdot 26) = 32,5^\circ$;

$$c_{вз} = 0,01(600 \cdot 74 + 1420 \cdot 26) = 4136 \text{ кПа.}$$

Расчетные значения $\varphi_p = 32,5/1,3 = 25^\circ$; $c_p = 4136/1,3 = 3182$ кПа.

Принимаем $c_{тр} = 35$ кПа;

расчетное значение $c_{трp} = 35/1,3 = 27$ кПа.

Коэффициент $\alpha_c = 23$ (при $c_p = 3182$ кПа) — по графику рис. 6.7.

Сцепление в массиве $c_m = 27 + (3182 - 27)/[1 + 23 \ln(23/0,14)] = 54$ кПа;

$$H_{90} = (2 \cdot 54/24) \text{ctg}(45^\circ - 25^\circ/2) = 7,1 \text{ м.}$$

По графику рис. 6.9 определяем

$$H/H_{90} = 4,1 \text{ (при } \alpha = 56^\circ, \varphi_p = 25^\circ).$$

Предельная высота откоса $H_{пр} = 4,1 \cdot 7,1 = 29,1 > 23$ м.

Вариант точного решения (при членении массива на отсеки) сводится к определению коэффициента устойчивости.

Задача 6.8. Определить устойчивость увлажненного откоса из выветрелого (до состояния мелкозема) аргиллита.

Исходные данные: $H_{от}$, $\alpha_{от}$, толщина выветрелого слоя h_b , W_a , γ_a , φ_a , c_a ; $K_{зп}$.

Расчетная схема на рис. 6.10. Мелкозем аргиллита принимается как изотропный материал.

Решение. Определяются расчетные значения $H' = H/H_{90}$;

$$c_{ар} = c_a/K_{зп}; \quad \varphi_{ар} = \varphi_a/K_{зп}.$$

$$\text{Вычисляется } H_{90} = (2 \cdot c_{ар}/\gamma_a) \text{ctg}(45^\circ - \varphi_{ар}/2).$$

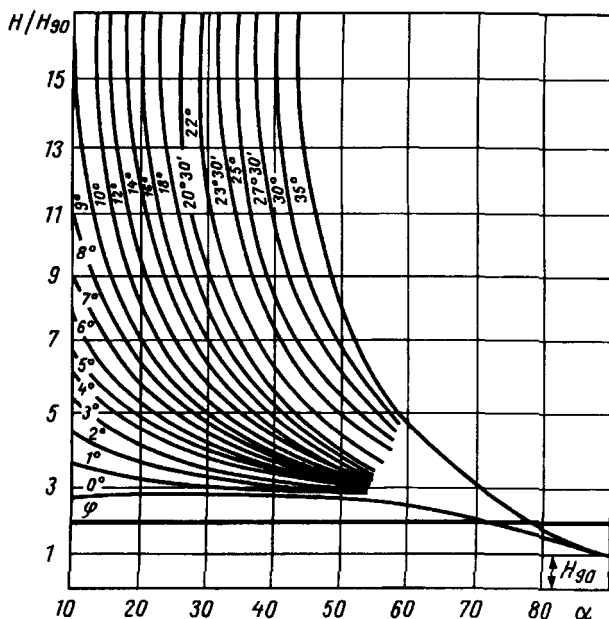


Рис. 6.9. Графики зависимости $H/H_{90} = (\alpha, \varphi)$.

По графику рис. 6.9 при $\alpha_{от}$ и $\varphi_{ар}$ определяется $H' = H/H_{90}$.

Устойчивость откоса обеспечивается при $H_{пр} = H' \cdot H_{90} > H_{от}$; $K_{ус} > K_{зп}$.

Пример. Дано: $H_{от} = 17,0$ м; $\alpha_{от} = 34^\circ$ (крутизна откоса 1:1,5); $h_B = 5,5$ м; $W_a = 34\%$, $\gamma_a = 21$ кН/м²; $c_a = 36$ кПа; $\varphi_a = 12^\circ$; $K_{зп} = 1,3$.

Расчетная схема на рис. 6.10.

Решение. Определяем $\varphi_{ар} = 12/1,3 = 9,2^\circ$; $c_{ар} = 36/1,3 = 27,7$ кПа.

Вычисляем $H_{90} = (2 \cdot 27,7/21,0) \operatorname{ctg}(45^\circ - 9,2/2) = 3,1$ м.

По графику рис. 6.9 при $\alpha_1 = 34^\circ$ и $\varphi_p = 9,2^\circ$ $H/H_{90} = 4,7$.

Предельная высота откоса $H_{пр} = 4,7 \cdot 3,1 = 14,6 < 17,0$ м.

Следовательно, откос неустойчив.

Проектируя более пологий откос, принимаем

$$\alpha_1 = 26^\circ 24'$$

(крутизна откоса 1:2).

По графику рис. 6.9 находим $H/H_{90} = 5,6$.

Тогда предельная высота откоса

$$H_{пр} = 5,6 \cdot 3,1 = 17,4 > 17,0 \text{ м.}$$

Следовательно, откос будет устойчивым.

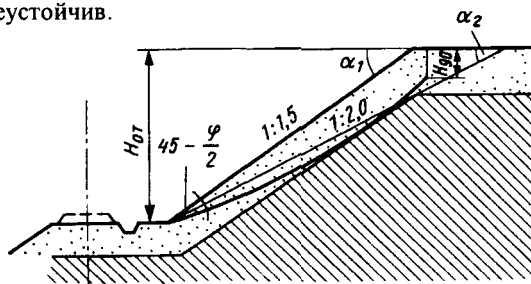


Рис. 6.10. Расчетная схема откоса из выветрелого аргиллита.

Задача 6.9. Для обеспечения пропуска селя (селевого потока) определить максимальный расход селевой волны q_{\max}^c , минимальную высоту отверстия H_3 селепропускной эстакады (моста).

Исходные данные. Ширина B_c , высота H_c максимальной волны селя, средняя скорость селевого потока U_c , толщина слоя отложений в русле h_c при проходе одного селя.

Решение. Максимальный расход селевой волны

$$q_{\max}^c = B_c H_c U_c;$$

минимальная высота отверстия селепропускной эстакады

$$H_3 = \mu_c H_c + n_c h_c + 1,5 \text{ м}$$

Здесь $\mu_c = B_c / B_{\text{от}}$ — коэффициент стеснения селевого потока, $B_{\text{от}}$ — ширина отверстия эстакады, моста.

Пример. Дано: $B_c = 11,0$ м; $H_c = 4,0$ м; $U_c = 2$ м/с, $n_c = 2$; $h_c = 1,8$ м; $\mu_c = 0,6$.

Решение. Расход селевой волны

$$q_{\max}^c = 11 \cdot 4 \cdot 2 = 88 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Высота отверстия селепропускной эстакады

$$H_3 = 0,6 \cdot 4,0 + 2 \cdot 1,8 + 1,5 = 7,5 \text{ м}.$$

Аналогично по параметрам и расходу селевой волны проектируются селенаправляющие в нагорных логах сооружения (селеспуски, селедуки и др.)

Задача 6.10. Определить оптимальное размещение кавальера в выемке

Решение. Положение и размеры кавальера: высота H_k , ширина поверху $B_{\text{кв}}$, понизу $B_{\text{кн}}$, крутизна откосов (m_k) влияют на устойчивость откосов выемок, которая зависит также от размерных параметров выемки (H_B , m_B) и сдвиговых характеристик грунта (c_T , Φ_T).

Положение кавальера, величина обреза $B_{\text{об}}$ (расстояние от откосной бровки до подошвы откоса кавальера) определяются расчетами коэффициента устойчивости согласно расчетной схеме, приведенной на рис. 6.11.

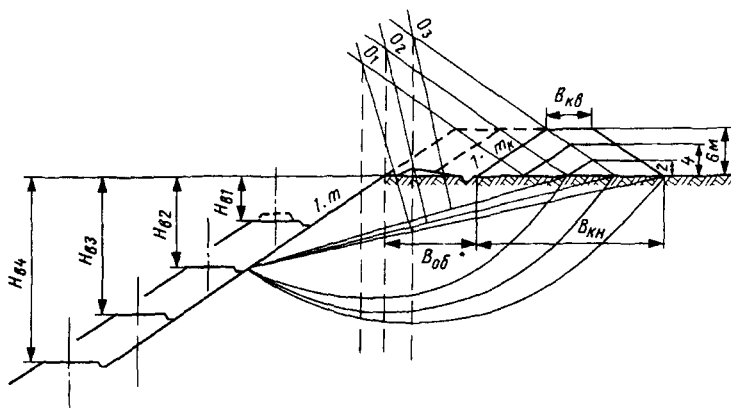


Рис 6.11 Расчетная схема устойчивости выемок с кавальером

Минимальное значение $\min B_{об}$ определяется при величине предельного значения $K_{ус} = 1,2$. При этом учитывается необходимость размещения на обреше бермы (1,0 м), банкета, забанкетной канавы (шириной поверху 1,2 м). Длина банкета при уклонах земной поверхности (местности) 1:3 и крутизне банкета поверху 0,02—0,04 равна 1,7—1,5 м; при уклоне 1:5 соответственно 2,7—2,5, при 1:10 — 5,90—4,3 м

В горных условиях кавальер, размещаемый с нагорной стороны, может служить улавливающим сооружением. В этом случае размерные параметры кавальера проверяются расчетами на перелет, на выскакивание (при камнепадах) [86, 88].

Задача 6.11. Запроектировать насыпь второго пути на косогоре.

Решение. Рассматривается и анализируется фактический поперечный профиль насыпи 1 пути (по результатам съемки).

Уточняются косогорность, виды и состояние грунтов, наличие грунтовых вод, условия подтопления. Определяется положение 11 пути. Проверяется устойчивость по намечаемым возможным поверхностям смещения. Проектируются при необходимости удерживающих сооружений.

Принимается вариант, удовлетворяющий условию $K_{ус} > K_3 = 1,2$.

Пример (по Кавгипротрансу). Поперечный профиль насыпи железнодорожного пути на пк 1355 + 08 (рис. 6.12)

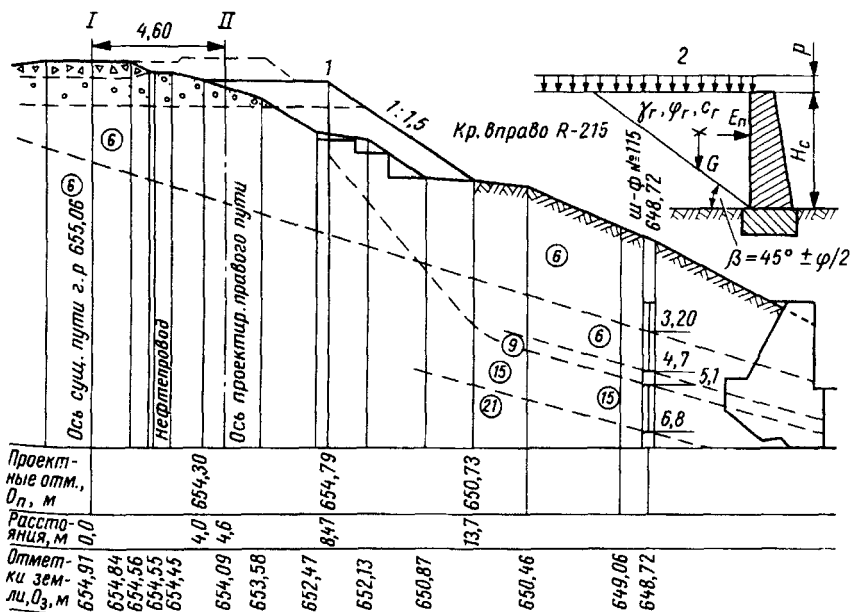


Рис 6.12. Проектирование насыпи второго пути на косогоре

Участок косогорный. В низовой части возможно подтопление. Определено состояние грунтовой среды (по данным бурения). Намечены возможные поверхности смещения. Определена величина оползневого давления. Выполнены расчеты на устойчивость

Принят вариант с подпорной стенкой (низовой).

Различают гравитационные, шпунтовые, свайные подпорные стены. При расчете гравитационных подпорных стен в условиях плоской поверхности грунта за стенкой, горизонтальную p_h и вертикальную p_y составляющие интенсивности активного давления по глубине y допускается определять исходя из гипотезы плоских поверхностей скольжения (согласно СНиП 2.06.07-87); при горизонтальных поверхностях и слоях грунтов

$$p_h = p_y \lambda_h,$$

где p_y — вертикальное давление по глубине y ;

λ_h — коэффициент бокового давления.

При расчетной схеме на рис. 6.12-2 сила, передаваемая на подпорную стену, определяется по формуле

$$E_{\Pi} = 0,5 \gamma_{\Gamma} H_c^2 \operatorname{tg} \beta^2 + (p \operatorname{tg} \beta - c_{\Gamma}) H_c \operatorname{tg} \beta,$$

где $\beta = 45^\circ \pm \varphi_{\Gamma}/2$.

Расчеты при проектировании подпорных стен выполняются по 1-му предельному состоянию: на опрокидывание, скольжение, по материалу; 2-му — по подошве фундамента; 3-му — на трещиностойкость.

6.3. Расчеты и проектирование пойменных насыпей

Задача 6.12. При проектировании поперечного профиля пойменной насыпи (прил. 6.1, морфоствор) требуется определять коэффициент устойчивости.

Исходные данные: размерные характеристики насыпи: $H_{\text{н}}$, $B_{\text{оп}}$, $m_{\text{от}}$, отм. основания насыпи, $H_{\text{нк}}$ или горизонт высоких вод (ГВВ), $I_{\text{д}}$.

Характеристики грунта насыпи: $\gamma_{\text{сн}}$, $e_{\text{н}}$, $c_{\text{н}}$, $\varphi_{\text{н}}$;

грунта основания: $\gamma_{\text{ос}}$, $\gamma_{\text{ос}}$, $W_{\text{ос}}$, $e_{\text{ос}}$, $c_{\text{ос}}$, $\varphi_{\text{ос}}$.

Характеристики увлажненного грунта насыпи: $\gamma_{\text{нв}}$, $c_{\text{нв}}$, $\varphi_{\text{нв}}$;

основания насыпи: $\gamma_{\text{ос,в}}$, $c_{\text{ос,в}}$, $\varphi_{\text{ос,в}}$ определяются расчетом.

Характеристики нагрузок $p_{\text{п}}$, $b_{\text{п}}$, $p_{\text{вс}}$, $b_{\text{вс}}$.

Расчет выполняется графоаналитическим методом.

Расчетная схема на рис. 6.13. Масштабная схема поперечного профиля насыпи (на миллиметровой бумаге) — в масштабе 1:100 (1:50 или 1:200). Нагрузка на основной площадке заменяется нагрузкой эквивалентного (фиктивного) столбика грунта h_3 .

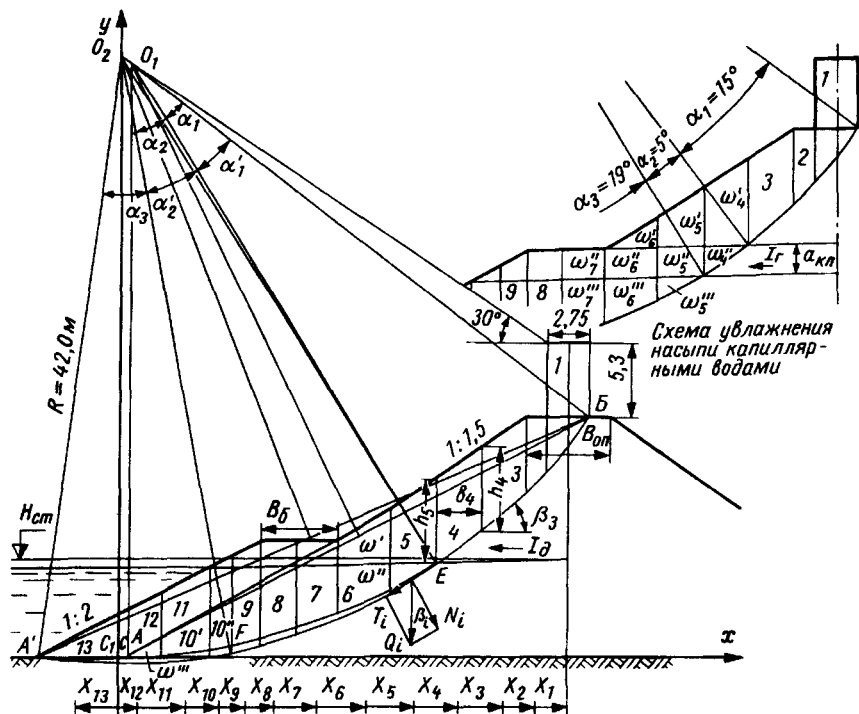


Рис. 6.13 Расчетная схема для определения K_{yc} пойменной насыпи

Графические построения. На исходном поперечнике (насыпи) выбирают точки, через которые пройдет возможная кривая смещения (обрушения), например подошву откоса A и удаленный конец шпалы B . Затем точки соединяют хордой, к середине восстанавливают перпендикуляр (линия центров), проводят вспомогательную линию (под углом $30\text{--}36^\circ$ к горизонтальной верхней грани фиктивного столбика грунта) до пересечения с линией центров в точке O . Из точки O радиусом $R = OA = OB$ описывают кривую возможного обрушения, опускают вертикаль OC , измеряют R .

Проводят кривую депрессии с уклоном I_d от вершины по оси пути (междупутья). Разбивают массив обрушения на отсеки с учетом переломов профиля и обводненной части насыпи E , основания насыпи F , с площадями ω_i и частями их: ω_i' — в неувлажненных зонах отсеков; ω_i'' — в увлажненных зонах насыпи; ω_i''' — в увлажненных зонах основания насыпи.

От вертикали OC определяют (измерением в масштабе) горизонтальные расстояния до середины каждого отсека x_i (длины основания). Определяют размеры отсеков h_i , b_i (измерением в масштабе расчетной схемы). Положение бермы пойменной насыпи определяется высотой наката волны $H_{нк}$.

Решение. Вычисляются расчетные величины: удельный вес грунта в увлажненных частях отсеков с учетом взвешивающей силы (выталкивающей по Архимеду)

$$\gamma_{\text{нв}} = (\gamma_{\text{сн}} - \gamma_{\text{в}})/(1 + e_{\text{н}}); \quad c_{\text{нв}} = K_{\text{вс}} \cdot c_{\text{н}}; \quad f_{\text{нв}} = K_{\text{вф}} \cdot f_{\text{н}};$$

где $K_{\text{вс}}$ — по экспериментальным определениям ($K_{\text{вс}} = 0,50 \dots 0,70$);

$K_{\text{вф}}$ — по экспериментальным определениям ($K_{\text{вф}} = 0,75 \dots 0,90$);

в обводненной части основания насыпи

$$\gamma_{\text{ос,в}} = (\gamma_{\text{ос}} - \gamma_{\text{в}})/(1 + e_{\text{ос}}).$$

Если неизвестно $e_{\text{ос}}$, можно определить $\sigma_{\text{н}} = \gamma_{\text{н}} H_{\text{н}}$, для $\sigma_{\text{н}}$ по компрессионной кривой $e_{\text{ос}}$ или по известному $\gamma_{\text{ос}}$ определить

$$\gamma_{\text{д,ос}} = \gamma_{\text{ос}}/(1 + W_{\text{ос}}), \text{ а затем } e_{\text{ос}} = \gamma_{\text{с,ос}}/\gamma_{\text{д,ос}} - 1.$$

Вычисляются $\Sigma l_{\text{нi}} = \pi R \alpha_1 / 180$; $\Sigma l_{\text{н,вi}} = \pi R \alpha_2 / 180$; $\Sigma l_{\text{ос,вi}} = \pi R \alpha_2 / 180$.

В табличной форме определяют $\sin \beta_i = x_i / R$; $\cos \beta_i$; площади отсеков $\omega_i = 0,5(h_{i-1} + h_i)b_i$, а также ω_i' , ω_i'' , ω_i''' ;

$$Q_i = \gamma_{\text{н}} \omega_i \text{ — в зоне } BE;$$

$$Q_i' = \gamma_{\text{н}} \omega_i' + \gamma_{\text{нв}} \omega_i'' \text{ — в зоне } EF;$$

$$Q_i'' = \gamma_{\text{н}} \omega_i' + \gamma_{\text{нв}} \omega_i'' + \gamma_{\text{осв}} \omega_i''' / \text{сд} \text{ — в зоне } FC;$$

$Q_i''' = \gamma_{\text{н}} \omega_i' + \gamma_{\text{нв}} \omega_i'' + \gamma_{\text{осв}} \omega_i''' / \text{уд}$ — в зоне CA' , для удерживающих отсеков (T_i направлена в сторону, обратную смещению); γ_{ω_i}' в крайних отсеках может не быть.

$$\Omega = \Sigma(\omega_i'' + \omega_i''').$$

Гидродинамическая сила $P_{\text{ГД}} = I_{\text{д}} \Omega \gamma_{\text{в}}$.

По полученным данным вычисляется коэффициент устойчивости

$$K_{\text{yc}} = [f_{\text{н}} \gamma_{\text{н}} \Sigma \omega_i \cos \beta_i + f_{\text{нв}} \Sigma Q_i' \cos \beta_i + f_{\text{осв}} (\Sigma Q_i'' \cos \beta_i + \Sigma Q_i''' \cos \beta_i) + c_{\text{н}} \Sigma l_{\text{нi}} + c_{\text{нв}} \Sigma l_{\text{нвi}} + c_{\text{осв}} \Sigma l_{\text{осi}} + \Sigma Q_i''' \sin \beta_i] / (\gamma_{\text{н}} \Sigma \omega_i \sin \beta_i + \Sigma Q_i' \sin \beta_i + \Sigma Q_i'' \sin \beta_i + P_{\text{ГД}}).$$

Должно быть $K_{\text{yc}} \geq K_3$.

Влияние капиллярных вод можно учитывать по схеме увлажнения насыпи капиллярными водами. В зоне $a_{\text{кп}}$ над кривой депрессии

$$\gamma_{\text{кп}} = (\gamma_{\text{сн}} + \gamma_{\text{в}} e_{\text{н}})/(1 + e_{\text{н}}).$$

Пример. Дано: $H_{\text{н}} = 16,00$ м; насыпь однопутная; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $H_{\text{нк}} = 7,9$ м. Характеристики грунта насыпи: $\gamma_{\text{сн}} = 26,8$ кН/м³; $W_{\text{н}} = 23\%$; $e_{\text{н}} = 0,664$; $c_{\text{н}} = 22,0$ кПа; $\varphi_{\text{н}} = 25^\circ$; грунта основания: $\gamma_{\text{сос}} = 26,4$ кН/м³; $e_{\text{ос}} = 0,681$; $c_{\text{ос}} = 24,0$ кПа; $\varphi_{\text{ос}} = 26^\circ$; нагрузок: $p_{\text{п}} = 80,0$ кПа; $b_{\text{п}} = 2,75$ м; $p_{\text{вс}} = 15,0$ кПа; $b_{\text{вс}} = 4,70$ м; $K_3 = 1,20$.

Расчетная схема на рис. 6.13. Насыпь без бермы. $R_1 = 40,7$ м; $\alpha_1 = 20^\circ 30'$; $\alpha_2 = 32^\circ$; $h_3 = 5,3$ м; $b_3 = 2,75$ м.

Решение. Определяем расчетные параметры: для грунта насыпи

$$\gamma_{\text{н}} = [\gamma_{\text{сн}}/(1 + e_{\text{н}})](1 + W_{\text{н}}) = [26,8/(1 + 0,664)](1 + 0,23) = 19,8 \text{ кН/м}^3;$$

$$\gamma_{\text{нв}} = (26,8 - 10,0)/(1 + 0,664) = 10,1 \text{ кН/м}^3;$$

$$f_{\text{нв}} = 0,75 \cdot 0,466 = 0,349; \quad c_{\text{нв}} = 0,5 \cdot 22,0 = 11,0 \text{ кПа};$$

для грунта основания

$$\gamma_{oc,в} = (26,4 - 10,0)/(1 + 0,681) = 9,8 \text{ кН/м}^3;$$

$$f_{oc} = \text{tg}26^\circ = 0,487; \quad f_{oc,в} = 0,365; \quad c_{oc,в} = 122,0 \text{ кПа.}$$

Полученный расчетом K_{yc} насыпи без бермы $K_{yc} = 1,10 < K_3 = 1,2$.

Для обеспечения устойчивости проектируем насыпь с берменной частью (на уровне $H_{нк}$). Принимаем $B_6 = 6,0$ м. Тогда $R = 42,0$ м; $\alpha_1' = 20^\circ$; $\alpha_2' = 22^\circ$; $\alpha_3' = 19^\circ$ (рис. 6.13).

Расчетные параметры по отсекам определены в табл. 6.5.

Для контроля вычисляем

$$\Sigma l_{ni} = \pi \cdot 42,0 \cdot 20/180 = 14,7 \text{ м}; \quad \Sigma l_{нвi} = \pi \cdot 42,0 \cdot 22/180 = 16,1 \text{ м};$$

$$\Sigma l_{oc,vi} = \pi \cdot 42,0 \cdot 19/180 = 13,9 \text{ м.}$$

Гидродинамическая сила

$$P_{гд} = I_d \Sigma (\omega_i'' + \omega_i''') \gamma_b = 0,05 \cdot 99,27 \cdot 10,00 = 49,64 \text{ кН.}$$

Коэффициент устойчивости насыпи (с бермой)

$$K_{yc} = [0,446 \cdot 19,8 \cdot 45,45 + 0,349 \cdot 1227,13 + 0,365(407,95 + 82,64) + \\ + 22,0 \cdot 14,7 + 11,0 \cdot 16,1 + 12,0 \cdot 13,9 + 5,3] / \\ (19,8 \cdot 40,14 + 496,27 + 46,57 + 49,64) = 1,22 > K_3 = 1,20.$$

Задача 6.13. Рассчитать устойчивость откоса пойменной насыпи, сложенной глинистыми грунтами.

Решение. Расчет выполняется с использованием ЭТ (Excel-5.0).

Алгоритм расчета. Определяется коэффициент устойчивости откоса от смещения K_{yc} по методике решения задачи 6.12.

Расчетная схема на рис. 6.14.

Пример. Расчет устойчивости откоса по программе ЭТ-USTOI.

Структура ЭТ (табл. 6.6-1).

В информационном блоке (в верхней части ЭТ) размещаются исходные данные: размерные параметры насыпи: H_n , $B_{оп}$, B_m , $H_{нк}$, B_6 ; параметры нагрузок: $p_{пj}$, $b_{пj}$, $p_{вс}$, $b_{вс}$; характеристики грунтов насыпи γ_n , $\gamma_{шн}$, e_n , c_n , Φ_n , W_n , гидравлический уклон I_d , основания γ_{oc} , γ_{soc} , e_{oc} , c_{oc} , Φ_{oc} , W_{oc} ; параметры расчетной схемы: радиус кривой возможного смещения R , центральные углы неувлажненной зоны (α_1), увлажненной насыпи (α_2), основания (α_3); расчетные параметры: высота эквивалентной нагрузки h_3 , удельные веса увлажненного грунта $\gamma_{нв}$, $\gamma_{осв}$.

В расчетный блок по отсекам заносим ширину отсеков b_i , высоту частей отсеков неувлажненных h_i' , увлажненных насыпи h_i'' , основания h_i''' .

ПК вычисляет значения x_i для каждого отсека, функции углов $\sin\beta_i$, $\cos\beta_i$, площади ω_i всех частей ω_i' , ω_i'' , ω_i''' и суммирует их для каждого отсека ω_i ; вычисляет составляющие и суммы нормальных N_j и тангенциальных T_j сил, гидродинамическую силу $D_{гд}$ и величину коэффициента устойчивости K_{yc} .

Результат, полученный по исходным данным, приведен в табл. 6.6-1: $K_{yc} = 1,24 > 1,2$.

При пользовании ЭТ-USTOI варьируя исходные параметры, можно анализировать условия устойчивости насыпи, устанавливать параметрические зависимости.

Содержимое ячеек программы ЭТ-USTOI фрагментарно приведено в табл. 6.6-2 (Excel-5.0).

Таблица 6.6-1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА (ПРОГРАММА USTOI-ЭТ)												
Исходные данные	Вс.нс. H_N 15.80	Ш.оп. $B_{оп}$ 6.00	Ш.мл. B_m 0.00	Вс.нк. $H_{нк}$ 7.80	Ш.бер. $B_б$ 6.00	Г.ук. I_r 0.05	П.нг.рп1 80.00	П.нг.рп2 80.00	Ш.пл. D_p 2.75	Н.вс. $R_{вс}$ 16.00	Ш.вс. $R_{вс}$ 4.60	
Грунт насыпи	Уд.вес. γ 19.40	Уд.вс. γ_s 27.20	К.пор. e 0.66	Уд.сц.с 31.00	Уг.вн.т. ϕ 24.00	Влажн. W 18.00	У.в.ув. $\gamma_в$ 10.36	У.в.ув. $\gamma_в$ 10.36	Н.эк. h_3 5.50	Радиус R 40.50		
Грунт основа-ния	Уд.вес. γ_s 26.50	Уд.сц.с 25.00	К.пор. e 0.69	Уд.сц.с 23.00	Уг.вн.т. ϕ 23.00	Влажн. W 19.00	У.в.ув. $\gamma_в$ 9.77	У.в.ув. $\gamma_в$ 9.77	Ц.уг. α_1 24.00	Ц.уг. α_2 21.00	Ц.уг. α_3 16.00	
ОТСЕКИ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Суммы
Шир. $B_{сд}$	2.75	1.63	4.00	5.00	4.90	6.00	2.90	3.10	2.60	5.40	0.00	
Шир. $B_{уд}$												
Выс. h_1	3.30	4.90	5.80	5.60	2.50	2.80	1.50	0.00	3.90	2.30	0.00	
Выс. h_2				0.00	2.30	3.80	4.00	0.00	0.30	0.50	0.00	
Выс. h_3							7.15	4.15	1.30	0.00	0.00	
Пр. $x_{уд}$	31.51	29.32	26.50	22.00	17.05	11.60	0.00	0.00	0.00	2.70	0.00	
Пр. $x_{сд}$												
$\sin \beta_1$	.7779012	.7238272	.6543210	.5432099	.4209877	.2864198	.1765432	.1024691	.0320988	.0666667	0	
$\cos \beta_1$	.6283866	.6899813	.7562169	.8395969	.9070664	.9581042	.9842929	.9947362	.9994847	.9977753	0	
Площ. ω_1	19.67	6.68	21.40	28.50	19.85	15.90	6.24	2.33	0.00	0.00	0.00	120.56
Площ. ω_2					5.64	18.30	11.31	12.25	8.06	6.21	0.00	61.76
Площ. ω_3									4.47	1.04	0.00	2.86
$\omega_1 \cdot \gamma \cdot \sin \beta$	296.87	93.84	271.65	300.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	962.70
$\omega_1 \cdot \gamma \cdot \cos \beta$	239.81	89.46	313.95	464.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1107.43
$Q_2 \cdot \sin \beta_1$	0.00	0.00	0.00	0.00	186.66	142.66	42.04	0.00	0.00	0.00	0.00	371.36
$Q_2 \cdot \cos \beta_1$	0.00	0.00	0.00	0.00	99.16	340.15	215.97	0.00	0.00	0.00	0.00	655.27
$Q_3 \cdot \sin \beta_{сд}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.09	3.01	0.00	0.00	21.10
$Q_3 \cdot \sin \beta_{уд}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.17	0.00	5.17
$Q_3 \cdot \cos \beta_1$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	175.60	93.63	77.37	0.00	346.60
Нас. L_1	16.96					Ос.ув. L_3	11.31					
Сумма N	818.76			Сумма T	1355.16	Гд. сила D	31.69					
										Коэффициент устойчивости		$K_{уст} = 1.24$

Таблица 6.6-2

Содержимое ячеек A1:B39 программы ЭТ - USTOI

	A	B
1		
2	Расчет устойчивости	
3	-----	
4	Исходные	Вс. нс. Н _н
5	данные	15,8
6		м
7	-----	
8	Грунт	
9	насыпи	Уд. вес. γ
10		19,4
11		кН/м ³
12	Грунт	
13	основания	
14		
15	-----	
16	Отсеки	1
17		
18	Шир. $b_{юд}$	2,7
19	Шир. $b_{уд}$	
20	Выс. h_{1i}	2,8
21	Выс. h_{2i}	
22	Выс. h_{3i}	
23	Пр худ	=СУММ(B18:L18)-B18/2
24	Пр. худ	=СУММ(A19:B19)-B19/2
25	Sin β_i	=ЕСЛИ(B23>0; B23/K9; B24/K9)
26	Cos β_i	=(1-B25*2)^0,5)
27	Площ. ω_{1i}	=ЕСЛИ(B18=2,75; (A20+2*J9+B20)*B18/2; (A20+B20)*B18/2
28	Площ. ω_{2i}	=ЕСЛИ(И(B18>0; B21>0); (A21+B21)*B18/2; (A21+B21)*B18/2)
29	Площ. ω_{3i}	=ЕСЛИ(И(B18>0; B22>0); (A22+B22)*B18/2; (A22+B22)*B19/2)
30	$\omega_1 \cdot y \cdot \sin \beta_i$	=ЕСЛИ(ИЛИ(B28>0; B29>0); 0; B27*B25*B9)
31	$\omega_1 \cdot y \cdot \cos \beta_i$	=ЕСЛИ(ИЛИ(B28>0; B29>0); 0; B27*B26*B9)
32	$Q_2 \cdot \sin \beta_i$	=ЕСЛИ(И(B28>0; B29=0); (B27*B9+B28*H9)*B25; 0)
33	$Q_2 \cdot \cos \beta_i$	=ЕСЛИ(И(B28>0; B29=0); (B28*B9+B29*H9)*B26; 0)
34	$Q_3 \cdot \sin \beta_{сд}$	=ЕСЛИ(И(B19>0; B29>0); (B27*B9+B28*H9+B29*H13)*B25; 0)
35	$Q_3 \cdot \sin \beta_{уд}$	=ЕСЛИ(И(B19>0; B29>0); (B27*B9+B28*H9+B29*H13)*B25; 0)
36	$Q_3 \cdot \cos \beta_i$	=ЕСЛИ(B29>0); (B27*B9+B28*H9+B29*H13)*B26; 0)
37	Нас. I_i	=ПИ () *K9-J13/180
38		Сумма N
39		

Решение. Определяем γ_{sat} , f_{sat} , c_{sat} .

$$\gamma_H = [26,2/(1 + 0,629)](1 + 0,195) = 19,22 \text{ кН/м}^3;$$

$$\gamma_{HВ} = (26,2 - 10,0)/(1 + 0,629) = 9,94 \text{ кН/м}^3;$$

$$f_H = 0,466; f_{HВ} = 0,350; c_{HВ} = 10,5 \text{ кПа};$$

$$\gamma_{осв} = (26,9 - 10,0)/(1 + 0,683) = 10,04 \text{ кН/м}^3;$$

$$f_{осв} = 0,488; f_{осв} = 0,366; c_{осв} = 9,5 \text{ кПа}.$$

В соответствии с размерными величинами на расчетной схеме рис. 6.15 расчетные параметры для вычисления коэффициента устойчивости определяем в табличной форме (табл. 6.7).

$$\text{Проверяем } \Sigma I_i = \pi \cdot 41,5 \cdot 55/180 = 40,1 \text{ м}$$

Определяем гидродинамическую силу $P_{Гд}$

$$P_{Гд} = \gamma_{вд} I_{д} \Sigma(\omega_i'' + \omega_i''') = 10,0 \cdot 0,05(64,52 + 1,16) = 32,84 \text{ кН}.$$

Вычисляем коэффициент устойчивости насыпи (от смещения, оползания откоса)

$$K_{yc} = 1315,36/(1003,56 + 32,84) = 1,27.$$

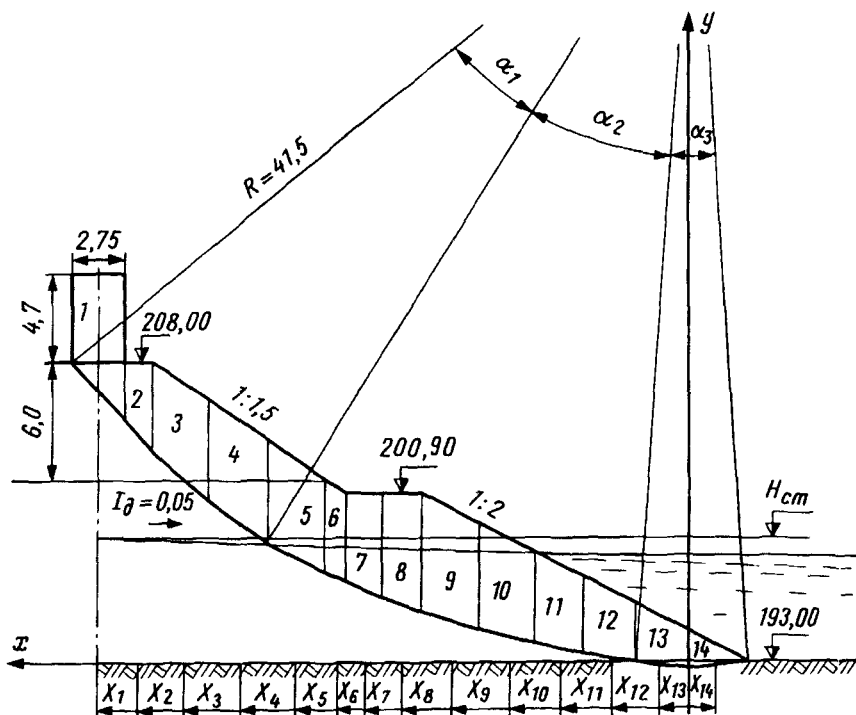


Рис. 6.15. Расчетная схема для определения K_{yc} и проектирования ПП насыпи в речной пойме

Задача 6.15. Запроектировать поперечный профиль пойменной насыпи из глинистых грунтов в сейсмическом районе.

Решение. Проектирование выполняется на ПК по программе, например, OPN (оптимальное проектирование насыпи).

Решается оптимизационная задача определения размерных параметров поперечного профиля пойменной насыпи (в сейсмическом районе) по критерию качества — K_{yc} . Оптимизационные процедуры выполняются по алгоритму ПКЭ. Проектирование выполняется аналитическим методом в автоматическом режиме с вычислениями критерия качества (функционала) и изменением размерных параметров ПП насыпи до соблюдения условия $K_{ycmin} > K_3$.

Расчетная схема на рис. 6.16.

Алгоритм проектирования (рис. 6.17):

— ввод массива исходных данных: рабочих отметок насыпи, физико-механических характеристик грунтов, параметров ограничений, управления;

Таблица 6.7

Расчетные параметры определения K_{yc} насыпи

Расчетные параметры	Значения параметров по отсекам							Суммы
	1	2	3	...	12	13	14	
x_i , м	30,00	28,82	26,5		4,2	1,4	-1,5	
α_i , град.	46,29	43,98	39,68		5,81	1,93	-2,07	
$\sin \alpha_i = x_i/R$	0,7229	0,6945	0,6385		0,1012	0,0337	0,0361	
$\cos \alpha_i$	0,6910	0,7195	0,7696		0,9949	0,9994	0,9993	
φ_i , град.	25,00	25,00	25,00		19,50	26,00	26,00	
$\alpha_i - \varphi_i$, град.	21,29	18,98	14,68		-13,69	-24,07	-23,93	
$\cos \varphi_i$	0,9063	0,9063	0,9063		0,9426	0,8988	0,8988	
$\cos(\alpha_i - \varphi_i)$	0,9317	0,9456	0,9674		0,9716	0,9130	0,9140	
$\cos \varphi_i / \cos(\alpha_i - \varphi_i) = K \cos$	0,9727	0,9584	0,9368		0,9702	0,9846	0,9834	
h_i' , м	4,7	3,0	4,5		—	—	—	
h_i'' , м	—	—	—		4,0	2,8	0-1,4	
h_i''' , м	—	—	—		—	0	0-0,4	
b_i , м	2,75	1,63	3,0		2,8	2,8	3,0	
ω_i' , м ²	17,05	6,11	14,10		—	—	—	
ω_i'' , м ²	—	—	—		9,52	5,88	2,10	64,52
ω_i''' , м ²	—	—	—		—	0,56	0,60	1,16
$Q_i' = \gamma_H \omega_i'$, кН	327,70	117,34	271,00		—	—	—	
$Q_i'' = \gamma_{HВ} \omega_i''$, кН	—	—	—		94,63	58,45	20,87	
$Q_i''' = \gamma_{осв} \omega_i'''$, кН	—	—	—		—	5,62	6,02	
$\Sigma Q_i = Q_i' + Q_i'' + Q_i'''$, кН	327,70	117,34	271,00		94,63	64,07	26,89	
$N_i = \Sigma Q_i \cos \alpha_i$, кН	226,44	84,49	208,56		94,15	64,03	26,87	
$T_i = \Sigma Q_i \sin \alpha_i$, кН	236,89	81,55	173,03		9,58	2,16	-0,36	
$f_i = \text{tg} \varphi_i$	0,466	0,466	0,466		0,350	0,366	0,366	
$N_i f_i$, кН	105,52	39,37	97,19		32,95	23,43	9,83	
c_i , кПа	21,00	21,00	21,00		10,50	9,50	9,50	
l_i , м	4,10	2,10	3,90		2,90	2,90	3,10	40,1
$c_i l_i$, кН	86,10	44,10	81,90		30,45	27,55	29,45	
$Q_i = N_i f_i + c_i l_i + T_{iуд}$, кН	191,62	83,47	179,09		63,40	50,98	39,64	
$Q_i K \cos$, кН	186,39	80,00	167,77		61,51	50,19	38,98	1315,36
$T_{iсд} K \cos$, кН	230,43	78,16	162,09		9,29	2,13	—	1003,56

— вычисление расчетных параметров γ_i , c_i , φ_i , сейсмичности K_c , шага поиска орт;

— вывод на печать параметров исходных, расчетных, начального симплекса;

— проектирование исходного ПП насыпи (по типовым решениям), вычисление координат всех контурных точек;

— вычисление координат центра кривой возможного смещения $O_0(x_0, y_0)$, радиуса $R = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$;

— вычисление координат точек мини-матрицы (квадриады) ПКЭ

$$x_e = x_i + \Delta x; \quad y_e = y_i + \Delta y;$$

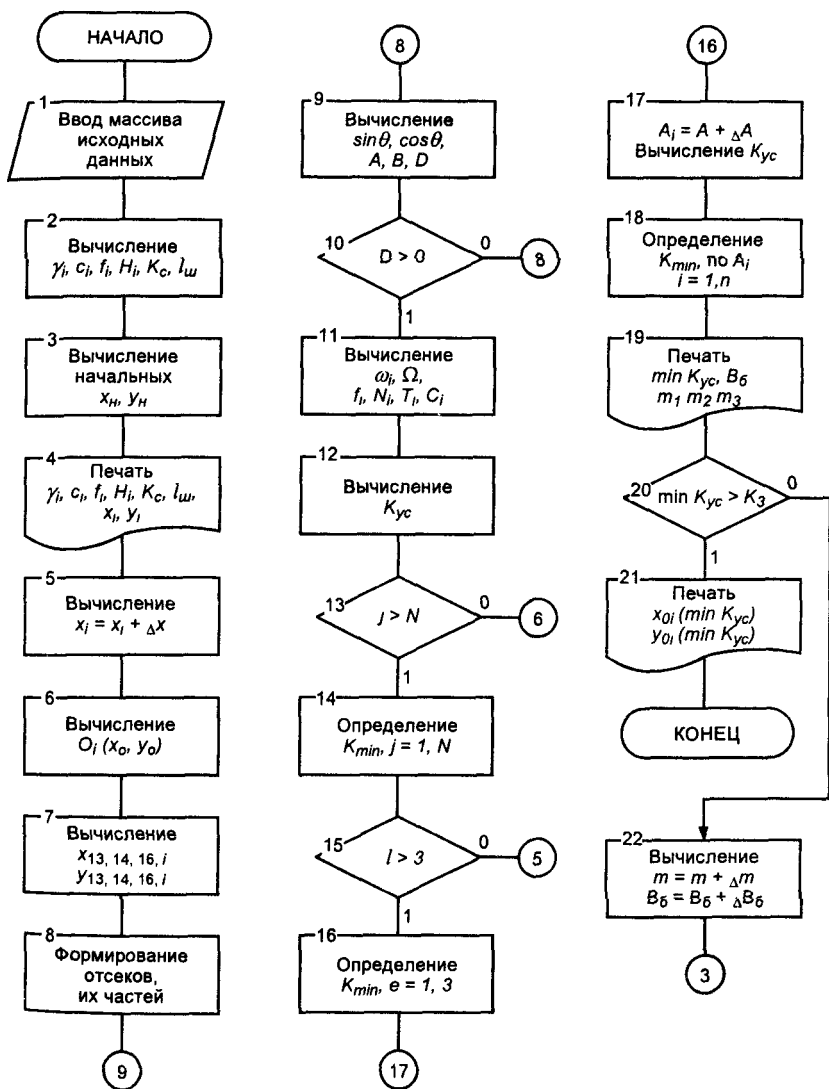


Рис. 6.17. Структурная схема программы OPN

если меньше, выполняется проектирование: уполаживаются откосы, $m = m_H + \Delta m$; увеличивается ширина бермы $B_6 = B_6 + \Delta B_6$ в итерационном цикле до соблюдения заданного условия $K_{ycminmin} > K_3$;

— координаты ПП запроецированной насыпи выводятся на печать.

Сейсмическая сила $Q_c = K_c Q_i$ (K_c — 0,025; 0,050; 0,10 соответственно сейсмической интенсивности 7, 8, 9 баллов)

Задача 6.16. Определить характер гиперповерхности критерия качества при оценке устойчивости откосов ОЗП — коэффициента устойчивости K_{yc}

Решение При исходных значениях размерных параметров H_n , $B_{оп}$, $m_{от}$, геотехнических γ_r , c_r , Φ_r вычисляют некоторое множество значений K_{yc} в координатном поле (регулярной сетки) центров $O_i(x_i, y_i)$ кривых возможного смещения откосов

Вычерчивают изолинии (изогипсы) равных значений функционала K_{yc} , получают гиперплоскость, которая является проекцией гиперповерхности K_{yc}

Построением в трехмерном координатном пространстве получают аксанометрическое изображение гиперповерхности критерия качества устойчивости ОЗП — K_{yc} (рельеф функции в поле скалярных величин K_{yc})

Пример По результатам вычислительных экспериментов — анализа устойчивости откоса выемки получено некоторое множество значений K_{yc} (в координатах регулярной сетки)

На рис 6 18 показана гиперплоскость (проекция) критерия K_{yc} , по которой в трехмерном координатном пространстве получено аксанометрическое изображение гиперповерхности критерия K_{yc}

Оптимальное значение критерия opt — K_{ycmin} соответствует вершине этой выпуклой (вогнутой) гиперповерхности

Стрелками показан путь поиска $K_{opt} = 1,281$ от начального $K_{ycн} = 1,297$ по алгоритму ПКЭ

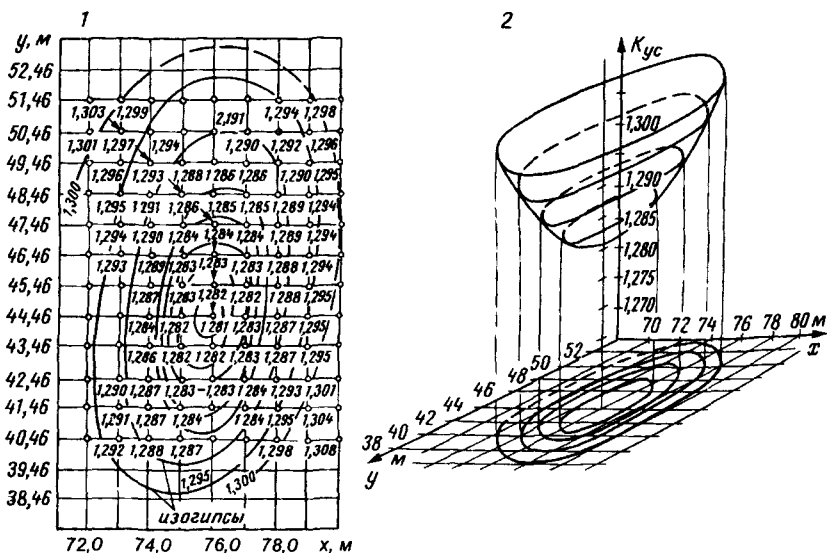


Рис 6 18 1 — гиперплоскость — K_{yc} , 2 — гиперповерхность — K_{yc}

6.4. Расчеты и проектирование насыпей на слабых основаниях

Задача 6.17. Определить оптимальные условия проектирования насыпей на болотах, имеющих большую глубину

Решение Насыпи на болотах рекомендуется проектировать по условиям допустимых упругих осадок [55, 70]

Расчеты насыпей по условию допустимых упругих осадок предусматриваются на болотах I типа глубиной более 4 м, II типа глубиной более 3 м, под второй путь при совмещенном и раздельном земляном полотне, на эксплуатируемых (функционирующих) насыпях (на болотах) при усилении увеличением их высоты

Типовые поперечные профили насыпей на болотах приведены на рис 6 19 (при глубине болот до 3 и 4 м)[70]

— насыпь из дренирующего грунта высотой 1,2-3,0 м на болоте I типа (глубиной до 4 м) с частичным выторфовыванием при поперечном уклоне основания не круче 1 10,

— насыпь из дренирующего грунта высотой более 0,8 м на болоте II типа (глубиной до 3 м) с погружением на минеральное дно болота при поперечном уклоне основания не круче 1 15,

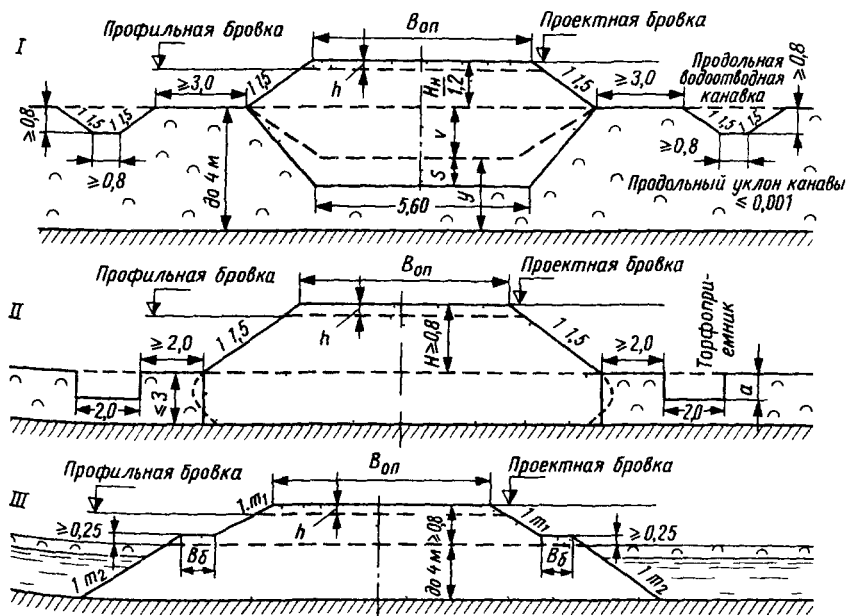


Рис 6 19 Поперечные профили насыпей на болотах I, II и III типов

— насыпь из дренирующего грунта высотой более 0,8 м на болоте III типа (глубиной до 4 м) с погружением на минеральное дно болота и предварительным удалением плавающей торфяной корки.

Примеры расчетов величины упругой осадки насыпи, необходимой глубины выторфовывания, высоты насыпи, величины досыпки насыпи приведены в Методических указаниях [55].

Задача 6.18. Определить осадку насыпи на слабом основании.

Исходные данные: насыпь H_H , $B_{оп}$, $m_{от}$, γ_T , в увлажненном (взвешенном) состоянии $\gamma_{ГВ}$, γ_B ; основание: торф, H_T , γ_T ; подстилающий грунт в плотном состоянии; зависимости $l_p = f(p)$ [87].

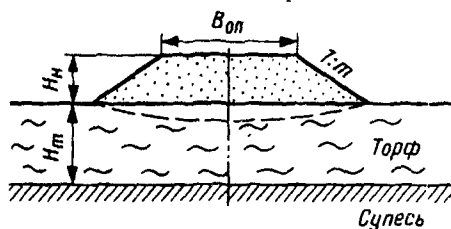


Рис. 6.20. Расчетная схема для определения осадки насыпи на слабом основании

Величина осадки определяется по формуле $S_H = 0,001 \Sigma l_{p2} H_i$
или $S_H = 0,001 l_p H_T$.

Для условий торфяного основания применяется графоаналитический метод расчета.

Искомая S_H определяется на пересечении графиков

$$p_i = f(S) \text{ и } S = f(p_p); \quad p_o = \gamma_T H_T + \gamma_{ГВ} S_H; \quad \gamma_{ГВ} = \gamma_T - \gamma_B.$$

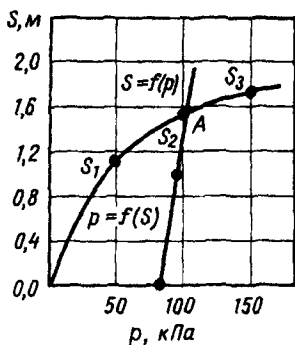


Рис. 6.21. Графики $S=f(p)$,
 $p=f(S)$

Осадки при $p_1 = 50$ кПа $S_1 = 0,001 \cdot 318 \cdot 3,6 = 1,14$ м;
 $p_2 = 100$ кПа $S_2 = 0,001 \cdot 430 \cdot 3,6 = 1,55$ м;
 $p_3 = 150$ кПа $S_3 = 0,001 \cdot 476 \cdot 3,6 = 1,71$ м.

Расчетная схема на рис. 6.20.

Решение. Определяются значения модулей начальной осадки $l_p^{нач}$ для нескольких нагрузок

$$l_p^{нач} = l_1 + 1000 m_p \lg(t_{рас}/t_i),$$

где l_1 — модуль первичной осадки; m_p — консолидационный параметр; $t_{рас}$, t_i — временные периоды расчетной службы, завершения первичной осадки.

Пример. Дано: $H_H = 4,0$ м; $B_{оп} = 7,0$ м; $m_{от} = 1,5$; $\gamma_T = 21,0$ кН/м³; $\gamma_B = 9,81 \approx 10,0$ кН/м³; основание: торф средней зольности, слабоволокнистый, средней влажности, $H_T = 3,6$ м; $\gamma_T = 9,8$ кН/м³; подстилающий грунт — плотная супесь.

Расчетная схема на рис. 6.20.

Решение. При $p_1 = 50$ кПа $l_{p1} = 318$ мм/м; $p_2 = 100$ кПа, $l_{p2} = 430$ мм/м; $p_3 = 150$ кПа, $l_{p3} = 476$ мм/м (по графику $l_{p1} = f(p)$ [87] — прил. 3, рис. 3.1, кривая 3).

При $S_H = 0,0$ м $p_o = 21,0 \cdot 4,0 = 84$ кПа;
 $S_H = 1,0$ м $p_o = 21,0 \cdot 4,0 + (21,0 - 10,0)1,0 = 95$ кПа.

Полученные результаты наносим на график $S = f(p)$ — рис. 6.21.

В точке A пересечения графиков $p = f(S)$ и $S = f(p)$ получаем $S_p = 1,56$ м;
 $p_p = 105$ кПа.

Задача 6.19. Определить размеры боковых пригрузочных берм.

Исходные данные: H_n , $B_{оп}$, $m_{от}$, γ_r , $\gamma_{гв}$; основание — торф: H_t , начальное $c_{тн}$, при полном уплотнении $c_{тп}$, Φ_t ; подстилающие слабые грунты $H_{пн}$, $c_{пн}$, $\Phi_{пн}$, плотные $c_{пг}$. Безопасная нагрузка при быстрой отсыпке $p_{бб}$, при медленной $p_{бм}$, расчетная осадка насыпи S_n .

Расчетная схема на рис. 6.22.

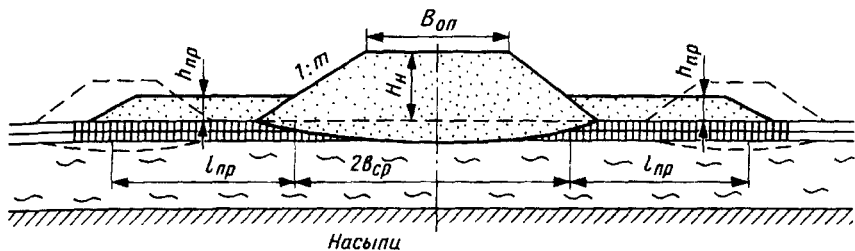


Рис. 6.22. Расчетный поперечник с пригрузочными бермами

Решение. Фактическая нагрузка на основание:

при быстрой отсыпке $p_b = (H_n + S_n)\gamma_r$;

при медленной отсыпке $p_m = H_n\gamma_r + S_n\gamma_{гв}$.

Коэффициенты безопасности:

при быстрой отсыпке $K_{бб} = p_{бб}/p_b$;

при медленной $K_{бм} = p_{бм}/p_m$.

Для обеспечения устойчивости основания должно быть $K_b > 1,0$.

Ориентировочная высота пригрузочных берм, имеющих γ_b

$$h_{пр} = h_b = (p_m + p_{бм})/\gamma_b; \gamma_b < \gamma_r;$$

пропорциональна величинам

$$c_{кон} = c_{пн} + [c_{пг} - c_{пн}]/H_n]h_b; \Phi_{кон} = [(\Phi_{пг} - \Phi_{пн})/H_n]h_b.$$

Максимальная высота пригрузочных берм

$$h_{бmax} = M_\phi c_{кон}/\gamma_b.$$

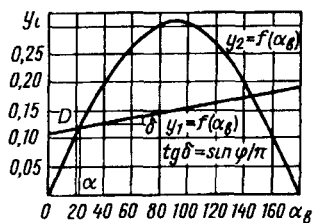
где M_ϕ — функция угла внутреннего трения равна 3,14; 4,20; 5,70; 7,90 соответственно при ϕ — 0°; 10°; 20°; 30°.

Для определения длины пригрузочных берм находят $b_{ср}$ — полуширину проектной насыпи (без пригрузочных берм) по средней линии и углу видимости α_b : $b_{ср} = 0,5(B_{оп} + mH_n)$.

Для определения α_b используются $c_{кон}$, $\Phi_{кон}$ и уравнение

$$\sin\alpha_b/\pi = c_{кон}\cos\Phi_{кон}/p_m + (\sin\Phi_{кон}/\pi)\alpha_b = A_1 + A_2\alpha_b.$$

Строят графики зависимости $y_1 = A_1 + A_2\alpha_b$ и $y_2 = \sin\alpha_b/\pi$ (рис.6.23); в точке D пересечения графиков определяется α_b .

Рис 6 23 Графики $y_1=f(\alpha_B)$

Вычисляется $H_{\max} = b_{\text{ср}}(\cos\alpha_B + 0,8)/\sin\alpha_B$

Рассчитывается ширина пригрузочной бермы (длина бермы)

при $H_{\max} < H_c$

$$l_{\text{пр}} = b_{\text{ср}}[(1 + 0,8\cos\alpha_B)/(0,6\sin\alpha_B) - 1],$$

при $H_{\max} > H_c$

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{b_{\text{ср}}^2 + 2b_{\text{ср}}H_c/\text{tg}\alpha_B - H_c^2} + b_{\text{ср}} + 1,3H_c$$

Здесь H_c — толщина слабых слоев

$$H_c = H_T + H_{\text{пн}}$$

Пример Дано $H_{\text{н}} = 5,0$ м, $B_{\text{оп}} = 7,0$ м, $m_{\text{от}} = 1,5$, $\gamma_{\text{Г}} = 21,0$, $\gamma_{\text{ГВ}} = 11,0$ кН/м³, основание — торф средней зольности, средней влажности, $H_T = 2,0$ м, $c_{\text{ТН}} = 20$ кПа, $c_{\text{ТП}} = 30$ кПа, $\phi_T = 15^\circ$, подстилающие иольдиевые глины, $H_{\text{пн}} = 7,0$ м, $c_{\text{пн}} = 10$ кПа, $c_{\text{пп}} = 18$ кПа, $\phi_{\text{пн}} = 0^\circ$, $\phi_{\text{пп}} = 10^\circ$, плотные грунты — супеси, $c_{\text{пг}} = 100$ кПа. Безопасная нагрузка $p_{66} = 35$ кПа, $p_{6\text{м}} = 80$ кПа. Расчетная осадка насыпи $S_{\text{н}} = 1,0$ м

Решение Определяем фактическую нагрузку на основание

$$p_6 = (5 + 1)21 = 126 \text{ кПа}, \quad p_{\text{м}} = 5 \cdot 21 + 1 \cdot 11 = 116 \text{ кПа}$$

Коэффициенты безопасности

$$K_{66} = 35/126 = 0,278, \quad K_{6\text{м}} = 80/116 = 0,689 < 1,0$$

Устойчивость основания при заданной конструкции насыпи не обеспечивается. Необходимы пригрузочные бермы

Выше уровня воды $\gamma_{\text{ГВ}} = 18$ кН/м³ = γ_6

Ориентировочная высота бермы $h_6 = (116 - 80)/18 = 2,0$ м

$$c_{\text{кон}} = 10 + 2(18 - 10)/5 = 13 \text{ кПа}, \quad \phi_{\text{кон}} = 2(10 - 0)/5 = 4,0^\circ, \quad M_{\phi} = 3,5,$$

$$h_{6\text{max}} = 3,5 \cdot 13/18 = 2,5 \text{ м}, \quad b_{\text{ср}} = (7 + 1,5 \cdot 5)/2 = 7,25 \text{ м}$$

Вычисляем $A_1 = (13 \cdot 0,9976)/116 = 0,112$, $A_2 = 0,0697/\pi = 0,0222$

Составляем уравнения $y_1 = 0,112 + 0,0222\alpha_B$, $y_2 = \sin\alpha_B/\pi$

Вычисляем значения y_2 при различных значениях α_B (от 0 до 180°) и строим график $y_2 = f(\alpha_B)$ и график $y_1 = f(\alpha_B)$ по $y_0 = 0,112$ при $\alpha_B = 0$ и углу δ , тангенс которого $\text{tg}\delta = \sin\alpha_B/\pi = 0,0222$

В точке D пересечения графиков $y_1 = f(\alpha_B)$ и $y_2 = f(\alpha_B)$ определяем $\alpha_B = 21^\circ$ (рис 6 23)

Вычисляем $H_{\max} = 7,25(0,9336 + 0,8)/0,3583 = 35,1 \text{ м} > H_c = 7 + 2 = 9 \text{ м}$

Определяем длину бермы

$$l_{\text{пр}} = (7,25^2 + 2 \cdot 7,25 \cdot 9/0,3838 - 9^2)^{0,5} - 7,25 + 1,3 \cdot 9 = 22,1 \text{ м}$$

Принимаем размеры пригрузочных берм $h_6 = 2,0$ м, $b_6 = 22,0$ м

Задача 6.20. Рассчитать насыпь на слабом основании с усилением песчаными сваями

Исходные данные По насыпи $H_{\text{н}}$, $B_{\text{оп}}$, $m_{\text{от}}$, $p_{\text{н}}$, по основанию $H_{\text{ос}}$, $c_{\text{ф}}$ — полное, $c_{\text{с}}$ — структурное, $\phi_{\text{ф}}$ Предел структурной прочности (при компрессионном сжатии) $p_{\text{стр}}$, относительная осадка λ_0

Коэффициент бокового давления материала свай ξ (для песка крупного 0,33, среднего 0,34, мелкого и пылеватого 0,36) Коэффициент поперечной деформации $\mu_{\text{пл}} = 0,3-0,4$ для глинистого грунта пластичной консистенции, 0,4—0,45 — для текучей

Расчетная схема на рис 6 24 (S_0 , S_t — осадки без свай, со сваями, S_x — боковая деформация свай)

Решение Расчет по определению [87] минимальная величина сближения свай $m_{\text{мс}} = d_c/l_{\text{мс}}$ ($l_{\text{мс}}$ — расстояние между сваями, в свету), при которой коэффициент запаса

$$K_c = 2c\omega \cos\varphi\omega / [(p_z - p_x - p') - (p_z + p_x + p')\sin\varphi\omega] > 1,0,$$

где p_z , p_x — вертикальное, горизонтальное напряжения в грунте межсвайного пространства, p' — предварительное обжатие слабого грунта (при внедрении свай)

Устойчивость проверяется по условиям

$$p_{\text{рс}} < p_{\text{бз}} \text{ — исключение деформации сдвига,}$$

$$p_{\text{рс}} < p_{\text{стр}} \text{ — исключение осадки,}$$

где $p_{\text{рс}} = \gamma H_{\text{н}}$ — расчетная нагрузка на основание,

$$p_{\text{бз}} \text{ — безопасная нагрузка,}$$

$$p_{\text{стр}} \text{ — структурная прочность (при сжатии)}$$

При $\varphi = 0$ и $K_c = 1,0$ первое условие имеет вид $p_z - p_x = 2c_c$

Напряжения p_z , p_x в долях от расчетной нагрузки p_a принимаются по таблицам [87]

*Пример (по ДорНИИ)** Исходные данные Насыпь $H_{\text{н}} = 3,0$ м, $B_{\text{оп}} = 7,0$ м, $m = 2$ Плотность грунта насыпи $\rho_{\text{н}} = 2,0$ т/м³ Основание иольдевые глины, $H_{\text{иг}} = 6,0$ м, полное сцепление $c\omega = 0,015$ МПа (0,15 кгс/см³), структурное $c_c = 0,01$ МПа (0,1 кгс/см³), $\varphi\omega = 0^\circ$, предел структурной прочности $p_{\text{стр}} = 0,04$ МПа (0,4 кгс/см²), $p_{\text{бз}} = 0,33$, относительная осадка (под нагрузкой $p_0 = 0,06$ МПа) $\lambda_0 = 0,10$, коэффициент поперечной деформации $\mu_{\text{пл}} = 0,45$

Решение Проверяем устойчивость по условиям исключения деформации сдвига $p_{\text{рс}} < p_{\text{бз}}$, исключения осадки $p_{\text{рс}} < p_{\text{стр}}$

$$\text{Расчетная нагрузка на основание } p_{\text{рс}} = \gamma H_{\text{н}} = 2 \cdot 9,81 \cdot 3 = 0,06 \text{ МПа}$$

$$\text{Безопасная нагрузка (при } \varphi\omega = 0) p_{\text{бз}} = 0,032 \text{ МПа}$$

Поскольку $p_{\text{рс}} > p_{\text{бз}}$ и $p_{\text{рс}} > p_{\text{стр}}$, то устойчивость не обеспечивается ни по 1-му, ни по 2-му условию

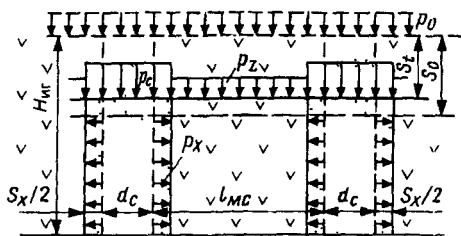


Рис 6 24 Расчетная схема песчаных свай

* Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (КСНП 2 05 02-85)

Рассмотрим вариант усиления основания песчаными сваями диаметром $d_c = 0,3\text{ м}$ при коэффициенте бокового давления песка $\xi = 0,3$.

Первое условие обеспечения устойчивости

$$p_z - p_x = 2c_c = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ МПа.}$$

Допустимая разность главных напряжений в долях от расчетной нагрузки ($p_{pc} = p_0$)

$$(p_z - p_x)/p_0 = 0,02/0,06 = 0,3.$$

При относительной осадке $\lambda = 0,1$ (под нагрузкой $0,06 \text{ МПа}$) определяем величину сближения свай $m_{сб}$ по таблицам [87]

$$m_{сб} = d_c/l_{мс} = 0,2.$$

Для обеспечения второго условия давление на слабый грунт должно быть ограничено величиной $p_{стр} = 0,04 \text{ МПа}$,

в долях от p_0 $0,04/0,06 = 0,67$.

Этой величине по таблицам соответствует сближение $m_{сб} = 0,2$.

Из расчета по обоим условиям принимаем $m_{сб} = 0,2$.

Тогда $l_{мс} = 0,3/0,2 = 1,5 \text{ м}$ и шаг свай $l_{мс} + d_c = 1,5 + 0,3 = 1,8 \text{ м}$.

Задача 6.21. Запроектировать насыпь (на слабых грунтах) на свайно-ростверковом основании.

Решение. Проектирование насыпи на свайно-ростверковом основании выполняется в условиях слабых грунтов на глубину более 4 м и недостатке дренирующего грунта; при пересечении болот глубиной более 4 м и уклоне минерального дна более $1:10$; для второго пути, если насыпь первого не погружена на минеральное дно. Применяются сваи деревянные, железобетонные с железобетонными наголовниками. Расчетом определяются расположение и количество свай при достаточной несущей способности (свай и наголовников).

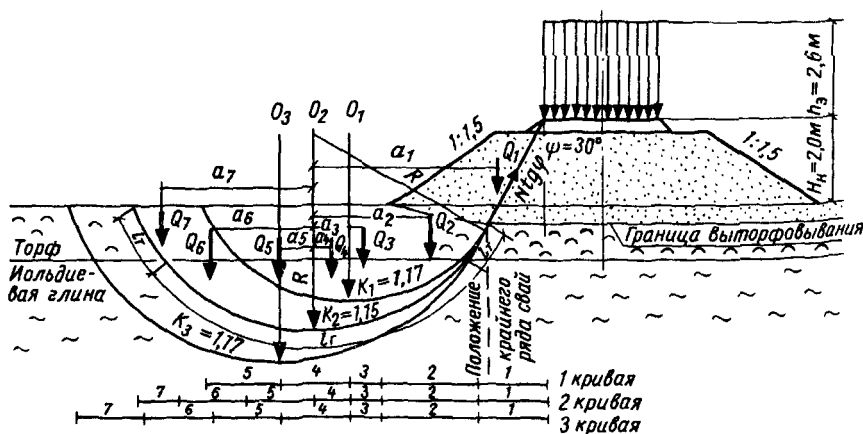


Рис. 6.25. Схема определения расстояния до крайнего ряда свай

Пример (по Ленгипротрансу). Исходные данные. Район Карелии. Насыпь: $H_N = 2,0$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; грунт песчаный $\gamma_n = 17$ кН/м³; во взвешенном состоянии (в воде) 10 кН/м³; $\varphi_n = 30^\circ$; основание: торф $H_T = 1,5$ м; иольдиевая глина $H_{иг} = 5,2$ м, подстилаемая крупным песком. Параметры торфа: $\gamma_T = 8$ кН/м³; $c_T = 12$ кПа; несущая способность $\sigma_d = 66$ кПа; глины: $\gamma_g = 15,5$ кН/м³; $c_g = 4$ кПа; $H_{ув}$ в уровне поверхности болота.

Решение. Конструкция свайно-ростверкового основания: сваи деревянные, наголовники железобетонные.

1. Определение расстояния от оси пути до крайних рядов свай. Расстояние от оси пути до крайних рядов свай определяется расчетом устойчивости внешнего края насыпи, не опертого на наголовники. Расчетная схема на рис. 6. 25. Угол $\varphi = 45 - 30/2 = 30^\circ$; $h_3 = 2,6$ м (на ширину верха балластной призмы).

Коэффициент устойчивости определяется по отношению моментов удерживающих сил и сдвигающих.

Для второй кривой смещения

$$K_2 = \frac{\Sigma M_{уд}}{\Sigma M_{сд}} =$$

$$= (Q_{5a5} + Q_{6a6} + Q_{7a7} + R \Sigma c_i l_i + N \operatorname{tg}(\varphi)) / (Q_{1a1} + Q_{2a2} + Q_{3a3} + Q_{4a4}),$$

где $N = Q_1 \cos \beta$; $\beta = 60^\circ$.

$$K_2 = [81 \cdot 1,0 + 57 \cdot 3,0 + 10 \cdot 4,4 + 5,4(12 \cdot 2,2 + 4 \cdot 9,6) + 44 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 5,4] /$$

$$/(44 \cdot 5,1 + 102 \cdot 3,2 + 37 \cdot 1,4 + 48 \cdot 0,5) = 1,15.$$

2. Расчет свай. Расчетная схема на рис. 6.26

2.1. Определение расстояний между сваями.

Расстояния между гранями наголовников

$$l_N = 0,55 \sqrt{\sigma_d K_{кр} / \gamma_n} = 0,55 \sqrt{66 \cdot 0,5 / 17} = 0,7 \text{ м.}$$

Здесь $K_{кр}$ — коэффициент крепости породы, $K_{кр} = 0,5$.

Принимая $l_N = 0,7$ м определяем высоту свода обрушения

$$h_c = 0,5 l_N / K_{кр} = 0,5 \cdot 0,7 / 0,5 = 0,7 \text{ м.}$$

При размерах наголовника $b \times b = 0,8 \times 0,8$ м расстояние между сваями

$$l_{рс} = l_N + b = 0,7 + 0,8 = 1,5 \text{ м.}$$

2.2. Определение нагрузки на сваю Q_c

$$Q_c = Q_T + Q_n + Q_H,$$

где Q_T — нагрузка от веса грунта; Q_n — от поезда (13 кН); Q_H — от наголовника (3 кН).

$$Q_T = [l_{рс} \cdot l_{рс}(h - h_c) + b \cdot b \cdot h_c] \gamma_n =$$

$$= [1,5 \cdot 1,5(2,9 - 0,7) + 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,7] \cdot 17 = 92 \text{ кН.}$$

Полная нагрузка на сваю $Q_c = 92 + 13 + 3 = 108$ кН.

2.3. Подбор сечения свай

Принимая $d_c = 0,2$ м проверяем по формуле $Q_c / (K_{пи} F_c) < \sigma_{др}$,

где $K_{пи}$ — коэффициент продольного изгиба;

F_c — площадь сечения сваи ($F_c = 0,0314$ м²);

$\sigma_{др}$ — сопротивление древесины сжатию ($\sigma_{др} = 13,0$ МПа);

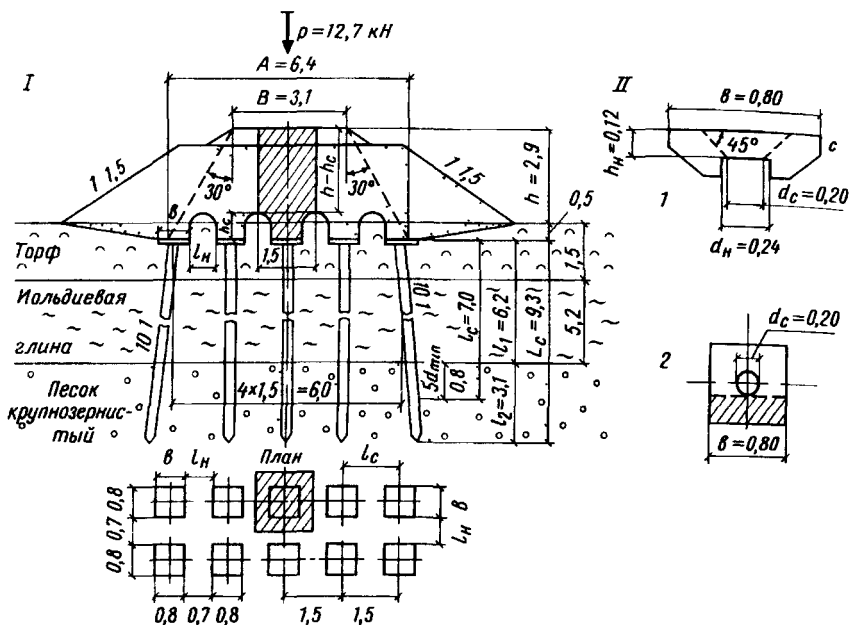


Рис 6 26 Расчетные схемы свай и наголовника I — к расчету свай II — к расчету наголовника 1 — подбор сечения наголовника 2 — подбор арматуры наголовника

$$K_{\text{пн}} = 395d_c^2 l_c^2 = 395 \cdot 0,2^2 / 7,0^2 = 0,32,$$

где l_c — длина сваи от наголовника до горизонта, отстоящего от контакта слабого грунта с подстилающим слоем на $5d_c$ (в верхнем раструбе), $l_c = 7,0$ м

Проверяем по условию $108 / (0,32 \cdot 0,0314) = 10,7 < 13,0$ МПа

Минимальный диаметр сваи (в отрубе)

$$d_{\text{мин}} = d_c - 0,005l_c = 0,2 - 0,005 \cdot 7,0 = 0,16 \text{ м},$$

$$l_1 = l_c - 5d_{\text{мин}} = 7,0 - 5 \cdot 0,16 = 6,2 \text{ м}$$

2.4 Определение длины сваи

Глубина забивки сваи в песчаный грунт определяется итерационно (подбором) по формуле

$$Q_c' = K_{\text{ог}} K_{\text{ур}} (\sigma^{\text{н}} F_c + U_c \sum f_i^{\text{н}} l_i),$$

где $K_{\text{ог}} = 0,7$ — коэффициент однородности грунта, $K_{\text{ур}}$ — коэффициент условий работы, $\sigma^{\text{н}}$ — нормативное сопротивление грунта основания, U_c — периметр сваи, $f_i^{\text{н}}$ — нормативное сопротивление i -го слоя грунта основания по боковой поверхности, l_i — толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи

Примем глубину забивки сваи в песок $l_2 = 3,1$ м

Тогда $Q_c' = 0,7 \cdot 1,0(4100 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 48,5 \cdot 3,1) = 110 > 108$ кН

Полная длина сваи $L_c = l_1 + l_2 = 6,2 + 3,1 = 9,3$ м

3 Расчет наголовника

3.1 Подбор сечения наголовника

Размер плиты $b \times b = 0,8 \times 0,8$ м при $\sigma_{\text{бт}} = 950$ кПа ($M_6 - 300$)

$$d_{\text{н}} = d_{\text{с}} + 0,04 = 0,20 + 0,04 = 0,24 \text{ м,}$$

толщина наголовника

$$h_{\text{н}} = -d_{\text{с}}/2 + b[(0,75\sigma_{\text{бт}}d_{\text{с}}^2 + 1,28Q_{\text{с}})/(3\sigma_{\text{бт}}b^2 + 4Q_{\text{с}})]^{0,5} =$$

$$= -0,2/2 + 0,8[(0,75 \cdot 950 \cdot 0,2^2 + 1,28 \cdot 108)/(3 \cdot 950 \cdot 0,8^2 + 4 \cdot 108)]^{0,5} = 0,12 \text{ м}$$

3.2 Подбор арматуры

Необходимое количество арматуры определяется из условия работы наголовника на изгиб

$$F_{\text{а}} = Q_{\text{с}}(b_{\text{н}} - d_{\text{с}})^2/(7,2 \cdot b\sigma_{\text{а}}h_{\text{р}}),$$

где $h_{\text{р}} = h_{\text{н}} - 0,03$ — рабочая толщина наголовника

$$F_{\text{а}} = 108(0,8 - 0,2)^2/(7,2 \cdot 0,8 \cdot 240000 \cdot 0,09) = 0,0003 \text{ м}^2$$

Принимаем 4 стержня $d_{\text{а}} = 10$ мм, $F_{\text{а}} = 4 \cdot 0,78 = 3,12 \text{ см}^2$

Дополнительно, с использованием компрессионной кривой, выполняется проверочный расчет возможных осадок насыпи (на сваях)

При расчетах свайных оснований под насыпи следует пользоваться СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты

Задача 6.22. Определить зону влияния (глубину безопасности) карстовой полости в гипсоангидридных породах

Исходные данные Удельный вес породы $\gamma_{\text{п}}$, удельное сцепление $c_{\text{п}}$, угол внутреннего трения $\varphi_{\text{п}}$, содержание растворимой породы (минерализация) фактическое $r_{\text{п}}$, максимальное (предельно-возможное) $r_{\text{о}}$, интенсивность развития карстовых пустот (максимальная) $\rho_{\text{о}}$, коэффициент запаса K_3 [80]

Расчетная схема на рис 6.27

Карстовая полость в форме эллиптического параболоида, Z_3 — зона обрушения, Z_0 — высота зоны обрушения над верхом начального положения карстовой полости, X_0 — толщина ненарушенной породы (выдерживающей вес $Q_{\text{ос}}$, $Q_{\text{н}}$, $p_{\text{вс}}$, $p_{\text{п}}$) к исходу t лет эксплуатации, H_0 , $B_{\text{п}}$, $L_{\text{п}}$, $\omega_{\text{п}}$ — высота, длина, площадь полости в плане к исходу t лет

Решение Глубина безопасности [85] $Y_0 = X_0 + Z_0$,

$$X_0 = a/2 + \sqrt{a^2/4 + b},$$

$$Z_0 = Z_3 - H_0 - \rho_{\text{т}}t,$$

где $a = 2[\gamma_{\text{п}}K_3\omega_{\text{п}} - c_{\text{п}}L_{\text{п}}(1 - f_{\text{п}}M)]/(\gamma_{\text{п}}f_{\text{п}}L_{\text{п}}N)$,

$$b = 2K_3Q_{\text{н}}/[\gamma_{\text{п}}f_{\text{п}}L_{\text{п}}\text{tg}^2(45^\circ - \varphi_{\text{п}}/2)]$$

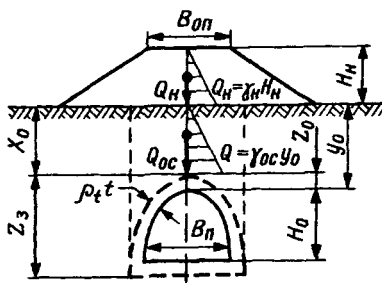


Рис 6.27 Расчетная схема карстовой полости

$$\text{Параметры} \quad M = (2\text{tg}\beta + \text{ctg}\beta - f_{\text{п}})/(1 - f_{\text{п}}^2 + 2f_{\text{п}}\text{tg}\beta);$$

$$N = (1 - f_{\text{п}}\text{ctg}\beta)/(1 - f_{\text{п}}^2 + 2f_{\text{п}}\text{tg}\beta).$$

$$\text{Здесь } \text{tg}\beta = f_{\text{п}} + \sqrt{0,5(1 + f_{\text{п}}^2)}.$$

Толщина слоя, растворяемого водой за год

$$p_t = [(r_o - r_n)^2 / r_o] \rho_o.$$

Задача 6.23. Определить размеры карстового провала в плане.

Исходные данные: ширина $B_{\text{п}}$, глубина дна $H_{\text{п}}$ карстовой полости.

Расчетная схема на рис. 6.28.

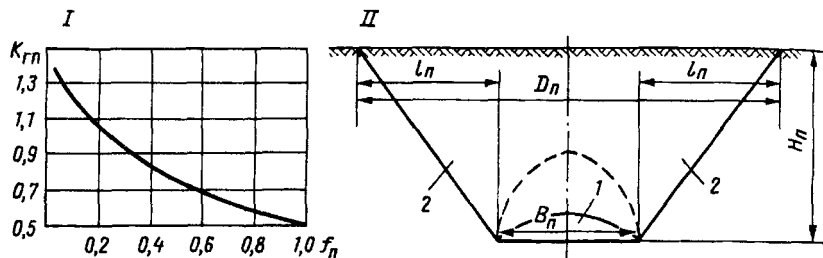


Рис 6.28. К расчету карстового провала: I — график $K_{\text{ГП}} = \psi(f_{\text{п}})$, II — разрез провала: 1 — карстовая полость, 2 — расчетный контур обрушения

Решение. Ширина карстового провала (диаметр воронки)

$$D_{\text{п}} = B_{\text{п}} + 2l_{\text{п}},$$

где $l_{\text{п}}$ — расстояние (на уровне поверхности земли в плане) от края карстовой полости до контура провала $l_{\text{п}} = K_{\text{ГП}}H_{\text{п}}$.

Коэффициент $K_{\text{ГП}}$, учитывающий свойства горной породы, определяется по графику $K_{\text{ГП}} = \psi(f_{\text{п}})$, где $f_{\text{п}} = \text{tg}\varphi_{\text{п}}$.

Площадь карстовой воронки $F_{\text{кв}} = 0,25\pi D_{\text{п}}^2$.

Пример. Дано: $B_{\text{п}} = 12$ м; $\varphi_{\text{п}} = 34^\circ$; $H_{\text{п}} = 27$ м.

Расчетная схема и график $K_{\text{ГП}} = \psi(f_{\text{п}})$ на рис. 6.28.

Решение. $f_{\text{п}} = \text{tg}34^\circ = 0,675$.

По графику $K_{\text{ГП}} = \psi(f_{\text{п}})$ $K_{\text{ГП}} = 0,66$.

Вычисляем $l_{\text{п}} = 0,66 \cdot 27 = 17,8$ м; размер провала $D_{\text{п}} = 12 + 2 \cdot 17,8 = 47,6$ м.

Площадь карстовой воронки $F_{\text{кв}} = 0,25 \cdot \pi \cdot 47,6^2 = 1780$ м².

Задача 6.24. Рассмотреть особенности конструкций ОЗП в условиях вечномёрзлых грунтов.

Решение [38]. СНиП 2.02.03-85. Высота насыпей определяется с учетом осадки, возникающей за счет деформирования грунтов основания

$$S = S_{\text{д}} + S_{\text{о}} = S_{\text{с}} + S_{\text{з}},$$

где $S_{\text{д}}$ — величина осадки насыпей (и ОП выемок), возникающей в результате деформирования грунтов деятельного слоя;

S_0 — величина осадки, возникающая в результате оттаивания вечномерзлых грунтов основания;

S_c, S_3 — осадки, завершающиеся в строительный, эксплуатационный периоды.

$$S_d = \sum \eta_i h_{di}$$

где η_i — модуль осадки (относительная осадка), h_{di} — толщина i -х слоев.

$$S_0 = \eta_0 h_0$$

где η_0 — относительная осадка оттаивающих вечномерзлых грунтов; h_0 — расчетная величина понижения поверхности вечномерзлых грунтов основания.

Ширина ОП на уровне профильной бровки увеличивается на $\Delta B = 3S_3$.

Выемки, как правило, устраиваются с противодеформационными подушками и имеют особенности конструкций в зависимости от состояния грунтов, наличия подземных льдов, гидролоккалитов.

При возведении насыпей из мерзлого грунта эффективны обоймы из геотекстиля, армирующих сеток, селективные покрытия и уположения откосов, геотехнические решетки для ОП и тела насыпи, ковры из геотекстиля (сотовые и др.) для откосов, предупреждения их термоэрозии-суффозии-абразии.

Пример. Поперечные профили выемок (рис. 6. 29) в глинистых грунтах, переходящих при оттаивании в текучепластичное и текучее состояния ($I_L \geq 0,75$).

Вариант I — с покрытием откосов термоизоляцией: 1 — растительный грунт с посевом трав; 2 — местный грунт; 3 — железобетонные плитки, лотки, полутрубы; 4 — теплоизолирующий слой (торф и др.).

Вариант II — с покрытием дренирующими, крупнообломочными грунтами — 1 и дренажными трубами — 2 (h_B — глубина вырезки).

Вариант III — с лотками — 1, подушкой из песка, гальки, гравия — 2, укреплением откосов — 3.

Вариант IV — выемки, прорезающей слой подземного льда: 1 — откос не круче 1:1,5; 2 — грунт замены, 3 — расстояние до поверхности слоя льда (не менее двойной глубины оттаивания грунта замены), 4 — лед.

В подбалластной зоне подушками из дренирующих материалов, теплоизолирующими покрытиями из пенопластов пучинистые грунты полностью (или частично) выводятся из зон промерзания и оттаивания. Для сохранения (консервации) мерзлоты в откосах ОЗП используются конвекционные обсыпки откосов крупным камнем (каменные наброски), охлаждающие установки или системы с термосифонными, полами, коробчатыми и другими конструкциями, защитные экраны от солнечной радиации. Возможно применение установок, например, СОУ, охлаждающих (замораживающих) грунт за счет циркуляции газа (фриона) или жидкости в коаксиальных двух- или многотрубных жидкостных конструкциях.

Методики расчета местной устойчивости откосов выемок, уположения откосов (до 1:3), минимальной высоты насыпи по условию допустимых

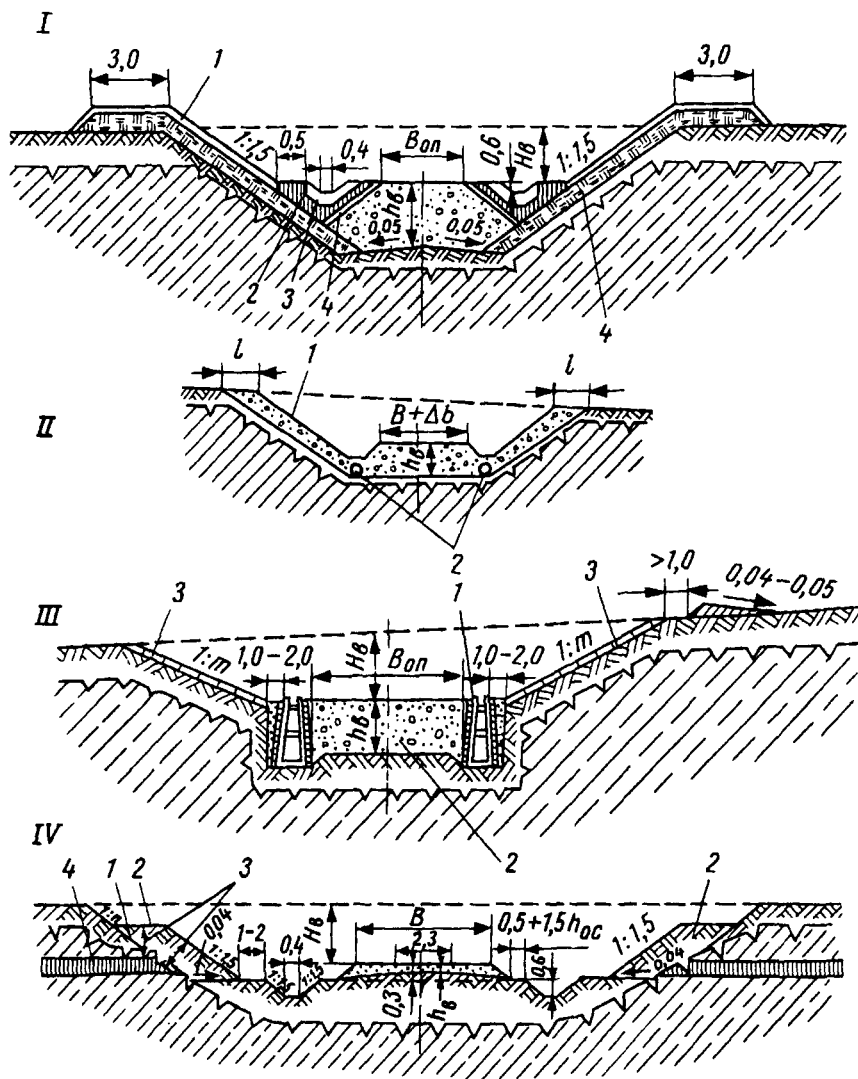


Рис. 6.29. Поперечные профили выемок в условиях вечномёрзлых грунтов

упругих осадок λ_{oc} основания изложены в ВСН 61-89 [38]. Минимальная H_H определяется по условию

$$\lambda_{oc} = f(R_H, \sigma_H, \sigma_T) \leq |\lambda_{oc}|,$$

где R_H — размерные параметры;

σ_H — напряжения в насыпи;

σ_T — модуль сдвига торфяного грунта.

В насыпях предусматривается запас на величину прогнозируемой осадки или уширение ОП для последующей подъемки на балласт. Возведение насыпей из твердомерзлых грунтов в обоймах из геотекстиля повышает их устойчивость в период термодинамической стабилизации. При осадках термокарстовые понижения заполняются заторфованным грунтом. Устраиваются дренажи и каптажи для регулирования подземного стока [40]. Противоналедные меры в кн. «Борьба с наледями на железных и автомобильных дорогах».

Задача 6.25. Рассчитать укрепление откоса выемки обсыпками из дренирующего крупнообломочного грунта (в условиях вечной мерзлоты).

Исходные данные: H_B , величина деятельного слоя h_d ; характеристики грунта: ρ_r , c_r , Φ_r ; дренирующего материала обсыпки: ρ_d , Φ_d ; показатели крутизны поверхности обсыпки m , откоса n .

Расчетная схема на рис. 6.30.

Решение. Для обеспечения местной устойчивости откоса в оттаивающих вечномерзлых грунтах (с учетом предотвращения эрозионных деформаций) расчет обсыпки выполняется в такой последовательности: определяются

вертикальная составляющая обсыпки $h_B = h_d \sqrt{1 + m^2}/m$;

масса упорного блока $q_{yб} = \rho_d m h_B^2/2$;

масса оползневого блока $G = \rho_r m H_B h_B - q_{yб}$;

величина сдвигающего усилия $T = G(1 - mtg\Phi_r)/\sqrt{1 + m^2} - c_r H_B \sqrt{1 - m^2}$;

обобщенный угол внутреннего трения грунта и насыпи

$$tg\Phi_k = mT/(q_{yб}\sqrt{1 + m^2} + T);$$

величина заложения упорной призмы

$$l_{yn}' = m h_B \sqrt{(tg\Phi_k - tg\Phi_r)/(tg\Phi_d - tg\Phi_r)}.$$

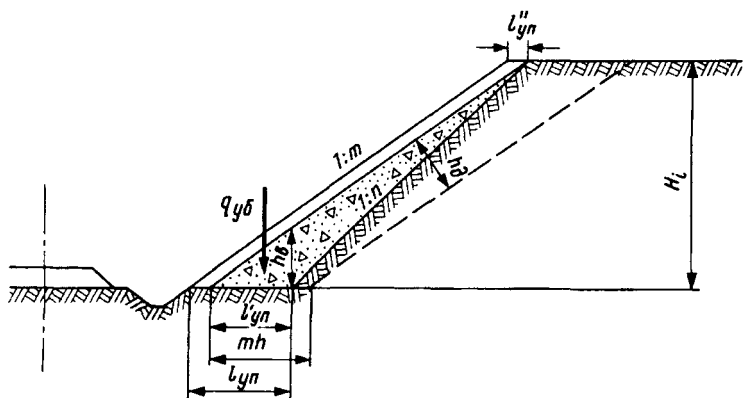


Рис. 6.30. Расчетная схема обсыпки откоса

С учетом ширины присыпки на уровне откосной бровки $l_{уп}'' = 0,2-0,3$ м полная ширина упорной призмы принимается $l_{уп} = l_{уп}' + l_{уп}''$.

Пример по [38]. Исходные данные $H_B = 7,5$ м, $h_d = 1,4$ м; $\rho_r = 2$ т/м³; $\text{tg}\varphi_r = 0,2$; $c_r = 3$ кПа, материал обсыпки — древесно-щебеночный грунт $\rho_d = 2$ т/м³; $\text{tg}\varphi_d = 0,75$.

Расчетная схема на рис 6.30

Результаты расчета: для уровней $H_B = 3,0; 5,0, 7,5$ м величина $l_{уп}'$ получена соответственно равной 1,44, 2,21, 2,65 м (по высоте откоса H_1).

При обсыпках (покрытии) гравийно-галечниковым материалом (0,2—0,3 м) водоотводных канав они сначала заполняются этим материалом, а затем в канавах профилируют проектный ПП [5]

6.5 Расчеты объектов в условиях водотоков, водоемов

Задача 6.26. Для берегов горных рек вдоль железнодорожного пути (долинная трасса) предложить защитные конструкции.

Решение. Для защиты берегов горных рек от размывов, подмывов и разрушения при большом расходе и скоростях течения воды (в периоды интенсивного снеготаяния и ливневых дождей) рекомендуются (рис. 6.31):

бетонная облицовка, сборно-монолитные стены (с зубом), подпорно-оседающие стены, скользящие массивы, гибкие сквозные берегозащитные шпоры из бетонных косоугольных массивов, а также ряжи из железобетонных шпал, заполняемые камнем, защитные полосы из рядов тетраэдров, тетраподов и другие.

Для защиты речных берегов и восстановления окружающей среды в Италии и других странах широко применяют габионные конструкции и/или облицовки (масса *fergi*), покрытия из матрацев Рено, оцинкованные пластифицированные металлические сетки с двойным кручением в сочетании с геосетками и гидропосевом трав, которые предотвращают разрушение берегов, откосов, склонов, эрозию, абразивный износ и позитивно влияют на экосистему рек и природный пейзаж, чему способствуют также биоинженерные мероприятия.

При крутых склонах, сложенных скальными породами, вдольбереговые насыпи могут иметь конструкцию прислоненных к косогору. Возможно смещение насыпи в русло реки с отсыпкой скальными глыбовыми, валунными камнями, крупнообломочными грунтами.

Задача 6.27. В условиях морской акватории предложить защитные конструкции от волнового воздействия и способствующие формированию пляжа.

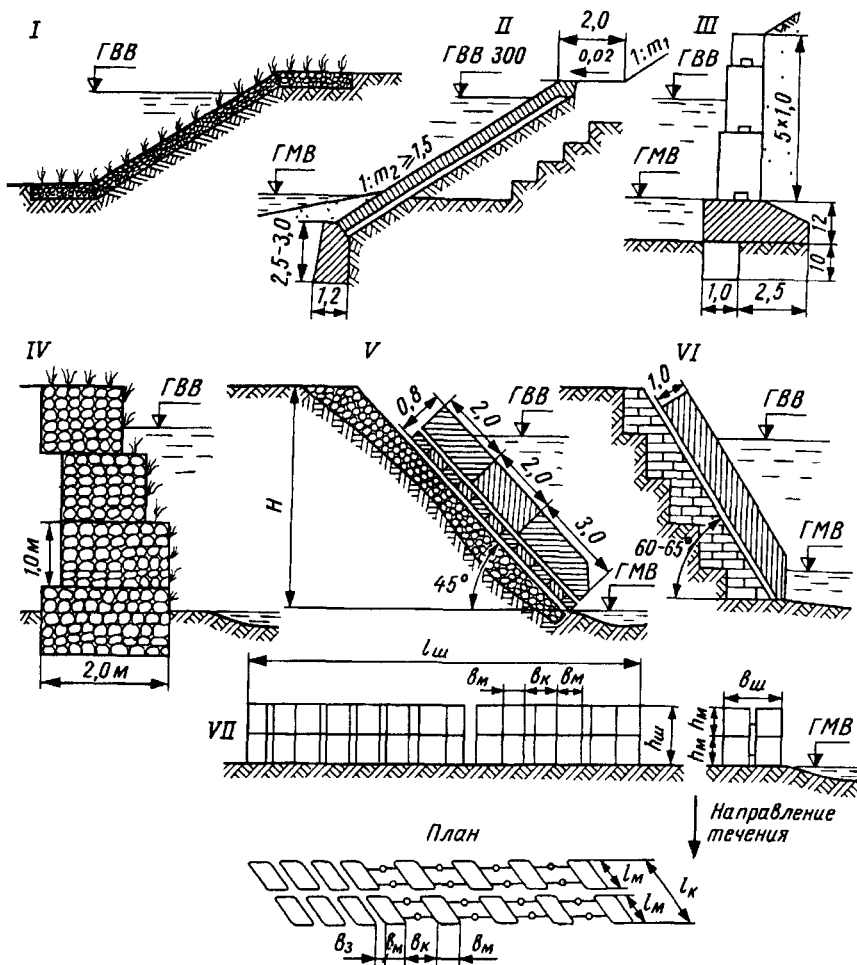


Рис 6.31 Защитные сооружения на горных реках I — покрытие матрацами Рено, II — бетонная облицовка, III — сборно-монолитная стена (с зубом), IV — габионная конструкция, V — скользящий массив, VI — подпорнооседающая стена, VII — гибкая сквозная берегозащитная шпора из бетонных косоугольных массивов

Решение. Для защиты морского берега подгорного склона, на котором размещается земляное полотно железнодорожного пути рекомендуются (рис. 6.32) волноотбойные стены, волногасящие, волноломы с траверсами, наброски из тетраподов, тетраэдров.

Эффективными для предохранения берегов от разрушения морскими волнами являются пологие пляжи, при накате волн на которые гасится волновое давление (и ударная сила), искусственные свободные песчаные,

песчано-галечниковые, галечниковые пляжи, а также формируемые (волно-гасящие бермы) из горной массы [105]

Для накопления пляжного материала у береговой полосы рекомендуются буны различной конструкции из гравитационных массивов (на каменной постели), тонкостенной конструкции с промежуточными опорами на колонках-оболочках (рис 6 32) и другие

Эффективными для накопления и удержания пляжа являются конструкции, устанавливаемые в море продольно береговой линии, Т и Г-образно, сплошные и с разрывами, ниже (подводные) и выше уреза воды

Задача 6.28. Рассчитать пляжевый откос насыпи (образуемый при гидронамыве), определить крутизну волноустойчивого неукрепленного откоса пойменной насыпи из песчаного грунта (профиля динамического равновесия)

Исходные данные параметры насыпи — $H_n, B_{оп}$, волны — λ_b, h_b , грунта — размеры d_i , содержание фракций g_i , угол естественного откоса (намытого грунта) $\Phi_{нг}$

Расчетная схема на рис 6 33

Решение Крутизна откоса определяется из условия общей устойчивости насыпи и волноустойчивости откоса

Общая устойчивость насыпи из несвязных грунтов достигается при крутизне откосов, приведенных в табл 6 8

Таблица 6 8

Крутизна устойчивых откосов (m)

Грунт	Высота насыпи H_n , м		
	до 6	6—12	12—25
Песчаный	3,5	5,0	7,0
Гравийный	1,5	2,0	3,0
Песчано-гравийный	2,5	3,5	5,0

Волноустойчивость неукрепленного пляжевого откоса (образующегося при свободном растекании гидросмеси) обеспечивается в условиях динамического равновесия в зоне волнового воздействия. Оценку параметров динамически устойчивого при воздействии волн поперечного профиля неукрепленного (пляжевого) откоса насыпи из песчаного грунта можно выполнить согласно СНиП 2 06 05-84 по формулам

$$m_{от} = m_0 + K_{\lambda} [h_b (\lambda_b / h_b)^{0,33} / d_{ср}]^{0,5},$$

где $m_{от}$ — крутизна (коэффициент) откоса,

m_0 — крутизна естественного откоса грунта насыпи под водой $m_0 = \operatorname{tg} \Phi_{нг}$,

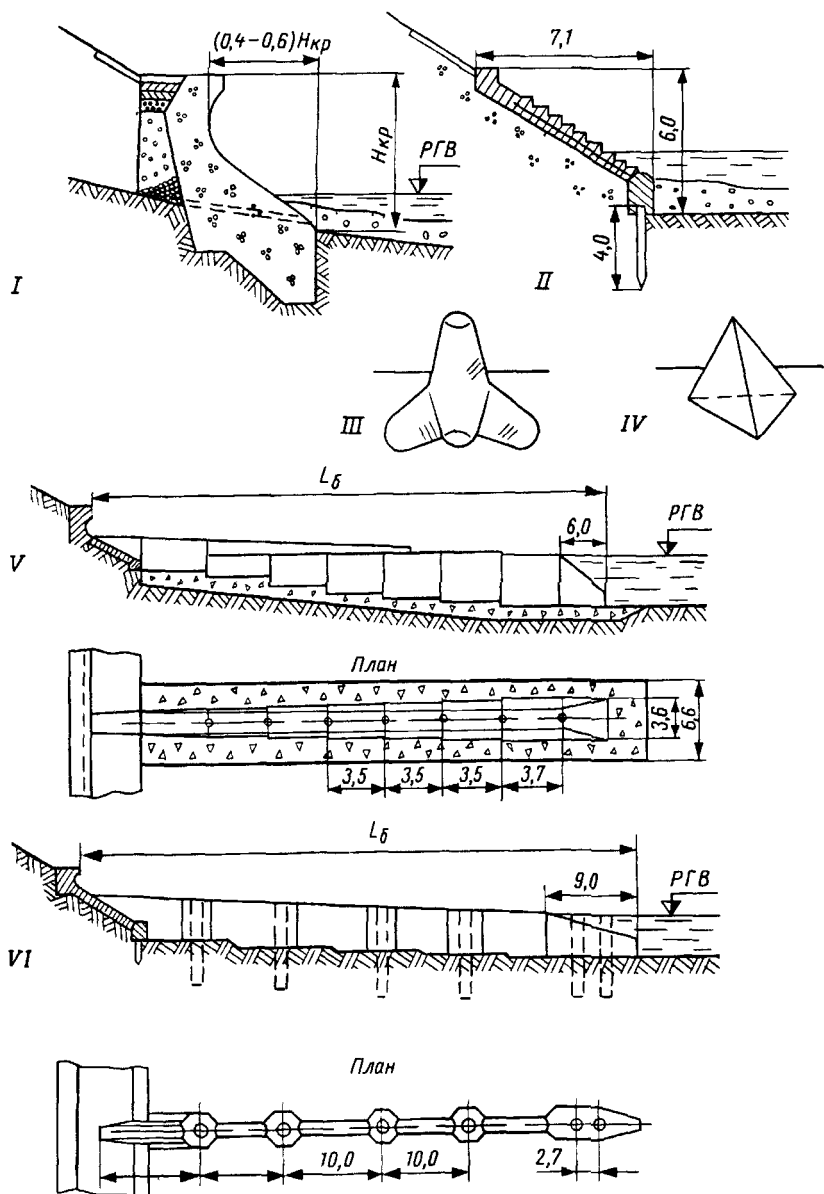


Рис 6 32 Защитные сооружения от волновых воздействий I — волноотбойная стена, II — волногасящая стенка, III — тетрапод IV — тетраэдр, V — буна из гравитационных массивов (на каменной постели), VI — буна тонкостенной конструкции с промежуточными опорами на колонках-оболочках

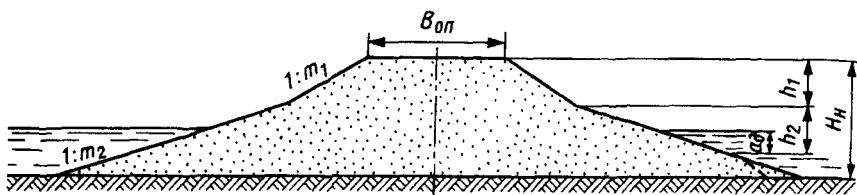


Рис. 6.33. Расчетная схема пляжевых откосов

d_{cp} — средневзвешенный размер частиц песка $d_{cp} = \Sigma(d_i g_i / 100)$, где d_i, g_i — размер фракций, доля их (%) по массе;

$K\lambda = 0,37$ для подводной части на высоту h_2 ; $0,17$ — для надводной части h_1
 $h_1 = 0,028(h_B \lambda_B / d_{cp}^{0,5})^{0,67}$; $h_1 \geq 0,5h_B$.

Подводная часть зоны динамического взаимодействия равна $a_d = 0,4h_2$.

При формировании пляжевых откосов гидромеханизацией эффективно применение полимерных добавок: ПАВ, ПАА и др. [94].

Задача 6.29. Определить размеры поперечного сечения прямоугольной безнапорной фильтрующей насыпи (ФН).

Исходные данные. Грунт основания, уклон лога i_n ; форма, средний размер камня d_{cp} , пористость наброски n_n ; высота насыпи H_H , ширина ОП $B_{оп}$, крутизна откоса m ; расход воды фильтрационного потока Q_ϕ .

Расчетные схемы на рис 6.34, 6.35 — ФН [38, 71, 85].

Решение. Определяется длина фильтрующей части насыпи

$$L_\phi = B_{оп} + 2mH_H;$$

коэффициент устойчивости основания K_{y_0} (табл. 1 прил.6.2).

Принимается глубина воды перед насыпью h_B по условию

$$H_{бр} - 0,5 \geq h_B \leq L_\phi / K_{y_0}; H_{бр} = H_H.$$

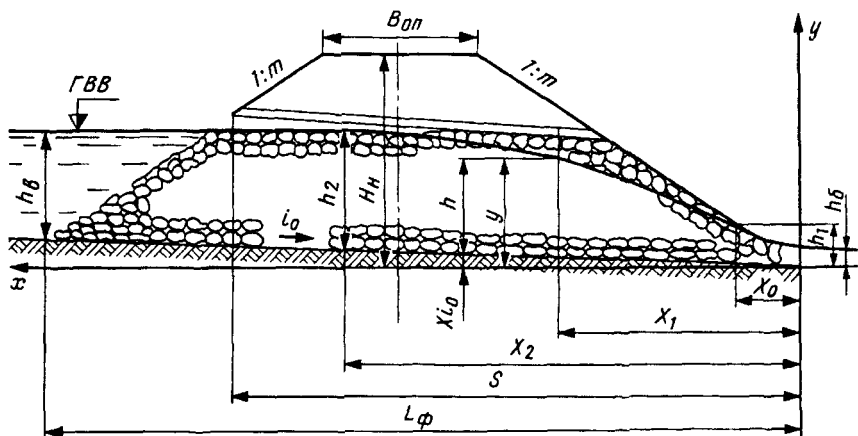


Рис. 6.34. Схема гидравлического расчета фильтрующих насыпей

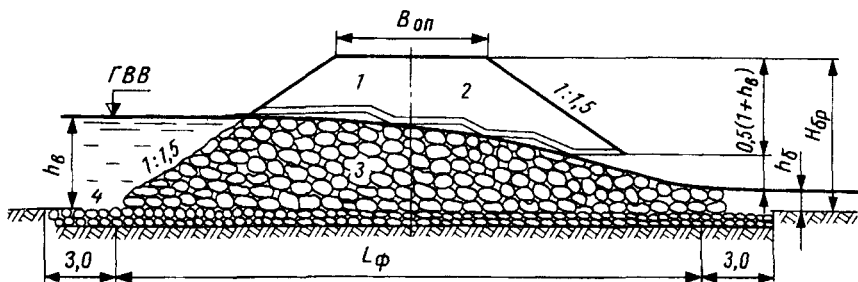


Рис. 6.35. Схема безнапорной фильтрующей насыпи: 1 — грунтовая часть; 2 — изолирующий слой; 3 — фильтрующая часть; 4 — укрепление основания

Определяется величина $S = L_{\phi} - mh_{\text{в}}$;

функция $A(\eta_{\text{в}}) = i_{\text{п}}S/h_{\text{в}}$; $\eta_{\text{в}}$, $K_{\text{фн}}$ по табл. 2, 3 (прил. 6.2).

На выходе из насыпи $h_{\text{р}} = 0,54 \sqrt[3]{h_{\text{в}}^2 K_{\text{фн}}^2 i_{\text{п}} / (\eta_{\text{в}}^2 n_{\text{н}}^2)}$.

Принимается вид укрепления русла и допустимая скорость течения воды $U_{\text{д}}$.

Определяются расчетная площадь живого потока на выходе фильтрующей насыпи $\omega_{\text{р}} = 1,9Q_{\phi}/(n_{\text{н}}U_{\text{д}})$.

Ширина каменной наброски $b_{\text{н}} = \omega_{\text{р}}/h_{\text{р}}$;

высота фильтрующей части насыпи

в верхнем бьефе $h_{\text{фв}} = h_{\text{в}} + 0,5$ м;

в нижнем бьефе $h_{\text{фн}} = h_{\text{в}}/2 + 0,5$ м.

Пример. Дано: грунт — суглинок, $i_{\text{п}} = 0,02$; камень округлой формы $d_{\text{ср}} = 0,35$ м, $n_{\text{н}} = 40\%$; $H_{\text{н}} = 5,3$ м; $B_{\text{оп}} = 6,5$ м; $m = 1,5$; $Q_{\phi} = 3,6$ м³/с.

Расчетные схемы на рис. 6.34, 6.35; $h_{\text{б}}$ — бытовая глубина потока.

Решение. Определяем длину $L_{\phi} = 6,5 + 2 \cdot 1,5 \cdot 5,3 = 22,4$ м.

Коэффициент при обратном фильтре $K_{\text{уо}} = 3,0$ (табл. 1 прил. 6.2).

Глубина воды перед насыпью $5,3 - 0,5 = 4,8 \geq h_{\text{б}} \leq 22,4/3 = 7,5$ м.

Принимаем $h_{\text{в}} = 3,0$ м в целях уменьшения площади затопления местности.

Определяем $S = 22,4 - 1,5 \cdot 3 = 17,9$ м; $A(\eta_{\text{в}}) = 0,02 \cdot 17,9/3 = 0,1193$;

$\eta_{\text{в}} = 0,5 + [(0,55 - 0,50)/(0,1251 - 0,0986)](0,1193 - 0,0986) = 0,539$.
(табл. 3 прил. 6.2).

При $n_{\text{н}} = 40\%$, $d_{\text{ср}} = 0,35$ м коэффициент $K_{\text{фн}} = 0,46$ (табл. 2 прил. 6.2).

Глубина потока $h_{\text{р}} = 0,54[3^2 \cdot 0,46^2 \cdot 0,02 / (0,539^2 \cdot 0,4^2)]^{0,333} = 0,51$ м.

Принимаем укрепление русла каменным мошением ($U_{\text{д}} = 3,0$ м/с), каменной наброской.

Определяем площадь $\omega_{\text{р}} = 1,9 \cdot 3,6 / (0,4 \cdot 3,0) = 5,7$ м²;

ширину каменной наброски $b_{\text{н}} = 5,7/0,51 = 11,2$ м;

высоту фильтрующей части насыпи

в верхнем бьефе $h_{\text{фв}} = 3,0 + 0,5 = 3,5$ м;

в нижнем бьефе $h_{\text{фн}} = 3,0/2 + 0,5 = 2,0$ м.

Задача 6.30. Определить размеры поперечного сечения прямоугольной напорной фильтрующей насыпи (ФН).

Исходные данные. Грунт основания, уклон лога $i_{\text{л}}$; форма, средний размер камня $d_{\text{ср}}$, пористость наброски $n_{\text{н}}$; высота насыпи $H_{\text{н}}$, ширина ОП $B_{\text{оп}}$, крутизна откоса m ; расход воды фильтрационного потока $Q_{\text{ф}}$.

Расчетная схема гидравлического расчета фильтрующей насыпи на рис. 6.36. — ФН.

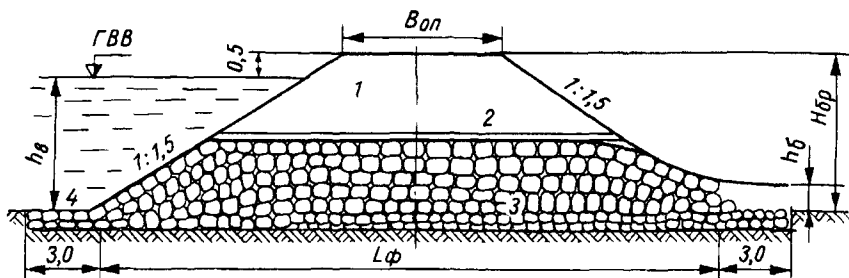


Рис 6.36 Схема напорной фильтрующей насыпи: 1 — грунтовая часть, 2 — изолирующий слой, 3 — фильтрующая часть, 4 — укрепление основания

Решение. Назначается глубина воды $h_{\text{в}}$ перед насыпью из условий не затопляемости бровок (левая часть неравенства), устойчивости основания (правая часть неравенства)

$$H_{\text{бр}} - 0,5 \geq h_{\text{в}} \leq L_{\text{ф}}/K_{\text{уо}}; \quad H_{\text{бр}} = H_{\text{н}},$$

где $K_{\text{уо}}$ — коэффициент устойчивости основания (табл. 1 прил. 6.2).

Длина фильтрующей части насыпи $L_{\text{ф}} = B_{\text{оп}} + 2mH_{\text{бр}}$.

Определяются: гидравлический уклон потока

$$I_{\text{Г}} = (h_{\text{в}} + h_{\text{б}})/L_{\text{ф}} + i_{\text{л}};$$

где $h_{\text{б}}$ — бытовая глубина потока;

площадь живого сечения

$$\omega_{\text{р}} = Q_{\text{ф}}/(K_{\text{фн}}\sqrt{I_{\text{Г}}}),$$

где $K_{\text{фн}}$ — коэффициент фильтрации каменной наброски (табл. 2 прил. 6.2).

Принимая ширину фильтрующей насыпи $b_{\text{н}}$, определяется высота фильтрующей насыпи $h_{\text{ф}} = \omega_{\text{р}}/b_{\text{н}}$.

Тип укрепления русла выбирается по допустимой скорости фильтрационного потока

$$v_{\text{ф}} = 1,9Q_{\text{ф}}/(n_{\text{н}}\omega_{\text{р}}).$$

Пример. Дано: грунт — суглинок, $i_{\text{л}} = 0,02$; камни угловатой формы $d_{\text{ср}} = 0,40$ м; $n_{\text{н}} = 50\%$; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $H_{\text{н}} = 5,7$ м; $m = 1,5$; $Q_{\text{ф}} = 5,3$ м³/с.

Расчетная схема на рис. 6. 36 — ФН.

Решение. Для условий устойчивого основания с обратным фильтром $K_{\text{уо}} = 3,5$ (табл. 1 прил. 6.2),

$$L_{\text{ф}} = 6,0 + 2 \cdot 1,5 \cdot 5,7 = 23,1 \text{ м.}$$

Глубина воды перед насыпью $5,7 - 0,5 = 5,2 \geq h_{\text{в}} \leq 23,1/3,5 = 6,6 \text{ м}$;
принимаем $h_{\text{в}} = 5,0 \text{ м}$.

Гидравлический уклон потока (пренебрегая $h_{\text{б}}$)

$$I_{\text{д}} = 5,0/23,1 + 0,02 = 0,24.$$

$K_{\text{фн}} = 0,62$ (табл. 2 прил. 6.2).

Площадь живого сечения $\omega_{\text{р}} = 5,3 / (0,62\sqrt{0,24}) = 17,45 \text{ м}^2$.

Принимаем $b_{\text{н}} = 5 \text{ м}$; определяем $h_{\text{ф}} = 17,45/5,0 = 3,49 \text{ м}$.

Расчетная скорость фильтрационного потока

$$v_{\text{ф}} = 1,9 \cdot 5,3 / (17,45 \cdot 0,5) = 1,15 \text{ м/с.}$$

Принимаем укрепление русла – мощение камнем, каменной наброской.

6.6. Расчеты объектов в горных условиях

Задача 6.31. В горных условиях рассмотреть особенности конструкций ОЗП и предложить конструкции удерживающих и противообвальных сооружений.

Решение. На косогорных участках (при крутизне от 1:5 до 1:3) на основании насыпи нарезаются уступы (рис. 6.37-I).

Выемки глубиной от 6 до 12 м при поперечном уклоне местности не круче 1:2 в скальных легковыветривающихся породах проектируются с откосами крутизной 1:0,5-1:1,5 и заюветными полками шириной 2 м (рис. 6.37-II);

выемки глубиной от 6 до 12 м при поперечном уклоне местности не круче 1:3 в скальных слабывветривающихся породах проектируются с откосами крутизной 1:0,5, нишами и камерами в откосах для укрытия (и размещения путевого инструмента и механизмов, рис. 6.37-III).

В качестве удерживающих сооружений рекомендуются (рис. 6.38) контрфорсы, контрбанкеты, упорные призмы, подпорные стены. Для нагорной стороны защитными могут быть одевающие (облицовочные), подпорные стены (сборные и монолитные).

В качестве улавливающих (для камнепадов, осыпей) сооружений (рис. 6. 38) можно рекомендовать улавливающие рвы, траншеи, кюветы-траншеи, стенки (с амортизирующей отсыпкой), канавы-валы, сетчатые, барьерные, сборные рамно-решетчатые (железобетонные) заграждения, лесонасаждения на нагорном склоне, а также барражные стены, надолбные поля, каскады сооружений.

Надежным защитным сооружением для движения поездов в горных условиях являются галереи для одного пути, двух (например, консольные), с амортизирующей отсыпкой.

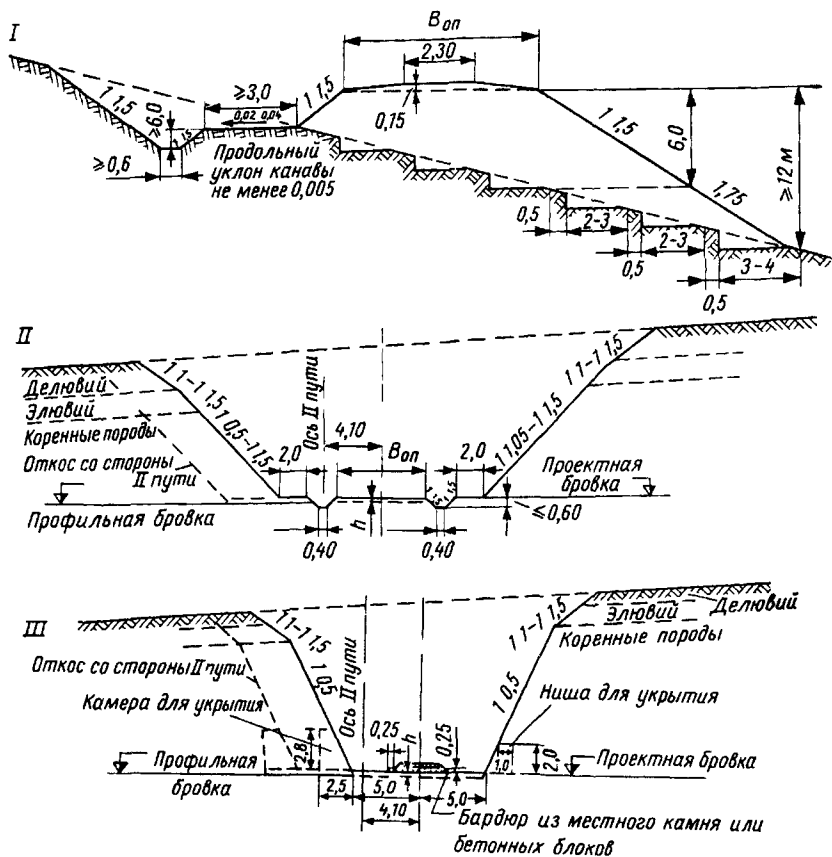


Рис 6 37 Поперечные профили объектов земляного полотна в горных условиях, скальных породах

В горных условиях возможны весьма сложные технические решения при проектировании ОЗП. Для примера на рис 6 39 приведены проектные решения полунасыпи (второго пути) на участке Сев-Кавказской железной дороги (по Кавгипротрансу). Железнодорожный путь на косогоре, совмещается с трубопроводами. Рассматриваются комплексные варианты с эстакадным мостом, с подпорными стенами, в том числе двухрусной, а также контрбанкетом и проезжей частью автодороги.

Во всех случаях при размещении автодороги (притрассовой, для текущего содержания пути) на бермах, закуветных полках (выемок) необходимы меры по обеспечению безопасности движения поездов.

Задача 6. 32. Определить размеры противообвальных сооружений (улавливающих траншей, рвов, стен, полок)

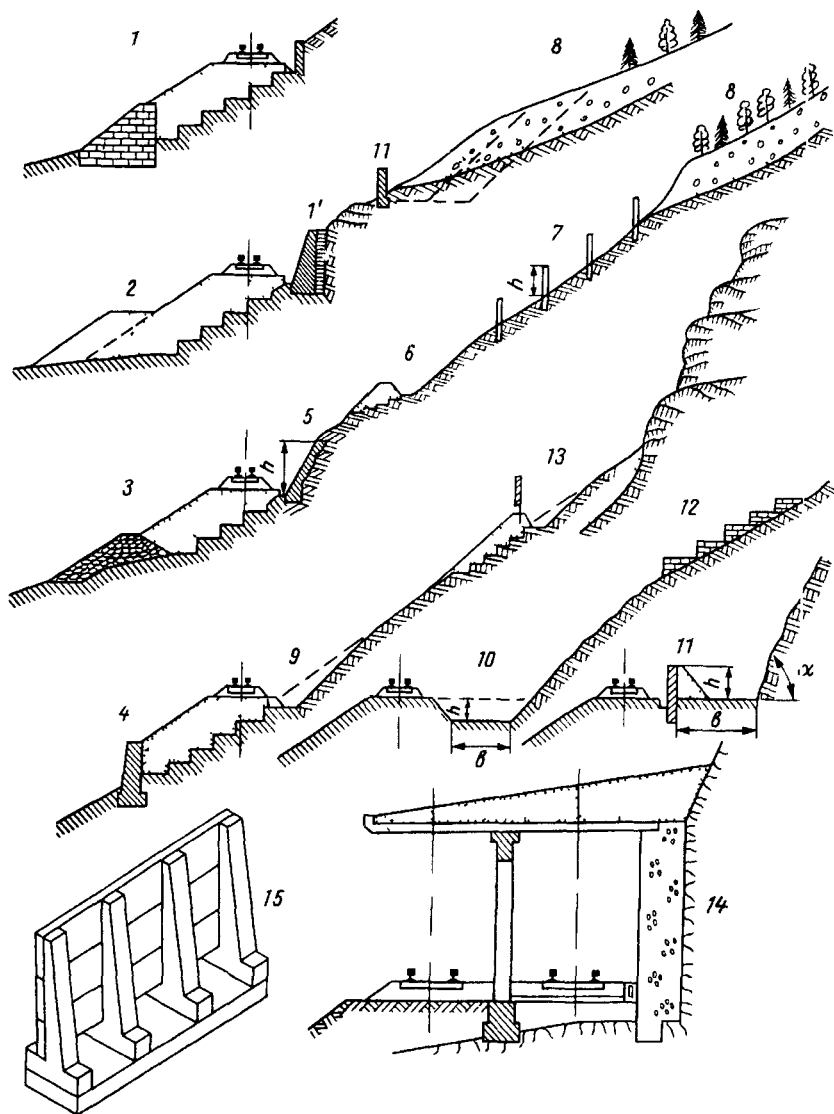


Рис 6 38 Схемы удерживающих и противообвальных сооружений в горных условиях 1, 1' — контрофорс, контрофорсная стена 2 — контрбанкет 3 — упорная призма 4 — подпорная стена 5 — одевающая (облицовочная) стена 6 — улавливающий вал 7 — надолбное поле 8 — лесонасаждения 9, 10 11 — улавливающие ров, траншея (кювет-траншея), стенка (с полкой) 12 — барражные валы (стенки), 13 — канава-вал с сетчатым заграждением, 14 — галерея (консольная с амортизирующей подушкой), 15 — сборная подпорная стена (из контрофоров и панелей)

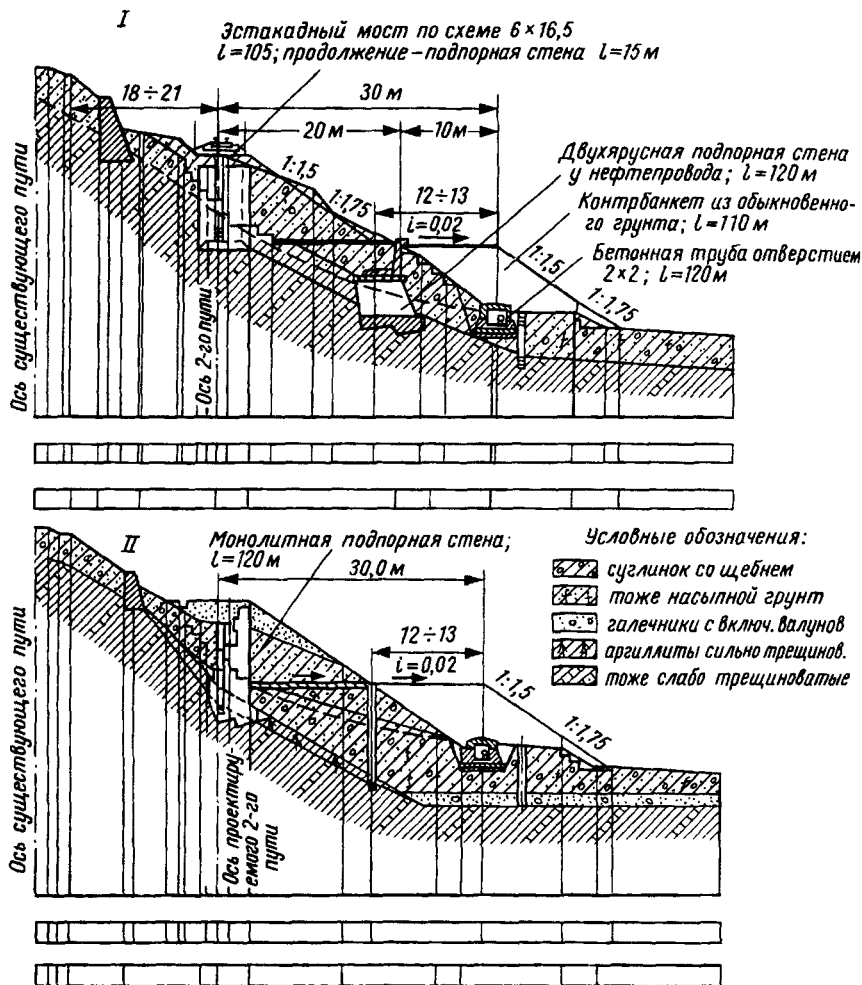


Рис. 6.39. Варианты полунасыпи на косогоре: I — вариант полунасыпи с эстакадой; II — вариант полунасыпи с подпорной стеной

Исходные данные. Тип склона (рис. 6.40):

1 — однообразной крутизны (с уступом до 5 м), ломаными до 10 м и разнице в углах крутизны до 5° ;

2 — ломаный с углами наклона от 30° до 60° при длине участков более 10 м и при разнице в углах наклона смежных элементов 5° ;

3 — ломаный с отдельными пологими участками при углах наклона $\alpha < 30^\circ$ и крутыми участками с $\alpha < 60^\circ$ при длине отдельных участков более 10 м и разнице в углах наклона смежных участков более 5° ;

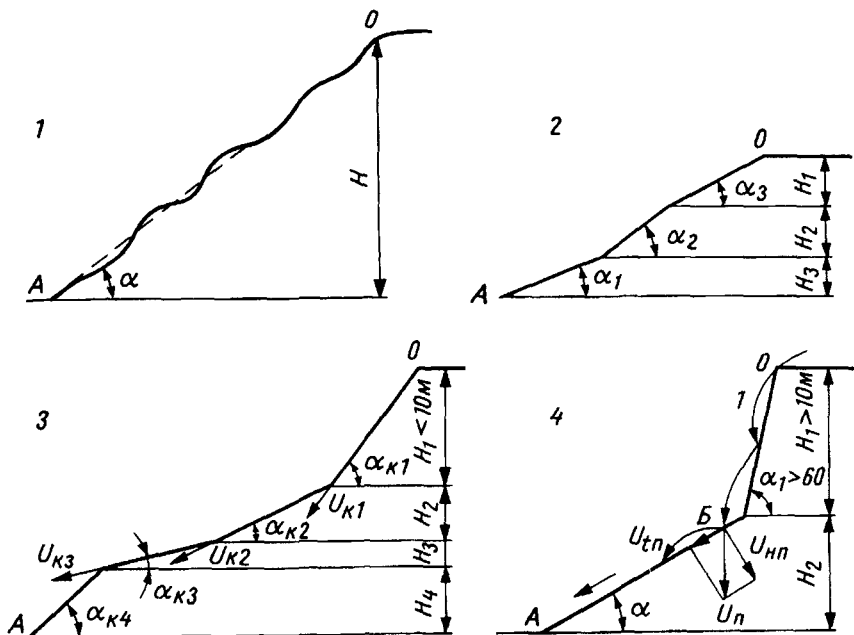


Рис. 6.40. Типы склонов

4 — ломаный с очень крутыми участками при $\alpha > 60^\circ$ и высотой более 10 м.

Решение [85, 86, 88]. Определяется скорость движения камней по склону:

$$1 \text{ типа: } U_k = \sqrt{2gH_{\text{п}}(1 - K_{\text{н}}\text{ctg}\alpha)} = \varepsilon_c \sqrt{H_{\text{п}}} \quad (\text{при } \alpha < 30^\circ),$$

где ε_c — коэффициент, зависящий от крутизны склона;

$$\varepsilon_c = \sqrt{2g(1 - K_{\text{н}}\text{ctg}\alpha)};$$

$H_{\text{п}}$ — высота падения камня, м;

$K_{\text{н}} = 0,00443\alpha + 0,416$ — коэффициент неучтенных факторов;

α — угол наклона склона, град.;

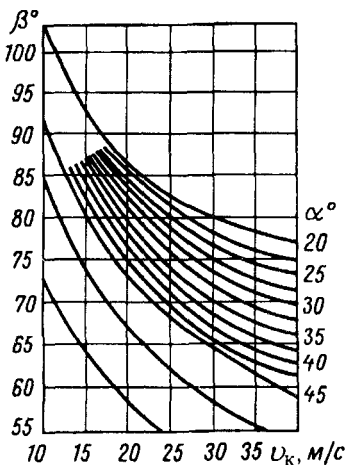
$$2 \text{ типа: } U_{\text{п}} = \sum_1^n \varepsilon_c (\sqrt{H_i} - \sqrt{H_{i-1}}), \text{ где } n \text{ — количество участков склона;}$$

$$3 \text{ типа: } U_{ki} = \sqrt{U_{oi}^2 + \varepsilon_i^2 H_i},$$

где $U_{oi} = U_{k(i-1)} \cdot \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i)$ при $\alpha_{i-1} > \alpha_i$;

$U_{oi} = U_{k(i-1)}$ при $\alpha_{i-1} < \alpha_i$.

$$U \text{ подошвы крутого склона } U_k = \varepsilon_c \sqrt{H}.$$

Рис. 6.41. График $\beta = f(\alpha, v_k)$

4 типа: расчетная скорость камня в точке A , месте расположения противообвального сооружения

$$v_k = \sqrt{v_{\text{тп}}^2 + \varepsilon_i^2 H_i},$$

где $v_{\text{тп}}$ — тангенциальная составляющая скорости отражения в точке B ;

$$v_{\text{тп}} = v_{\text{п}}(1 - \lambda_m) \cos(\alpha_1 - \alpha).$$

Здесь $v_{\text{п}} = \varepsilon_i \sqrt{H_i}$ — скорость падения камня в точке B ;

λ_m — коэффициент мгновенного падения.

Размеры улавливающих сооружений (ширина, высота) определяются расчетами на перелет, на выскакивание камней.

Уравнение расчетной траектории движения камня

$$y = gx^2/(2v_k^2 \sin^2 \beta) + x \operatorname{ctg} \beta,$$

где β — угол отражения (рис. 6.41).

Расчетные отклонения траектории полета камня

в горизонтальном направлении $l_{\text{max}} = v_k^2 (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta)^2 / [2gtg\alpha(1 + \operatorname{ctg}^2 \beta)]$;

в вертикальном направлении $a_{\text{max}} = l_{\text{max}} \operatorname{tg} \alpha$.

Положение точки опасного удара камня о склон определяется координатой x_i

$$x_i = v_k^2 \sin^2 \beta (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) / g.$$

При вертикальном попутном откосе, гранях бордюрной, заградительной стенок проверку на выскакивание камня можно выполнить по формуле

$$h_{\text{max}} = [v_k^2 / (2g)] p \sin^2 \varphi_{\text{п}},$$

где $\varphi_{\text{п}}$ — угол падения, принимается равным углу наклона откоса.

Выполняются также расчеты на прочность, устойчивость [45, 85, 86].

В период эксплуатации защитные, заградительные, улавливающие стенки могут наращиваться.

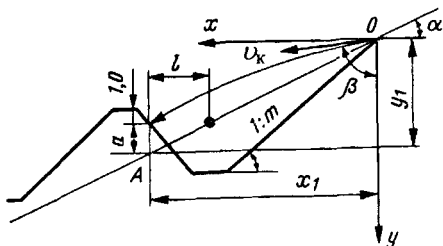


Рис. 6.42. Схема расчета улавливающей траншеи на перелет

Пример. Рассчитать улавливающую траншею на перелет камней.

Исходные данные: тип склона I , $\alpha = 27^\circ$, $H_{\text{отм}} = 627,5$.

Расчетная схема на рис. 6.42.

Решение.

Определяем $v_k = 32,0$ м/с. Угол отражения $\beta = 75^\circ$ (рис. 6.41); $\sin 75^\circ = 0,9659$; $\operatorname{ctg} 75^\circ = 0,2679$; $\operatorname{tg} 27^\circ = 0,5095$.

Уравнение расчетной траектории

$$y = 9,81x^2 / (2 \cdot 32,0^2 \cdot 0,9659^2) + 0,2679x = \\ = 0,005x^2 + 0,2679x.$$

Наименьшее отклонение траектории в горизонтальном направлении (наибольшая дальность падения камня l_{\max})

$$l_{\max} = 32,0^2(0,5095 - 0,2679)^2 / [2 \cdot 9,81 \cdot 0,5095(1 + 0,2679^2)] = 5,58 \text{ м};$$

в вертикальном направлении $a_{\max} = 5,58 \cdot 0,5095 = 2,84 \text{ м}$.

Отметка верха вала траншеи

$$H_{\text{отм}} + a_{\max} + 1,0 = 627,5 + 3,84 = 631,53 \text{ м}.$$

Точка опасного удара камня о склон

$$x_i = [32,0^2 \cdot 0,9659^2(0,5095 - 0,2679)] / 9,81 = 23,52 \text{ м}.$$

Задача 6.33. Рассмотреть меры по охране окружающей среды при возведении земляного полотна, в частности, в горно-таежной местности.

Решение. При возведении земляного полотна необходим комплекс мер по охране окружающей среды (флоры и фауны), сложившегося экологического равновесия, природного ландшафта, естественного рельефа и растительности, так как насыпи и выемки нарушают естественный водосборный бассейн, природный сток воды; для возведения ОЗП, для временных дорог, размещения машин и механизмов требуются значительные площади, в том числе с вырубкой леса, изъятием плодородных угодий.

Необходимы меры по сокращению площадей на земляных работах, обеспечению стока поверхностных и грунтовых, паводковых вод, стокорегуляции при оврагообразовании, ветроослабляющие защиты, фитомелиорация для предупреждения ветровой и водной эрозии.

Поэтому при возведении земляного полотна выполняется комплекс мер от срезки и складирования почвенного (гумусного) слоя с площадей выемок, резервов, карьеров, оснований насыпей до рекультивации территорий резервов, карьеров с планировкой, уположением откосов (бортов карьеров), укреплением травосеянием. В лесных зонах с полосы отвода удаляются порубочные остатки, устраиваются противопожарные просеки с грунтовыми полосами, обволочением.

В других случаях для уменьшения полосы отвода (и объемов земляных работ) грунтовые выемки могут быть с вертикальными откосами («стена в грунте» и др.) и иметь сводчатые перекрытия (крытые выемки на ВСМ), глубокие выемки могут заменяться тоннелями, насыпи — эстакадами.

Пример. Исходные условия. При возведении земляного полотна в таежной местности используются земли и производится рубка леса на площадях полосы отвода $F_{\text{по}}$, для притрассовой дороги $F_{\text{дп}}$, для землевозных дорог $F_{\text{дз}}$, под карьеры $\Sigma F_{\text{кр}i}$, под резервы $\Sigma F_{\text{р}i}$, кавальеры $\Sigma F_{\text{кв}i}$, временно выделяемые для размещения механизированных колонн $\Sigma F_{\text{мк}i}$, для временного размещения машин и механизмов, складов ГСМ, пунктов технического обслуживания $\Sigma F_{\text{м}i}$.

Общая площадь рубки леса составляет

$$F_{\text{вл}} = F_{\text{по}} + F_{\text{дп}} + F_{\text{дз}} + \Sigma F_{\text{кр}i} + \Sigma F_{\text{р}i} + \Sigma F_{\text{кв}i} + \Sigma F_{\text{мк}i} + \Sigma F_{\text{м}i}.$$

Площадь $F_{\text{по}}$ определяется Нормами отвода земель для железных дорог в соответствии с рабочими отметками насыпей и выемок.

Площадь для притрассовой дороги равна

$$F = K_{\text{рд}} B_{\text{дп}} L_{\text{жд}},$$

где $K_{\text{рд}}$ — коэффициент развития дороги ($K_{\text{рд}} = 1,1-1,3$); $B_{\text{дп}}$ — ширина притрассовой дороги (с водоотводами); $L_{\text{жд}}$ — длина железнодорожной линии.

Площадь для землевозных дорог

$$F_{\text{дз}} = K_{\text{рд}} K_{\text{вс}} B_{\text{дз}} (\Sigma L_{\text{ни}} + \Sigma L_{\text{ви}} + \Sigma L_{\text{кри}}) + K_{\text{вс}} B_{\text{дз}} (\Sigma l_{\text{ри}} + \Sigma l_{\text{кви}}),$$

где $K_{\text{вс}}$ — коэффициент, учитывающий въезды, съезды, разъезды на землевозных дорогах; $B_{\text{дз}}$ — ширина землевозных дорог; $L_{\text{н}}$, $L_{\text{в}}$, $L_{\text{кр}}$ — длина насыпей, выемок, карьерных дорог; $l_{\text{р}}$, $l_{\text{кв}}$ — длина дорог поперечной возки из резервов, в кавальеры.

Площади под карьеры $F_{\text{кри}} = V_{\text{кри}}/H_{\text{вк}}$, где $V_{\text{кри}}$ — объем грунта в карьере; $H_{\text{в}}$ — наибольшая высота копания экскаватора (при одноярусной проходке).

Площади под резервы $F_{\text{ри}} = V_{\text{ри}}/h_{\text{ри}}$, под кавальеры $F_{\text{кви}} = V_{\text{кви}}/h_{\text{кви}}$, где $V_{\text{ри}}$, $V_{\text{кви}}$ — объемы грунта из резерва, в кавальер; $h_{\text{ри}}$, $h_{\text{кви}}$ — средняя глубина резерва, высота кавальера.

Общий (минимум) объем грунта из карьеров и резервов

$$V_{\text{кр,р}} = \Sigma V_{\text{кри}} + \Sigma V_{\text{ри}} = \Sigma V_{\text{ни}} - \Sigma V_{\text{ви}} - \Sigma V_{\text{кви}}.$$

Площади $\Sigma F_{\text{мки}}$, $\Sigma F_{\text{ми}}$ зависят от состав мехколонн, механизированных комплексов, местных условий, количества передислокаций.

Решение. В целях сокращения площадей для нужд земляных работ и вырубке леса можно рекомендовать

— уменьшение $K_{\text{рд}}$ притрассовой и землевозных дорог, приближая притрассовую к оси пути, землевозные совмещая с полотном насыпей и выемок, с притрассовой дорогой;

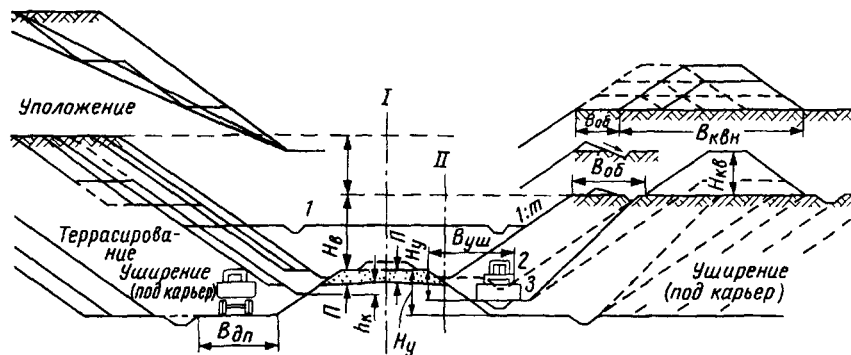


Рис. 6.43. Варианты (гибких) структур выемок в сложных условиях ПКС — с уположением откосов, террасированием, разработкой под карьер: 1 — технологический ПП; 2 — уширение (со стороны второго пути); 3 — углубление, улавливающая траншея (с нагорной стороны)

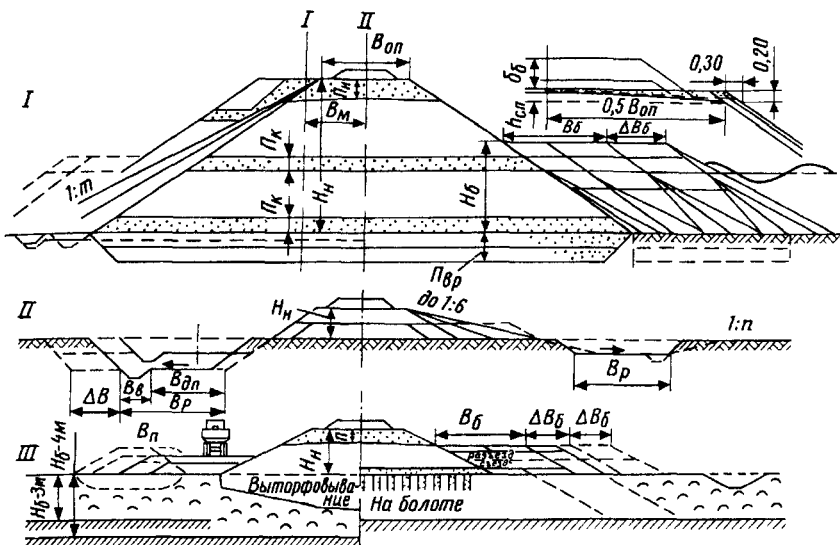


Рис 6.44. Варианты (гибких) структур насыпей в сложных условиях ПКС: *I* — пойменная, на слабом основании; *II* — с уположением откосов (по пескоснегостойкости, консистенции грунта I_L), двухслойная, с резервами; *III* — на болоте, с выторфовыванием, с пригрузочными (присыпными) бермами, въездами, разъездами, съездами, песчаными сваями

— уширение выемок, с использованием их в качестве карьеров, а полосу уширения (закуветные полки), бермы насыпей, резервы использовать для дорожного полотна землевозных и притрассовой дорог (рис. 6.43, 6.44).

Уширение $B_{уш}$ выемки возможно одностороннее, в сторону будущего второго пути (с поперечным уклоном 0,02-0,04) или двустороннее. При уширении $B_{уш} \geq 4$ м кювет можно размещать у подошвы откоса, крутизна которого в глинистых грунтах допустима до 1:1. Углубление полок выемки повышает безопасность движения поездов, стабильность подбалластной зоны (при варианте «выемка под насыпь»)

$$B_{уш} = V_{вк} / (H_{вк} K_{уГ} L_{вк}); \quad \Sigma V_{вкj} = K_{вк} \Sigma V_{кр,pi}; \quad K_{вк} = 0,6 \dots 0,8,$$

где $V_{вк}$ — необходимый дополнительный объем грунта из выемки-карьера (средней глубины $H_{вк}$) в насыпь; $K_{уГ} = H_{в} / H_{вк}$ — коэффициент углубления выемки.

Критерием выбора вариантов, принятия технического (и экологического) решения может быть стоимость возрастающей продольной возки грунта при земляных работах сопоставимо со стоимостью леса при сокращении площадей его вырубки. Возможны варианты двухстадийного возведения насыпей с возкой грунта из выемок-карьеров по рельсовому пути.

С увеличением числа выемок при трассировании дороги снижается потребность в карьерах, меньше высоких насыпей, больше сохранность экосистемы.

Раздел 7

РАСЧЕТЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

7.1. Общие положения

В строительный период возведения земляного полотна решается сложный комплекс инженерных задач по проектированию организации земляных работ, а также оперативному управлению строительным процессом, целевая направленность которых в соблюдении конкретных (директивных, договорных) сроков завершения работ при минимальных затратах ресурсов и доходности результатов, в прогнозировании темпа и своевременном материально-техническом обеспечении процесса строительства.

При проектировании, составлении проекта организации земляных работ (ПОР) выполняются расчеты рабочих и профильных объемов земляных работ, структуризация и балансовое распределение земляных масс по объектам, выбор способов производства работ, машин и механизмов, формирование механизированных комплексов, распределение их по участкам, определение потребности в ресурсах, определение сроков выполнения работ, решаются другие технические задачи. При этом используются нормативные (детерминированные) показатели [25, 36, 73, 106].

На принципах системного анализа, более полного использования исходной информации, модельных приемов на ПК оптимальные решения обеспечивают максимум технического и экономического эффекта. Этому служат экономико-математические методы, используя которые можно решать многие задачи организации земляных работ: по распределению земляных масс, выбору способа производства земляных работ, наиболее выгодного типа землеройных и транспортных машин, определению их количества и распределению

по участкам работ, по оптимальному распределению карьеров дренирующего грунта (при возведении второго пути) и другие.

Принятие решения в конкретной производственной ситуации связано с выбором оптимального из множества. Математическая модель описывается целевой функцией $F(x)$, значениями которой являются числа, определяющие достижимость цели (организации оптимального строительного процесса) при ограничениях по ресурсам. Аргументами функции являются варианты решения x_{ij} .

При описании математической модели системой линейных уравнений и неравенств задачи решаются методами линейного программирования, позволяющими находить $\text{extr}(\min, \max)$ значений линейных функций неотрицательных переменных, ограниченных линейными равенствами и неравенствами и практически наилучший (оптимальный) вариант при ограниченных ресурсах.

Для решения задач линейного программирования применяются методы улучшения начального плана: метод потенциалов, симплекс-метод (Данцига), разрешающих множителей (Конторовича) и другие. Применение экономико-математических методов позволяет на 10—15% сократить сроки строительных работ, улучшить технико-экономические показатели организации работ [30, 37, 48, 123].

Наиболее распространенной (классической) для решения является транспортная задача линейного программирования, которая позволяет построить такой план перевозок, то есть определить такие размеры поставок x_{ij} от i -х поставщиков к j -м потребителям, при котором полностью используются мощности всех m поставщиков ΣA_i , полностью удовлетворяется спрос всех n потребителей ΣB_j и (при известной стоимости перевозок c_{ij}) обеспечивается \min суммарных затрат на перевозки, что определяется величиной целевой функции (функционала) $F(x)$.

В организационно-технологический период практической реализации ПОР земляных работ выполняется значительный комплекс мер по обеспечению строительного процесса [5, 35, 64, 73, 74, 100]. Выполняются подготовительные, разбивочно-контрольные работы. Уточняются нормы плотности грунтов насыпей и технология их реализации. Уточняются параметры строительных работ в сложных природных условиях. Корректируются сроки выполнения работ в соответствии с погодно-климатическими метеоусловиями (жесткостью погоды), ресурсами обеспечения, финансированием работ.

Разбивочно-контрольные работы обеспечивают соответствие натуральных размеров и геометрических форм ОЗП проектным и включают детальную разбивку ОЗП с определением и закреплением на местности границ откосов насыпей и выемок, водоотводов, резервов и других элементов; карьеров, экскаваторных забоев; оперативный контроль за соблюдением проектных очертаний в процессе механизированного возведения насыпей, разработки выемок, планировки ОП и откосов ПП ОЗП [60, 89].

Для разбивочно-контрольных работ, особенно в сложных условиях косогоров, рациональны рекомендации согласно теории проективных

косоугольных координат (разработанной автором [60]), позволяющие эффективно реализовать способ наклонного луча визирования (НЛВ) и существенно упростить выполнение контрольно-разбивочных работ при пользовании измерительным шаблоном ИШГ, тригонометром ТГ (штанговый прибор с самоустанавливающимися линейками, фиксирующими превышения и проложения в М 1:10), визирным оптическим прибором ВОГ (с прямым изображением) или малогабаритным теодолитом ТМ. Для контроля планировки применяется система СКП на базе гелий-неонового оптического квантового генератора ОКГ-13 (лазерного излучателя) и др. способы.

Поскольку функционирование строительной (организационно-технологической) системы в условиях природной среды имеет стохастический характер, управленческие решения в изменяющихся ситуациях следует принимать с использованием вероятностных принципов, экспертных оценок, ранговых приоритетов, других приемов, прогнозного моделирования на ПК, в том числе по программам имитационных (деловых) игр.

Четкой организации земляных работ способствует применение сетевых графиков (СГ), отражающих комплекс земляных работ, их последовательность, технологическую взаимосвязь. В зависимости от поставленных задач, когда задан директивный срок, ограничены ресурсы и требуется определить продолжительность работ, удовлетворяющую этим условиям, выполняется оптимизация СГ с доведением расчетных параметров до заданных показателей по одному или нескольким критериям (сроку завершения работ, расходу ресурсов: финансовых, материально-технических, кадровых, энергетических).

На временном графике учитываются резервы времени работ, возможности перемещения рабочих бригад на работы на критическом пути, учитываются ограничения по численности рабочих, парку машин и механизмов, объему финансирования; определяются возможности сокращения продолжительности работ t_{ij} на критическом пути $T_{кр}$ (за счет перераспределения и привлечения ресурсов, увеличения сменности, совмещения, параллельного выполнения работ) и сопоставляются сроки $T_{кр}$ с директивными $T_{д}$.

Всякая ситуация характеризуется целевой направленностью, влиянием среды, возможными исходами (альтернативами организационного, технологического решения) по критериям оптимальности. Соответственно логика принятия решения: прием информации, оценка ситуации, определение идеи решения, параметрическая оптимизация, прогноз и анализ результатов, формирование технического решения.

Прогнозирование возможно с учетом наметившейся тенденции (тренда) при приоритетном ранжировании целей, факторов влияния, возможных исходов (экстраполяционное прогнозирование). Разрабатываются экспертные системы, позволяющие прогнозировать возможные ситуации во времени и решать производственные задачи. Например, система ОРИОН (МГУПС) ориентирована на организационное регулирование, исследование, оптимизацию и нормализацию строительного производства на базе ПМО (программно-машинного обеспечения). Имитационные модели разрабатываются в ЦНИИСе.

Проектными институтами разрабатывается САПР транспортных сооружений, включающая технологические линии проектирования организации строительства железных дорог (ТЛП ОС), информационной основой которой служит нормативно-справочная база (база данных), материалы изыскательских работ. Использование программных средств существенно расширяет возможности применения экономико-математических методов для получения оптимальных технических решений.

7.2. Проектирование организации земляных работ

7.2.1. Определение объемов земляных работ

Задача 7.1. Определить объемы земляных работ на участке (перегоне) строительства железной дороги.

Решение. Объемы земляных работ определяются попикетно, пообъектно для каждой насыпи, выемки, по километрам, перегонам, станциям [27, 43]. Расчетные схемы на рис. 7.1.

Объемы земляных работ $V_{зр}$ по ОЗП на равнинных участках

$$V_{зр} = F_{ср}L_y = 0,5(F_1 + F_2)L_y,$$

где $F_{ср}$ — средняя площадь поперечного профиля (ПП) ОЗП;

F_1, F_2 — площади ПП в начале, конце участка;

L_y — расстояние между ПП (крайними сечениями), длина участка.

Вводятся поправки на дополнительный объем ΔV

— при косогорности местности

$$\Delta V_{кг} = K_{кг}(F_0 + F_d)L_y,$$

где $K_{кг} = m^2/(n^2 - m^2)$ — коэффициент косогорности (m, n — показатели крутизны откоса, косогорности местности);

F_0 — расчетная площадь (без учета поперечного уклона местности);

F_d — дополнительная площадь, в обыкновенных глинистых грунтах

для насыпи $F_{дн} = B_0^2/(4m) + \omega_{сп}$;

для выемки $F_{дв} = B_0^2/(4m) - \omega_{сп} + 2\omega_k$.

$B_0 = B_{оп}$ для насыпей; с учетом ширины кюветов $2B_k$ и закюветных полок $2B_{зп}$ для выемок: $B_0 = B_{оп} + 2B_k + 2B_{зп}$;

$\omega_{сп}, \omega_k$ — площадь сливной призмы, кювета; для однопутных линий $\omega_{сп} = 0,075(B_{оп} + 2,3)$, м²; для двухпутных $\omega_{сп} = 0,1B_{оп}$, м²;

— в кривых

$$\Delta V_{кр} = B_{уш}[0,5(H_1 + H_2) + 0,15]L_y,$$

где $B_{уш}$ — величина уширения в кривых (ОП и междупутья);

H_1, H_2 — рабочие отметки смежных ПП ОЗП, в начале и конце участка;

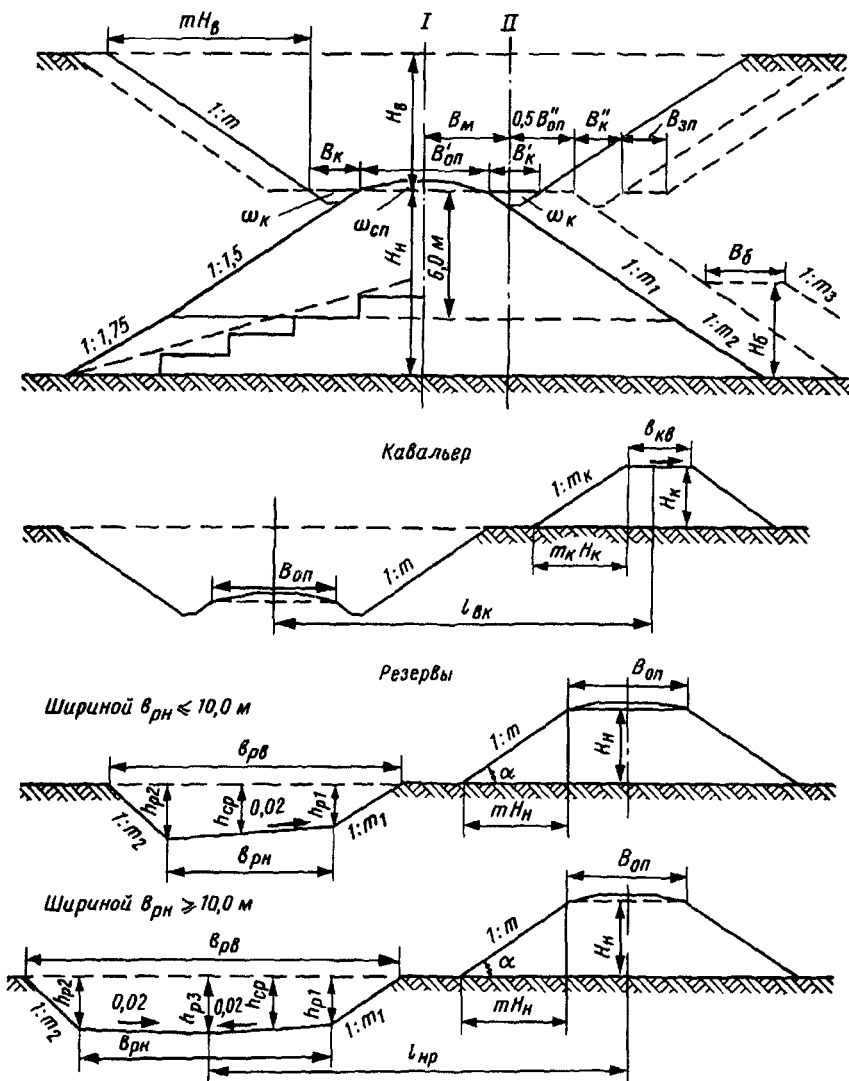


Рис 71 Расчетные схемы ПП насыпи, выемки

— на подходах к мостам

$$B_{уш} = 2 \times 0,5 \text{ м}; \quad l_{уш} = 10,0 \text{ м};$$

— на засыпке уступов (в основании насыпи при косоугности более 1:5)

$$\Delta V_{ус} = B_{ус} n L_y [B_{оп} + m(H_1 + H_2)] / [2(n^2 - m^2)],$$

где $B_{ус}$ — ширина уступа — на осадку основания насыпи (см. раздел 4).

При известных площадях F_1, F_2 ПП и рабочих отметках H_1, H_2

$$V_{зр} = [(F_1 + F_2)/2 - m(H_2 - H_1)^2/6]L_y,$$

где второе слагаемое — призматонадальная поправка, уточняющая величину объема.

Объемы земляных работ в резервах

$$V_p = F_{срр} l_p,$$

где $F_{срр}$ — средняя площадь резерва; l_p — длина резерва.

Если насыпь полностью возводится из двух резервов $F_H = 2F_p$, то размерные параметры резерва ($b_p < 10,0$ м)

ширина поверху $b_{рв} = F_p/h_{ср} + 1,25h_{ср}$;

понизу $b_{рн} = F_p/h_{ср} - 1,25h_{ср}$;

глубина $h_1 = h_{ср} - 0,01b_{рн}$; $h_2 = h_{ср} + 0,01b_{рн}$;

Объем земляных работ на водоотводах

$$V_B = 0,5 \cdot l_B [(mh_{B1} + b_{B1})h_{B1} + (mh_{B2} + b_{B2})h_{B2}]$$

при площадях поперечного сечения

$$F_{B1} = b_i(h_i + 0,2) + m(h_i + 0,2)^2,$$

где h_i — расчетная глубина живого сечения.

Площади ПП ОЗП при строительстве второго пути (рис. 7.1):

насыпи $F_{H II} = (B_M + B_{уш})H_H + B_6H_6 + 0,5(m_3 - m_2)H_6^2$;

выемки $F_{B II} = [B_M + B_{уш} + (B_K'' - B_K') + B_{зп}]H_B$.

Задача 7.2. Определить объемы земляных работ по рабочим параметрам ОЗП (для расчетов на микрокалькуляторах и ПК).

Исходные данные: Ширина основной площадки $B_{оп}$ (для выемок с учетом ширины кюветов и закюветных полок $B_{оп} = B_{оп} + 2B_K + 2B_{зп}$); рабочие отметки H_1, H_2 ; показатели крутизны местности n , откоса m ; длина участка (между смежными ПП) L_y .

Решение. Объемы насыпей и выемок [43]

— при отсутствии косогорности,

$$V_{зр} = [H_1^2(3B_{оп} + 2mH_1) - H_2^2(3B_{оп} + 2mH_2)]L_y/6(H_2 - H_1),$$

— при наличии косогорности местности

$$V_{зр} = \{(m + K_{кг})[B_{оп}(H_1 + H_2)/(2m) - [H_1H_2 - (H_1 + H_2)^2/3] + K_{кг}[B_{оп}/(2m)]^2\}L_y,$$

где $K_{кг}$ — коэффициент, учитывающий косогорность $K_{кг} = m/[(n/m)^2 - 1]$,

— при строительстве вторых (третьих) главных путей, уширении земляного полотна на станциях в условиях наличия и отсутствия косогорности

$$V_{зр} = B_{уш}[n(H_1 + H_2) - \text{sign}M(B_{оп} + B_{уш})]L_y/2(n + \text{sign}Mm),$$

где $B_{уш}$ — величина уширения основной площадки, $\text{sign}M = +1$ — множитель; -1 для случая уширения насыпи с низовой подгорной стороны, выемки — с верховой, нагорной.

Задача 7.3. Определить объемы и составить ведомость объемов земляных работ на участке.

Исходные данные: рабочие отметки H_i поикетные и на переломах продольного профиля, ширина основной площадки $B_{оп}$

Решение. Вариант 1. Вычисляются средние рабочие отметки

$$H_{срi} = (H_{1i} + H_{2i})/2.$$

По $H_{срi}$, пользуясь табличными данными объемов V_i на 1 п. м (прил. 7.1), вычисляются объемы земляных работ на каждом пикете (плюс): $V_{пк} = V_i l_i$.

Составляют ведомость попикетных объемов земляных работ, по которой строят попикетные графики (диаграмму объемов) земляных работ.

Пример. Продольный профиль на рис. 7.2, поперечные на рис. 7.3. Результаты расчетов при $B_{оп} = 7,0$ м в табл. 7.2.

По рис. 7.3 $F_{н,в} = mH_0^2 - B_{н,в}^2/4m,$

где $H_0 = H_{н,в} + B_{н,в}/2m$; для насыпи $B_n = B_{оп}$, для выемки $B_v = B_{оп} + 2B_k$, или $F_{н,в} = (B_{н,в} + 2mH_{н,в})^2/4m - B_{н,в}^2/4m = (B_{н,в} + mH_{н,в})H_{н,в}$

Вариант 2. Вычисляют средние рабочие отметки пообъектно для насыпей, выемок на каждом км, составляют покилометровую ведомость объемов земляных работ.

Пример. Продольный профиль на рис. 7.2.

Средние рабочие отметки: выемка 14 км

$$\begin{aligned} H_{вср} &= 0,5[H_1(l_1 + l_2) + H_2(l_2 + l_3) + H_3(l_3 + l_4) + H_4(l_4 + l_5)]/\Sigma l_i = \\ &= 0,5[2,04(0 + 100) + 6,16(100 + 100) + 8,98(100 + 60) + \\ &\quad + 7,97(60 + 40) + 6,50(40 + 100)]/400 = 5,72 \text{ м}; \end{aligned}$$

— насыпь 15 км

$$\begin{aligned} H_{нср} &= 0,5[6,02(100 + 100) + 6,83(100 + 100) + 5,98(100 + 50) + \\ &\quad + 3,65(50 + 50)]/400 = 4,79 \text{ м}; \end{aligned}$$

— выемка 15 км

$$\begin{aligned} H_{вср} &= 0,5[4,19(100 + 100) + 5,47(100 + 100) + \\ &\quad + 3,10(100 + 56)]/356 = 3,39 \text{ м}. \end{aligned}$$

— насыпь 15—16 км

$$\begin{aligned} H_{нср} &= 0,5[2,74(44 + 100) + 8,71(100 + 100) + \\ &\quad + 6,92(100 + 100)]/444 = 5,46 \text{ м}. \end{aligned}$$

По $H_{ср}$, L_n , L_v , пользуясь табличными данными (прил. 7.1, графиками рис. 7.4), определяем объемы земляных работ для каждого ОЗП на каждом км.

Составляем ведомость покилометровых объемов земляных работ (табл. 7.1, $B_{оп} = 6,5$ м) с площадями откосов $F_{от}$ (см. задачу 7.5) для расчетов

Таблица 7.1

Ведомость покилометровых объемов земляных работ (фрагмент)

Протяжение, км	Средняя рабочая отметка $H_{срi}$, м		Протяжение, L , м		Объемы земляных работ V_i , тыс. м ³		Площади откосов тыс. м ²	
	насыпи	выемки	насыпи	выемки	насыпи	выемки	насыпи	выемки
14		(5,72)						
15	4,79	3,39	644	356	42,72	18,86	11,10	4,34
16		(5,46)						

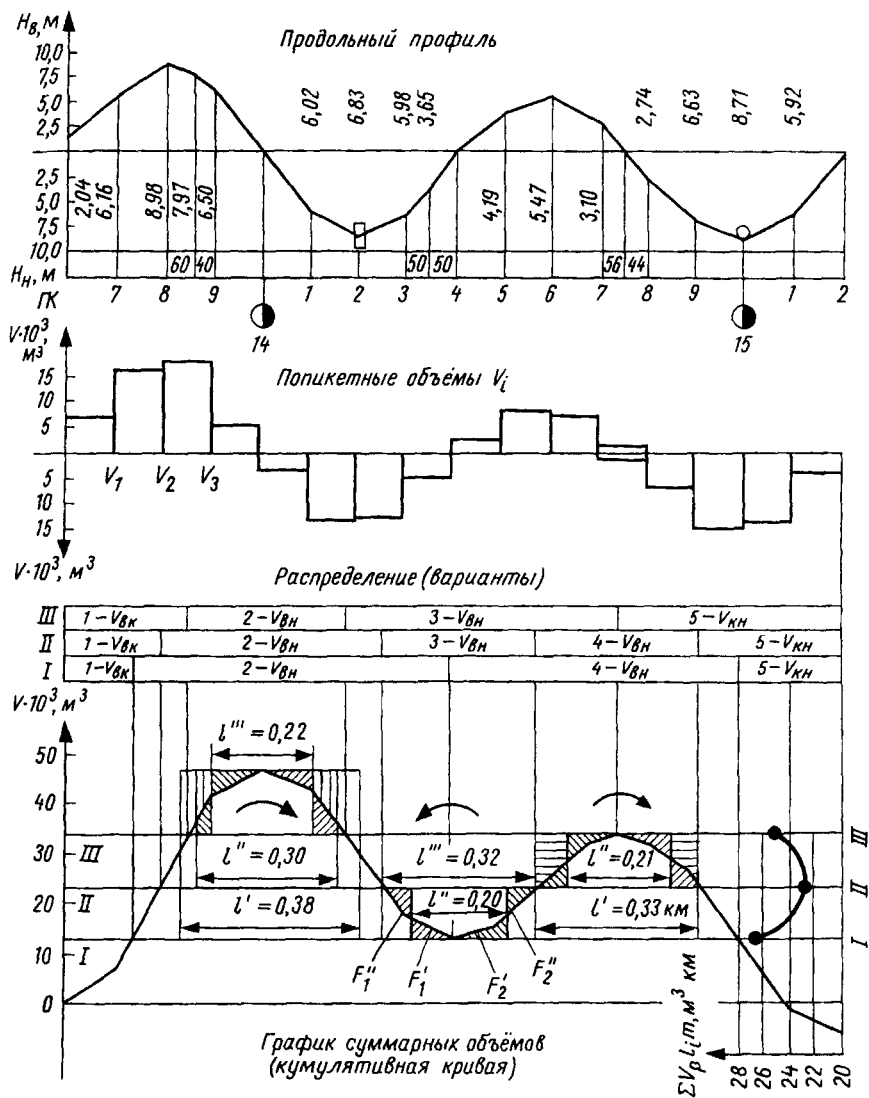


Рис. 7.2. Параметры распределения земляных масс

планировочных и укрепительных работ или помассивных, попикетных (табл. 7.2) объемов.

Вычисляем профильный объем работ $V_{\text{пр}} = \Sigma V_{\text{н}} + \Sigma V_{\text{в}}$,
 средний профильный удельный объем работ $V_{\text{пру}} = V_{\text{пр}}/L_y$, тыс. $\text{м}^3/\text{км}$;
 удельные площади откосов для укрепительных работ $F_{\text{оту}} = \Sigma F_i/L_i$, тыс. $\text{м}^2/\text{км}$.

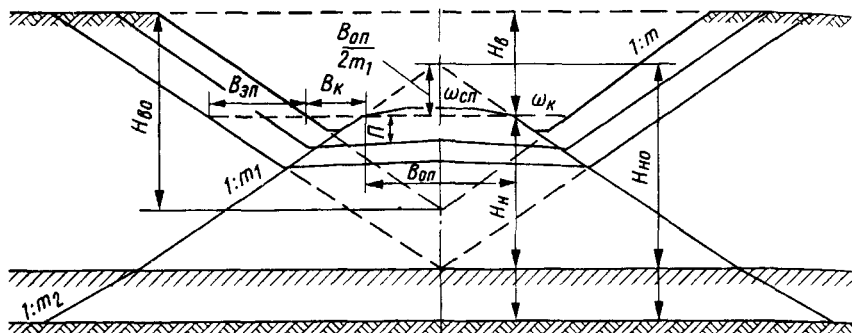
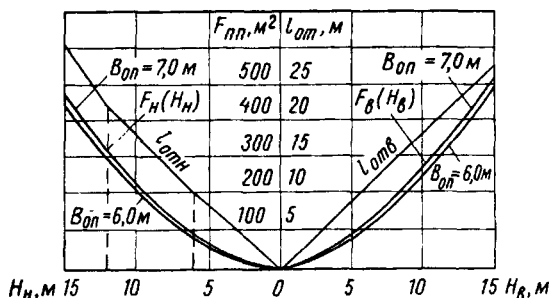


Рис. 7.3. Поперечный профиль насыпи-выемки

Рис. 7.4. Графики $F_H(H_H)$, $F_B(H_B)$, $l_{от}(H_{H,в})$

По средней кубатуре земляных работ по главному пути оцениваем преобладающий рельеф местности: равнинный при $V_{\text{пру}}$ до 25, холмистый — 25-40, горный — свыше 40 тыс. $м^3/км$.

Задача 7.4. Определить объемы земляных работ в условиях косогорности (при изменяющихся координатах поперечных профилей).

Решение. Расчеты выполняются на ПК.

1. Площадь поперечного профиля определяется по формуле

$$F_{пп} = 0,5 \sum_{i=1}^n x_i (y_i + y_{i+1}),$$

где x_i, y_i — прямоугольные координаты вершин контура ПП;

n — количество вершин контура ПП.

Применительно к поперечным профилям земляного полотна

$$F_{пп} = 0,5 \sum_{i=1}^n (H_i + H_{i+1}) l_i - \sum_{j=1}^m 0,5 (h_j + h_{j+1}) l_j,$$

где H_i, l_i — проектные отметки, расстояния, м;

h_j, l_j — отметки, расстояния по земле, м;

n, m — количество точек проектного профиля, земли.

2. Для условий программирования на микрокалькуляторах и ПК формулы вычисления объемов земляных работ интерпретируются в удобной

Таблица 7.2

Ведомость поикетных объемов земляных работ

Км	пк	Рабочие отметки H_i , м				Объемы земляных работ V_i , тыс. м ³	
		по профилю		средние		насыпи	выемки
		насыпи	выемки	насыпи	выемки		
14	6	—	2,04	—	4,10	—	7,03
	7	—	6,16	—	7,57	—	16,85
	8	—	8,98	—	8,47	—	11,99
	+60	—	7,97	—	7,23	—	6,29
	9	—	6,50	—	3,25	—	5,17
							47,33
	10	0,00	0,00	3,01	—	3,52	—
	1	6,02	—	7,42	—	13,52	—
	2	8,83	—	7,41	—	13,51	—
	3	5,98	—	4,82	—	3,47	—
15	+50	3,65	—	1,82	—	0,92	—
						34,94	
	4	0,00	0,00	—	2,10	—	2,92
	5	—	4,19	—	4,83	—	8,79
	6	—	5,47	—	4,29	—	7,47
	7	—	3,10	—	1,55	—	1,16
							20,34
	+56	0,00	0,00	1,37	—	0,54	—
	8	2,74	—	4,68	—	6,64	—
	9	6,63	—	7,67	—	14,34	—
10	8,71	—	7,32	—	13,28	—	
1	5,92	—	2,96	—	3,46	—	
					38,26		
2	0,00	0,00					
Суммы		ΣV_i				73,20	67,67
		$V_{пр}$				140,87	
		$V_{пр.уд}$				88,04	

форме, например (по Кавгипротрансу, по формуле Ф. Ф. Мурзо), для типовых насыпей в обыкновенных глинистых грунтах при $H_H < 6,0$ м на однопутном участке

$$V_{зр} = [B_{оп} \cdot H_{ср} + 1,5 \cdot H_{ср}^2 + 0,5(B_{оп} + 2,30)0,15 + 1,5\Delta H_{ср}^2/12]L_y;$$

$$H_{ср} = 0,5(H_1 + H_2); \quad \Delta H = H_2 - H_1;$$

где H_1, H_2 — рабочие отметки в начальном, конечном ПП участка;

при H_n от 6,0 до 12,0 м

$$V_{зр} = [B_{оп} \cdot H_{ср} + 1,5 \cdot H_{ср}^2 + 0,5(B_{оп} + 2,30)0,15 + 0,25(H_{ср} - 6,0)^2 + 1,75\Delta H_{ср}^2/12]L_y;$$

при дренирующих грунтах ($H_n < 6,0$ м)

$$V_{зр} = (B_{оп} \cdot H_{ср} + 1,5 \cdot H_{ср}^2 + 1,5\Delta H_{ср}^2/12)L_y.$$

Для типовых выемок в обыкновенных глинистых грунтах

$$V_{зр} = [(B_{оп} + 4,4 + 2 \cdot B_{зп})H_{ср} + 1,5 \cdot H_{ср}^2 - 0,5(B_{оп} + 2,30)0,15 + 1,56 + 1,5\Delta H_{ср}^2/12]L_y;$$

в дренирующих грунтах

$$V_{зр} = [(B_{оп} + 4,4 + 2 \cdot B_{зп})H_{ср} + 1,5 \cdot H_{ср}^2 + 1,56 + 1,5\Delta H_{ср}^2/12]L_y.$$

При поперечных уклонах местности формулы поправок имеют следующий вид

$$\Delta V = K_{кг} V + \Delta V_d,$$

где $K_{кг} = m^2/(n^2 - m^2)$ — коэффициент косогорности;

m, n — уклоны откоса, поверхности земли;

ΔV_d — дополнительный объем земляных работ:

— на насыпи из обыкновенных глинистых грунтов

$$\Delta V_{дн} = K_{кг}[(B_{оп}^2/(4m) + 0,5(B_{оп} + 2,30)0,15]L_y;$$

— в выемке

$$\Delta V_{дв} = K_{кг}[(B_{оп} + 4,4 + 2B_{зп})^2/(4m) - 0,5(B_{оп} + 2,30)0,15 + 1,56]L_y;$$

— на насыпи из дренирующих грунтов

$$V_{дн} = K_{кг}[(B_{оп}^2/(4m)]L_y;$$

— в выемке

$$\Delta V_{дв} = K_{кг}[(B_{оп} + 4,4 + 2B_{зп})^2/(4m) + 1,56]L_y.$$

Для расчетов на ПК рекомендуется [27] формула по усеченному трапециевидальному клину

$$V_{зр} = L_n[m(H_1^2 + H_1 \cdot H_2 + H_2^2)/3 + B_{оп}(H_1 + H_2)/2](1 + K_{кг}) + \Delta V_d.$$

Пример. В табл. 7.3 приведены результаты расчетов на ПК — ведомость объемов земляных масс, по ХГАЖТ (ХИИТ), программа ZEM — фрагмент.

Задача 7.5. Определить объемы планировки и укрепления откосов механизированным травосеянием.

Решение. Определяются площади (двух) откосов для планировки и укрепления (между ПП) — вычисляются по формулам:

— при отсутствии косогорности

$$l_{от} = H\sqrt{1 + m^2}; \quad F_{от} = L_y(H_1 + H_2)\sqrt{1 + m^2}$$

или $F_{от} = 2 \cdot H_{ср}\sqrt{1 + m^2}L_y$; $m = \text{ctg}\alpha$;

где α — угол заложения откоса (mH);

— при наличии косогорности [43] суммарная площадь верхового и низового откосов насыпи или выемки, м²

$$F_{от} = [n^2(H_1 + H_2) + mB]L_y\sqrt{1 + m^2}/(n^2 + m^2).$$

Таблица 7.3

Объемы земляных масс (ZEM) — фрагмент

Всего введено элементов =	200	Количество путей =	1
Общая протяженность (м) =	14884	Ширина основной площадки(м) =	7.00
в т. ч. насыпей =	7289	Откос насыпи (H<6м) $m_0 =$	1.50
выемок =	7595	Откос насыпи (H<12м) $m_1 =$	1.75
Профильная кубатура (м ³) =	978163	Откос насыпи (H>12м) $m_2 =$	2.00
в т. ч. насыпи =	433749	Откос выемки (H<12м) $mv_0 =$	1.50
выемки =	544414	Начальная отметка $HO =$	-2.28

№л	Отм.	Длина	Косогор	Ушир	V _в	V _н	№л	Отм	Длина	Косогор	Ушир	V _в	V _н
1	-3.35	100	1000.00	0 00	3243	0	41	3.00	40	9.00	0.00	0	3146
2	-4.22	100	1000.00	0 00	4878	0	42	2 69	60	9 00	0.00	0	2854
3	-3.42	62	1000.00	0.00	3063	0	43	-1 35	100	9.00	0.00	232	1404
4	1.61	38	1000.00	0 00	478	144	44	-2 48	100	9.00	0 00	2107	0
5	3.97	100	1000.00	0.00	0	4565	45	-3.34	100	9.00	0.00	3590	0
6	4.08	100	1000.00	0.00	0	7165	46	-5.80	50	9.00	0.00	3421	0
7	2.60	100	1000.00	0.00	0	5655	47	-3 69	50	9.00	0.00	3603	0
8	1.38	8	1000 00	0.40	0	249	48	-1.96	100	9.00	0.00	3480	0
9	1.22	57	1000.00	0.40	0	1103	49	-0.90	100	1000.00	0.00	1392	0
10	-2.39	35	1000.00	0.40	287	110	50	2.05	100	1000 00	0.00	130	1051
11	-3 71	100	1000 00	0.40	3744	0	51	3 69	100	1000.00	0.00	0	4688
12	-4 79	65	1000.00	0.40	3860	0	52	3.27	80	1000.00	0 40	0	4858
13	-4.39	35	1000.00	0.40	2320	0	53	1.59	20	1000 00	0.40	0	787
14	...	...	...	...	...	...	54	...	...	...	...	...	...

Примечание. Косогорность: 1000 — нулевая; 9.00 — 1/9.

Здесь H_1, H_2 — рабочие отметки на граничных ПП;

B — ширина, для насыпей $B = B_{оп}$;

для выемок $B = B_{оп} + 2B_k + 2B_{зп}$,

где $B_k, B_{зп}$ — ширина кювета (поверху), закуветной полки;

n — показатель косогорности.

Для полученных площадей определяется потребность в семенах многолетних трав (рыхлокустовых, корневищевых, стержнекорневых), минеральных удобрениях (азотных, калийных, фосфорных), мульчирующих материалах (древесные опилки, торфокрошка), стабилизирующих, пленкообразующих (скопин, лигнин, латексы, битумные эмульсии) и других составляющих согласно нормативам (на 100-1000 м²) для механизированного укрепления земляного полотна посевом трав по слою растительного грунта [21] или по технологии гидропосева трав [4, 62, 73].

7.2.2. Распределение земляных масс

Задача 7.6. Оценить параметры возможного балансового распределения земляных масс.

Исходные данные: объемы земляных работ по насыпям V_{Hi} , по выемкам V_{Vi} , варианты распределения земляных масс из карьеров в насыпи V_{KH} , из резервов в насыпи V_{PH} , из выемок в кавальер V_{VK} (в контрбанкет, отвал).

Решение. Объемы профильных земляных масс (профильной кубатуры) $V_{\text{п}} = V_{\text{н}} + V_{\text{в}}$; рабочей кубатуры $V_{\text{р}} = V_{\text{в}} + V_{\text{кн}} + V_{\text{рн}} = V_{\text{н}} + V_{\text{вк}}$.

Увеличение объемов продольного перемещения грунтов из выемок (выемок-карьеров) в насыпи (при современных мощных землеройных, землевозных машинах) способствует сокращению объемов, экологической упорядоченности земляных работ.

Параметрами распределения земляных масс могут служить отношения объемов: $K_{\text{рп}} = V_{\text{р}}/V_{\text{п}}$; $K_{\text{нв}} = V_{\text{н}}/V_{\text{в}}$; $K_{\text{крн}} = (V_{\text{кн}} + V_{\text{рн}})/V_{\text{н}}$.

Пример [2] $K_{\text{рп}} = V_{\text{р}}/V_{\text{п}} = (V_{\text{в}} + V_{\text{кн}} + V_{\text{рн}})/(V_{\text{н}} + V_{\text{в}})$.

Преобразуем выражение, разделив все члены на $V_{\text{в}}$ (и в числителе умножением и делением на $V_{\text{н}}$), получим

$$K_{\text{рп}} = (1 + K_{\text{крн}}K_{\text{нв}})/(1 + K_{\text{нв}}).$$

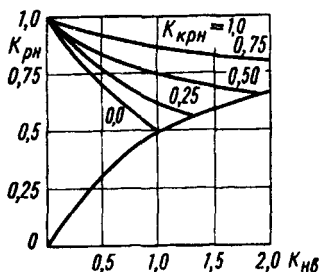


Рис. 7.5 Графики $K_{\text{рп}}$ ($K_{\text{нв}}$, $K_{\text{крн}}$)

Построим график $K_{\text{рп}}(K_{\text{нв}}, K_{\text{крн}})$ параметров возможного распределения земляных масс (рис. 7.5). Имея реальные V_i можно корректировать распределение земляных масс.

Задача 7.7. Определить рациональный вариант распределения земляных масс на участке смежно расположенных насыпи и выемки.

Решение. *Ситуация 1.* Объем грунта выемки равен объему грунта насыпи $V_{\text{в}} = V_{\text{н}}$.

Вариант 1. Насыпь полностью возводится грунтом из выемки при средней дальности возки $l_{\text{вн}} = (l_{\text{в}} + l_{\text{н}})/2$.

Вариант 2. Насыпь отсыпается из резерва (карьера), выемка разрабатывается в кавальер.

Решение. Вариант решения выбирается по уравнению стоимости работ $C_{\text{вн}} \leq C_{\text{вк}} + C_{\text{ркн}}$;

где $C_{\text{вн}}$, $C_{\text{вк}}$, $C_{\text{ркн}}$ — стоимость разработки 1 м^3 грунта в выемке с перемещением в насыпь, в кавальер; в резерве (карьере) с перемещением в насыпь

$$C_{\text{пг}} \wedge C_{\text{тр}} l_{\text{вн}} \geq (C_{\text{пг}} \wedge C_{\text{тр}} l_{\text{вк}}) \wedge (C_{\text{пг}} \wedge C_{\text{тр}} l_{\text{рн}}) \vee (C_{\text{пг}} \wedge C_{\text{тр}} l_{\text{кн}}),$$

где $C_{\text{пг}}$, $C_{\text{тр}}$ — стоимость погрузки, транспортировки;

$l_{\text{вк}}$, $l_{\text{рн}}$, $l_{\text{кн}}$ — дальность транспортировки из выемки в кавальер, из резерва в насыпь, из карьера в насыпь.

Ситуация 2. $V_{\text{в}} > V_{\text{н}}$: $V_{\text{в}} = V_{\text{н}} \wedge (V_{\text{вк}} \vee V_{\text{бн}}) \vee (V_{\text{вк}} \wedge V_{\text{бн}})$,

где $V_{\text{бн}}$ — объем берменной части насыпи.

Ситуация 3. $V_{\text{в}} < V_{\text{н}}$: $V_{\text{н}} = V_{\text{в}} \wedge (V_{\text{рн}} \vee V_{\text{кн}}) \vee (V_{\text{рн}} \wedge V_{\text{кн}})$.

Решения по принципу и/или.

Задача 7.8. Распределить земляные массы на участке смежно расположенных насыпей и выемок.

Исходные данные: Продольный профиль, график попикетных объемов земляных работ.

Решение. Распределение земляных масс выполняется с использованием кривой суммарных объемов (кумулятивной кривой), характеризующейся тем, что

- нисходящая ветвь соответствует сумме объемов насыпи $\Sigma V_{\text{нп}}$;
- восходящая ветвь соответствует сумме объемов выемки $\Sigma V_{\text{вп}}$;
- в любом сечении точка кривой (ордината ее) определяет сумму объемов ΣV_i насыпей и выемок слева;
- всякая горизонталь отсекает сегмент с равными объемами насыпи и выемки и является распределительной линией;
- площадь сегмента численно равна сумме работ по перемещению (перевозке) грунта из выемки в насыпь $\Sigma \Delta V_{\text{н}} l_{\text{ср}} = \Sigma \Delta V_{\text{в}} l_{\text{ср}}$ (и позволяет определить среднюю дальность возки $l_{\text{ср}}$).

По 3-м (4-м) положениям распределительной линии выбирается вариант, при котором стоимость работ наименьшая.

При идентичной организации работ (например, экскаваторными комплексами) допустимо сравнение вариантов по кубо-км перевозимого грунта.

Пример. Исходные данные: продольный профиль участка, график попикетных объемов земляных работ (рис. 7.2).

Решение. Строим кумулятивную кривую объемов земляных работ. Проводим горизонтальную распределительную линию при 3-х ее положениях (вариантах). Для каждого положения распределительной линии определяем объемы рабочей кубатуры $V_{\text{рп}}$, среднюю дальность возки грунта $l_{\text{ср}}$ и объем работ по перемещению грунта (табл. 7.4). При определении средней дальности возки $l_{\text{ср}}$ каждый сегмент заменяем прямоугольником таким образом, чтобы площади $F_1' = F_1''$ и $F_2' = F_2''$ были равновеликими; $V_{\text{рп}}$ определяем по ординатам кумулятивной кривой (кривой суммарных объемов).

Таблица 7.4

Распределение земляных масс по графику суммарных объемов

Показатели по вариантам		Значения показателей по участкам V_i тыс м ³ , l_i км					Итого
Вариант j	Показатели	1 — $V_{\text{вк}}$	2 — $V_{\text{вн}}$	3 — $V_{\text{вн}}$	4 — $V_{\text{вн}}$	5 — $V_{\text{кн}}$	
I	$V_{\text{раб}}$	13	34	—	21	18	73
	$V_{\text{пр}}$	13	68	—	42	18	141
	$l_{\text{ср}}$	0,10	0,38	—	0,33	0,30	
	$\Sigma V_{\text{раб}} l_{\text{ср}}$	1,30	12,92	—	6,93	5,40	26,55
II	$V_{\text{раб}}$	23	24	10	11	28	96
	$V_{\text{пр}}$	23	48	20	22	28	141
	$l_{\text{ср}}$	0,10	0,30	0,20	0,21	0,30	
	$\Sigma V_{\text{раб}} l_{\text{ср}}$	2,30	7,20	2,00	2,31	8,40	22,21
III	$V_{\text{раб}}$	34	13	21	—	39	107
	$V_{\text{пр}}$	34	26	42	—	39	141
	$l_{\text{ср}}$	0,10	0,22	0,32	—	0,30	
	$\Sigma V_{\text{раб}} l_{\text{ср}}$	3,40	2,86	6,72	—	11,70	24,68

Строим график объемов перевозок, перемещения грунта (рис. 7.2). Анализируя j -е варианты, устанавливаем, что при одинаковых объемах профильной кубатуры по 1-му варианту наименьшие объемы рабочей кубатуры из выемки в кавальер, в насыпь из карьера, наибольшие — из выемок в насыпи, но при значительных $l_{внj}$ и $\Sigma V_j l_j$; по 2-му варианту наименьшие l_j и $\Sigma V_j l_j$; по 3-му наибольшие объемы рабочей кубатуры из выемок в кавальер и из карьера в насыпь.

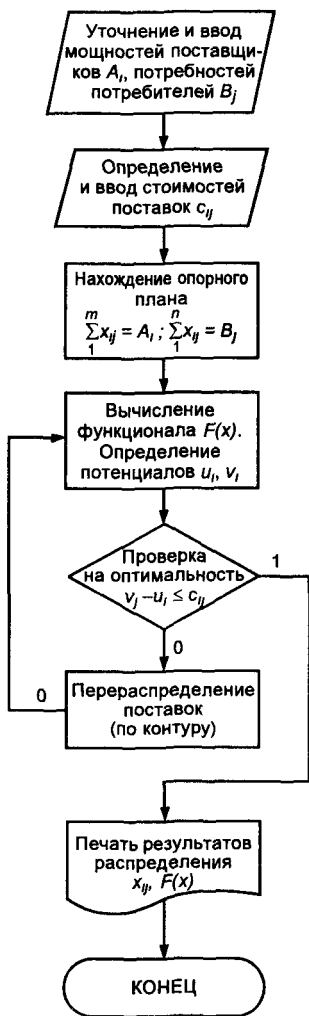


Рис. 7.6. Блок-схема алгоритма решения транспортной задачи линейного программирования

Оптимальным является распределение земляных масс по 2-му варианту, что подтверждается графиком $\Sigma V_{pi} l_i(j)$.

Для ПОР железнодорожной линии составляется ведомость распределения земляных масс с указанием границ участков, объемов работ, отсыпки насыпей (из выемок, карьеров, резервов), разработки выемок (с перемещением в насыпь, в кавальер), способов производства работ.

Задача 7.9. На участке земляных работ выполнить оптимальное распределение земляных масс.

Решение. Методами линейного программирования по модели транспортной задачи. Алгоритм решения

— составляется исходная матрица с указанием стоимостных оценок c_{ij} , запасов (мощностей) каждого поставщика $A_i, i = \overline{1, m}$; потребностей потребителей $B_j, j = \overline{1, n}$;

— проверяется условие: $\Sigma A_i = \Sigma B_j$ и, если условие не соблюдается, задача приводится к форме закрытой введением фиктивного «потребителя»: в клетки «запрещенных» поставок (например, из карьеров в кавальер) вводится большое значение c_{ij} ;

— находится начальный (опорный) план методами: диагональным (северо-западного угла), минимального элемента (стоимости) по строкам, столбцам, в матрице, двойного предпочтения, аппроксимации Фогеля;

— опорный план проверяется на «вырожденность» по условию: количество занятых (загруженных) клеток $N_k = n + m - 1$; если N_k меньше (случай вырожденности), то в клетки (с наименьшими c_{ij}) заносят 0 и эти клетки считаются занятыми;

— опорный план проверяется на оптимальность (методом потенциалов) по условиям: для занятых клеток матрицы

$$V_j - U_i = c_{ij} \text{ или } V_j - U_i - c_{ij} = 0;$$

для свободных клеток

$$V_j - U_i \leq c_{ij} \text{ или } V_j - U_i - c_{ij} \leq 0;$$

где U_j, V_i — потенциалы, приписываемые каждому поставщику, потребителю;

— при несоблюдении условий оптимальности поставки перераспределяются по замкнутому контуру (циклу перераспределения);

— новый план проверяется на вырожденность и оптимальность;

— итерационно каждый новый план перераспределения улучшается до его полной оптимизации; вычисляется целевая функция $F(x)$, возможно в условных стоимостных индексах (или в ценах 1984 г.)

Блок-схема алгоритма решения транспортной задачи линейного программирования на рис. 7.6.

Задача 7.10. На участке земляных работ при аналогичной их организации экскаваторными комплексами определить оптимальное распределение земляных масс.

Решение. По модели транспортной задачи. Учитывая идентичность организации работ в карьерах (одинаковой стоимости экскавации и возки 1 м^3 грунта), в качестве критерия оптимальности допустимо использовать дальность возки грунта от грунтовых карьеров, выемок.

Пример. Четыре насыпи отсыпаются из трех карьеров. Объемы запасов грунта в карьерах (поставщики), потребности его в насыпях (потребители) и соответствующие дальности возки грунта c_{ij} (км) приведены в исходной матрице (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Распределение земляных масс (тыс. м^3)

Карьеры (поставщики)	Насыпи (потребители)				Запасы грунта в карьерах
	H_1	H_2	H_3	H_4	
K_1	1,5 x_{11}	2,3 x_{12}	3,0 x_{13}	4,0 x_{14}	150
K_2	2,5 x_{21}	1,7 x_{22}	1,0 x_{23}	2,0 x_{24}	100
K_3	4,4 x_{31}	2,4 x_{32}	2,9 x_{33}	1,9 x_{34}	110
Объемы потребности грунта в насыпях	79	126	74	81	360

Таблица 7.7

**Распределение земляных масс (тыс. м³)
(оптимальный план)**

Карьеры (поставщики)	Насыпи (потребители)				Запасы грунта в карьерах	
	H_1	H_2	H_3	H_4		
K_1	1,5 79	2,3 71	3,0	4,0	150	$U_1 = 0,0$
K_2	2,5	1,7 26	1,0 74	2,0	100	$U_2 = 0,6$
K_3	4,4	2,4 29	2,9	1,9 81	110	$U_3 = -0,1$
Объемы потребности грунта в насыпях	79	126	74	81	360	U_i
V_j	$V_1 = 1,5$	$V_2 = 2,3$	$V_3 = 1,6$	$V_4 = 1,8$		

Проверяем распределение поставок на оптимальность (по свободным клеткам) $1 - 3$ $1,6 - 0,0 < 3,0$; $1 - 4$ $1,8 - 0,0 < 4,0$;
 $2 - 1$ $1,5 - 0,6 < 2,5$; $2 - 4$ $1,8 - 0,6 < 2,0$;
 $3 - 1$ $1,5 - (-0,1) < 4,4$; $3 - 3$ $1,6 - (-0,1) < 2,9$.

Условия оптимальности соблюдаются. Величина потенциала

$$F(x)_2 = 79 \cdot 1,5 + 71 \cdot 2,3 + 26 \cdot 1,7 + 74 \cdot 1,0 + 29 \cdot 2,4 + 81 \cdot 1,9 = 623,5 < F(x)_1.$$

Задача 7.11. Выполнить оптимальное распределение земляных масс на участке по модели транспортной задачи, пользуясь программным обеспечением для ПК.

1. Исходные данные. Участок железнодорожной линии между руслами водотоков с попикетными объемами земляных работ. Стоимость разработки и перемещения 1 м^3 грунта экскаваторными, скреперными комплексами c_{ij} .

Решение. Выполняется членение объемов на частные массивы насыпей и выемок (вертикальными и горизонтальными плоскостями). Определяются возможности разработки карьеров, резервов, которые вместе с выемками являются поставщиками грунта. Потребителями являются насыпи и возможно кавальеры. Составляется начальный план, который оптимизируется методом потенциалов.

В случае необходимости объемы резервных поставщиков (карьеров и резервов) принимаются равными сумме объемов всех основных потребителей, объемы резервного потребителя (кавальера) по условию $\Sigma A_i = \Sigma B_j$.

Если поставки из выемок H_{vi} в кавальеры $K_{вк}$, и из резервов P_j в насыпи H_1, H_2, H_3 невозможны или нецелесообразны, то в эти клетки вносится показатель запрещенных поставок — большое число c_{ij} . В клетки для резервных

поставщиков (и резервного потребителя) заносится показатель фиктивной поставки — нуль.

Пример. Матрица исходных данных в табл. 7.8 (по данным [30]). Стоимость c_{ij} в ценах 1984 г., переводится на текущие цены коэффициентами индексаций.

Таблица 7.8

Исходная матрица распределения земляных масс

Выемки, карьеры (поставщики) и их запасы,		Насыпи (потребители) и их потребности, м ³				
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
		9670	7220	7210	6760	3180
1. B_1	4550	0,27	0,18	0,35	0,43	0,49
2. B_2	6600	0,3	0,22	0,27	0,36	0,43
3. B_3	7880	0,86	0,8	0,3	0,25	0,16
4. K_p	10000	0,92	0,86	0,37	0,3	0,21
5. B_4	5010	0,95	0,88	0,39	0,33	0,24

Объем земляных работ — 34040 м³.

Расчет выполняем, например, по программе TRANS ДГУЖТ (ДИИТ) — по модели транспортной задачи линейного программирования с оптимизацией методом потенциалов. Результаты приведены в табл. 7.9.

Таблица 7.9

Оптимальное распределение земляных масс

Поставщики	Потребители	Поставки, м ³	Поставщики	Потребители	Поставки, м ³
4	5	3180	4	4	6760
1	2	4550	3	3	7210
2	2	2670	3	1	670
2	1	3930	5	1	5010
4	1	60			

Величина функционала 12835,1 (суммарные затраты в руб., тыс.руб.)

2. Исходные данные. Участок земляного полотна протяженностью 2—5 км. Параметры продольного профиля. Характеристики грунтов (прил. 7.2).

Решение. Пользуясь пакетом программ RZM-DIALOG [73] в операционном поле ЭТ Qattro с операционной системой MS DOS.

Пакет содержит три файла с программами, реализующими: RZMID — подготовку и редактирование входных данных; RZMQ — расчет профильных объемов, построение графика попикетных объемов; RZMMR — распределение земляных масс (в диалоговом режиме). Оценка результатов распределения земляных масс с использованием пакета программ RZM приведена на рис. 7.7.

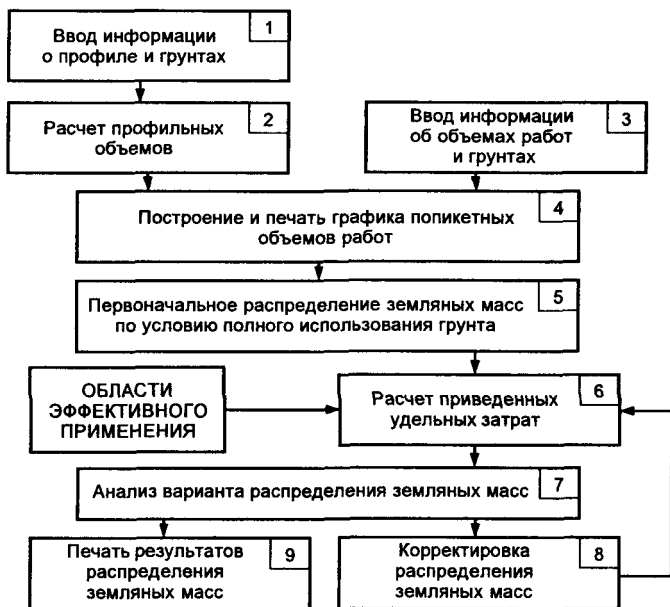


Рис. 7.7 Структурная схема алгоритма распределения земляных масс — RZM (в диалоговом режиме)

7.2.3. Определение способов и сроков производства работ

Задача 7.12. Определить потребность в машинах ведущих, комплектующих и продолжительность их работы t_{ij} на участках земляных работ (объектах земляного полотна), технологические модули машин.

Исходные данные: Общая продолжительность земляных работ $T_{зр}$; объемы земляных работ x_{ij} на j -х участках; нормы затрат машинного времени $H_{врij}$; составляющие T_i фонда машинного времени Φ_K .

Решение. Последовательно определяются

- затраты машинного времени: машиноёмкость для машин каждого k -го типоразмера на каждом j -м участке $M_{kij} = x_{ij}H_{врij}^k$;
- общая машиноёмкость машин одинакового типоразмера $M_k = \sum M_{kij}$;
- фонд рабочего времени машин каждого k -го типоразмера в течение срока земляных работ $T_{зр}$

$$\Phi_K = (T_K - T_{вп} - T_M - T_{пн})K_{см}/(1 + T_{рм}K_{см}t_{см}),$$

где T_K — календарный период; $T_{вп}$ — выходные, праздничные дни за календарный период; количество дней; T_M — с неблагоприятными метеорологическими условиями, $T_{пн}$ — на перемещение машин по объектам и нерабочих по непредвиденным причинам, $T_{рм}$ — на техобслуживании и в ремонте; $K_{см}$ — коэффициент сменности, $t_{см}$ — продолжительность смены.

По этим данным определяются

— необходимое количество машин каждого типоразмера

$$N_k = M_k / \Phi_k;$$

— продолжительность работы машин каждого типоразмера

$$t_{ij} = x_{ij} H_{вр ij} / (N_k K_{см}).$$

Эта продолжительность t_{ij} работы ведущих машин (комплексов) используется при составлении календарных графиков земляных работ.

Задача 7.13. Распределить парк землеройных машин по участкам земляных работ.

Исходные данные: объемы земляных работ на j -х участках V_j ; эксплуатационная производительность i -х ведущих машин на j -х участках Π_{ij} ; себестоимость земляных работ C_{ij} ; составляющие планового фонда рабочего времени $\Phi_{п}$ машин T_i , комплектующих машин Φ_k .

Решение. Определяется фонд рабочего времени ведущих машин

$$\Phi_{п} = (T_p - T_m - T_{пр} - T_{нп} - T_{рм}) K_{см} t_{см},$$

где T_p — период рабочего времени; затраты времени: T_m — по метеословиям, $T_{пр}$ — на передислокацию, $T_{нп}$ — на непредвиденные простои, $T_{рм}$ — на ремонт машин.

Стоимость земляных работ i -ой машины на j -м участке

$$C_{ij} = c_{ij} \Pi_{ij},$$

где c_{ij} — стоимость единичного объема (m^3) земляных работ машинами i -го типа на j -м участке.

Необходимо оптимальное распределение фонда машинного времени (количества машин x_{ij}) ведущих машин i -го типа на j -х участках, обеспечивающее \min стоимость земляных работ, которая определяется целевой функцией $F(x)$ при ограничении: суммарные затраты маш-ч. i -ой машины не должны превышать фонд рабочего времени. При этом должен быть выполнен полный объем работ ΣV_j на всех j -х участках $\Pi_{ij} x_{ij}$.

Тогда математическая модель задачи получит выражение

$$\begin{aligned} F(x) &= \Sigma \Sigma c_{ij} \Pi_{ij} x_{ij} \rightarrow \min; \\ \Sigma \Pi_{ij} x_{ij} &= V_j, j = i, n; \\ \Sigma x_{ij} &\leq \Phi_i, i = i, m; \\ \forall x_{ij} &\geq 0 \end{aligned}$$

Для комплектующих машин (грунтоуплотняющих, разравнивающих грунт, планирующих поверхности и др.)

$$\Sigma K_{ijk} x_{ij} < \Phi_k,$$

где K_{ijk} — количество часов работы комплектующих машин k -го типоразмера.

Такая задача является распределительной и решается методами линейного программирования (по методике решения транспортной задачи) [26, 30, 123].

Продолжительность работы комплекса (ведущей i -ой машины на j -м участке)

$$t_{ij} = x_{ij} T_{п} / \Phi_i,$$

где $T_{п}$ — плановый период работы всего парка машин.

Интерпретация распределительной задачи линейного программирования в матричной форме приведена в табл. 7.10.

Таблица 7.10

Распределение парка машин

Наименование, марка машины	Объемы работ на j -х участках V_j						Фонд рабочего времени
	1 - V_1	2 - V_2	..	V_j	...	V_n	
1. Экскаватор	$c_{11} C_{11}$ $x_{11} П_{11}$	$c_{12} C_{12}$ $x_{12} П_{12}$	...	$c_{1j} C_{1j}$ $x_{1j} П_{1j}$	...	$c_{1n} C_{1n}$ $x_{1n} П_{1n}$	Φ_1
...
$i..$	$c_{i1} C_{i1}$ $x_{i1} П_{i1}$	$c_{i2} C_{i2}$ $x_{i2} П_{i2}$	...	$c_{ij} C_{ij}$ $x_{ij} П_{ij}$	...	$c_{in} C_{in}$ $x_{in} П_{in}$	Φ_i
...
$m..$	$c_{m1} C_{m1}$ $x_{m1} П_{m1}$	$c_{m2} C_{m2}$ $x_{m2} П_{m2}$	..	$c_{mj} C_{mj}$ $x_{mj} П_{mj}$	...	$c_{mn} C_{mn}$ $x_{mn} П_{mn}$	Φ_m

В таблице C_{ij} , c_{ij} — себестоимость работы комплекта машин, единицы продукции; $П_{ij}$ — среднечасовая (сменная) производительность комплекса (по ведущей машине).

Задача 7.14. При выборе способа производства работ определить плановую производительность ведущих машин на земляных работах.

Решение. Плановая сменная производительность машин равна

$$П_{см} = П_{тч} K_1 K_2 t_{см} = П_{эк} K_2 t_{см},$$

где $П_{тч}$, $П_{эк}$ — техническая, эксплуатационная (часовая) производительность машины; K_1 — коэффициент перехода от технической к эксплуатационной производительности машины; K_2 — коэффициент перехода от производственной нормы к плановой; $t_{см}$ — продолжительность смены.

Суточная производительность

$$П_{сут} = K_{см} П_{см} K_в,$$

где $K_{см}$ — коэффициент сменности;

$K_в$ — коэффициент использования по времени.

Годовая эксплуатационная производительность землеройных машин

$$П_г = П_{эч} \Phi,$$

где Φ — годовой фонд рабочего времени, который определяется по числу рабочих дней, смен, часов работы в годовом эксплуатационном режиме машин [73].

Число рабочих дней в году (по ЦНИИОМТП)

$$D_p = D_k - (D_{рем} + D_{пер} + D_m + D_{орг} + D_{вых}),$$

где D — количество дней: D_k — календарных; $D_{рем}$ — в ремонте, техническом обслуживании; $D_{пер}$ — на перебазировании; D_m — с неблагоприятными метеоусловиями; $D_{орг}$ — простоя машин по организационным причинам; $D_{вых}$ — выходных и праздничных.

Задача 7.15. Определить оптимальную структуру парка машин для выполнения земляных работ.

Решение. Симплекс-методом линейного программирования.

Пример. Для выполнения земляных работ (объемом до 1 млн. м³) с разными условиями (по грунтам и объемам на объектах) возможно использование имеющихся экскаваторов трех типов: ЭО-3211 с вместимостью ковша 0,45 м³; ЭО-4321 0,8; ЭО-4121 1,0 м³ (прил. 7.1).

Согласно годовой выработке (на 1 м³ емкости ковша) потребная мощность экскаваторного парка для выполнения объема земляных работ — 6,7 м³ суммарной емкости ковшей. Стоимость работ для типов экскаваторов (в условных ценах, 1984 г.) приведена c_{ij} в платежной матрице (табл. 7.11). Исходные данные по [30].

Таблица 7.11

Стоимостные показатели экскаваторных работ

Условия работ — грунты	Типы экскаваторов		
	ЭО-3211	ЭО-4321	ЭО-4121
Грунты III группы	0,21	0,59	0,76
III-IV группы	0,67	0,35	0,57
IV группы	0,83	0,42	0,23

Решение. Пусть $x_i = P_i/\Delta$ учитывает долю P_i типа экскаватора в выполнении земляных работ. Тогда целевая функция

$$F(x) = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow \max \text{ или } F(x) = -x_1 - x_2 - x_3 \rightarrow \min$$

$$\text{при ограничениях } 0,21x_1 + 0,59x_2 + 0,76x_3 \leq 1,0;$$

$$0,67x_1 + 0,35x_2 + 0,57x_3 \leq 1,0;$$

$$0,83x_1 + 0,42x_2 + 0,23x_3 \leq 1,0;$$

Требуется минимизировать целевую функцию на множестве неотрицательных решений линейных уравнений, определить потребность экскаваторов каждого типа.

Решение. Симплекс-методом по программе LinProg:

Введите число переменных — 3, ограничений — 3, погрешность вычислений — 0,1; коэффициенты целевой функции.

Целевая функция $-1X(1) + -1X(2) + -1X(3)$.

Введите коэффициенты ограничений: $.21X1 + .59X2 + .76X3 <= 1$

$.67X1 + .35X2 + .57X3 <= 1$

$.83X1 + .42X2 + .23X3 <= 1$

Ответ: целевая функция = -1,9; $X1 = .4$; $X2 = 1,4$; $X3 = .1$.

Тогда при $1/\Delta = 1,9$ $\Delta = 0,526$; $P_1 = \Delta \cdot x_1 = 0,526 \cdot 0,4 = 0,21$; $P_2 = 0,74$; $P_3 = 0,05$.

Оптимальная потребность экскаваторов для земляных работ:

ЭО-3211 $6,7 \cdot 0,21/0,45 = 3,1 \approx 3$ экскаватора в течение года;

ЭО-4321 $6,7 \cdot 0,74/0,80 = 6,2 \approx 6$ экскаваторов;

ЭО-4121 $6,7 \cdot 0,05/1,00 = 0,34 \approx 1$ экскаватор в течение 4-х месяцев.

Задача 7.16. Определить эксплуатационную производительность ведущих землеройных машин.

Решение. Эксплуатационная производительность землеройных машин определяется с учетом конкретных условий работы, категории грунта, технологии работ, транспортных средств, дальности перемещения, сменности работы и других параметров.

Эксплуатационная производительность экскаватора

$$P_э = 60qnK_H K_p K_{пв} K_в, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где q — геометрическая емкость (вместимость) ковша; n — число циклов экскавации в минуту (табл. 7.12); коэффициенты: K_H — наполнения ковша; K_p — разрыхления грунта (табл. 7.13); $K_{пв}$ — потерь времени на передвижки, неисправности машины и др., $K_в$ — использования машины по времени (табл. 7.14).

Таблица 7.12

Количество циклов экскавации в минуту

Вид экскаватора	Число циклов в мин. при емкости ковша, м ³			
	0,25–0,30	0,50–0,65	0,80–1,00	1,25–2,00
Прямая лопата	3,6	3,3	3,3	2,6
Обратная лопата	2,9	2,6	2,4	—
Драглайн	2,0	2,6	2,4	2,1

Таблица 7.13

Значения коэффициентов наполнения ковша, разрыхления грунта

Группа грунта	Значения коэффициентов	
	наполнение ковша K_H	разрыхление грунта K_p
I	1,02–1,15	1,10–1,28
II	1,12–1,32	1,10–1,30
III	1,18–1,35	1,14–1,32
IV	1,25–1,40	1,20–1,42

Примечание. Меньшие значения коэффициентов соответствуют сухим грунтам, большие — влажным.

Таблица 7.14

Значения коэффициента использования рабочего времени $K_в$

Характер разработки грунта	Коэффициент использования экскаваторов по времени при емкости ковша, м ³		
	0,25–0,65	1,00–1,25	2,00–4,00
С погрузкой на транспорт	0,77	0,78	0,87
При работе в отвал	0,87	0,92	0,94

Значения продолжительности рабочих циклов экскаваторов (при угле поворота стрелы 90°) приведены в табл. 7.15.

Таблица 7.15

Значения продолжительности рабочих циклов экскаваторов

Емкость ковша экскаватора, м ³	Продолжительность циклов экскавации $t_{ц}$, с	
	прямая лопата	драглайн
0,25-0,35	14,0-14,5	17-18
0,50-0,65	15,0-16,0	19-20
0,75-0,80	16,5-17,0	21-23
1,00-1,25	17,5-18,0	24-26
1,50-1,75	19,0-19,5	27-29
2,00-2,50	21,0-21,5	30-32
2,50-2,75	22,0-22,5	33-35
3,00-3,80	23,0-23,5	36-38

Эсплуатационная производительность скрепера

$$P_3 = 60qK_H K_B / (T_{ц} K_P), \text{ м}^3/\text{ч},$$

где q — геометрическая емкость ковша; коэффициенты: K_H — наполнения ковша, K_B — использования по времени (0,8—0,9), K_P — разрыхления грунта (табл. 7.17); $T_{ц}$ — продолжительность рабочего цикла скрепера.

Коэффициент $K_H = q'/q$, где q' — объем грунта с шапкой (табл. 7.16).

$$T_{ц} = t_H + t_B + t_M + l_P / U_P + l_T / U_T,$$

где t_H , t_B , t_M — продолжительность набора, выгрузки грунта, маневров машины; l_P , l_T — длина пути порожнего, груженого скрепера; U_P , U_T — скорости движения порожнего, груженого скрепера;

$$t_H = qK_H / (h_c b_P K_P U_i); \quad t_B = qK_H / (h_c b_P U_T),$$

где h_c — толщина снятого грунта, стружки; b_P — ширина резания; U_i — скорость движения.

Эксплуатационная производительность грейдер-элеватора

$$P_3 = 60F_6 l_P K_P K_B / T_{ц},$$

где F_6 — поперечная площадь борозды за один проход; l_P — длина рабочего хода; K_P — коэффициент потерь грунта (при погрузке на транспортные средства 0,85-0,90, при отсыпке в насыпь или отвал 1,00); K_B — коэффициент использования по времени.

Период цикла $T_{ц} = l_P / U_P + l_H / U_H + t_M$,

где l_P , l_H — длина рабочего, нерабочего хода;

U_P , U_H — скорости рабочего, нерабочего хода;

t_M — время на маневры, повороты в конце участка.

Эксплуатационная производительность бульдозера

$$P_{3см} = 60q_6 K_B / (K_P T_{ц}),$$

где q_6 — геометрический объем грунта, перемещаемый отвалом

$$q_6 = 0,5bh^2 \quad (b, h \text{ — ширина, высота отвала}).$$

Таблица 7.16

Основные показатели для расчета производительности скреперов

Виды скреперов	Значения показателей						
	$q, \text{ м}^3$	$q', \text{ м}^3$	$t_{\text{н}}, \text{ мин.}$	$t_{\text{в}}, \text{ мин.}$	$t_{\text{м}}, \text{ мин.}$	$U_{\text{Г}}, \text{ км/ч}$	$U_{\text{П}}, \text{ км/ч}$
Прицепные	7	9	0,54—0,80	0,25	1,0	5,14	7,4
	10	12	0,80—1,07	0,33	1,0	5,14	7,4
	15	17	1,20—1,60	0,45	1,0	9,00	12,0
Самоходные	8-10	10-12	0,80—1,07	0,33	1,0-1,9	20	30
	15	18	1,20—1,60	0,45	1,0-1,9	20	30

Таблица 7.17

Значения коэффициентов наполнения ковша, разрыхления грунта

Виды грунта	Значения коэффициентов $K_{\text{н}}, K_{\text{р}}$	
	наполнение ковша	разрыхления грунта
Песок сухой	0,50—0,60	1,05—1,10
Песок влажный (W 12—15%)	0,70—0,90	1,15—1,20
Чернозем (W 4—5%)	1,10—1,25	1,30—1,35
Супеси, суглинки (W 4—6%)	1,10—1,20	1,20—1,40
Глина сухая	1,00—1,10	1,20—1,30
Древесный грунт	1,00—1,10	1,60—1,70

Период цикла $T_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + t_{\text{пм}} + t_{\text{п}} + t_{\text{пк}}$

где $t_{\text{н}}, t_{\text{пм}}, t_{\text{п}}, t_{\text{пк}}$ — время на наполнение, перемещение грунта, порожнего (обратного холостого) хода, на переключение передач и поворот трактора.

Задача 7.17. Определить необходимое количество транспортных средств (автосамосвалов) для механизированного (экскаваторного) комплекса.

Решение. *Вариант 1.* Последовательно определяются [36]

— количество ковшей $n_{\text{к}}$ (с грунтом) для заполнения кузова автосамосвала

$$n_{\text{к}} = Q_{\text{Г}} / (\rho_{\text{Г}} q_{\text{к}} K_{\text{н}}),$$

где $Q_{\text{Г}}$ — грузоподъемность автосамосвала; $\rho_{\text{Г}}$ — объемная масса грунта (средняя); $q_{\text{к}}$ — геометрическая емкость ковша экскаватора; $K_{\text{н}}$ — коэффициент наполнения ковша;

— емкость (вместимость) кузова автосамосвала $V_{\text{а}}$

$$V_{\text{а}} = n_{\text{к}} q_{\text{к}} K_{\text{н}};$$

— расчетное время погрузки автосамосвала

$$t_{\text{п}} = V_{\text{а}} / P_{\text{эч}},$$

где $P_{\text{эч}}$ — производительность экскаватора (часовая);

— необходимое количество автосамосвалов

$$N_a = T_{ц}/t_{п} = (t_{п} + l/v_{г} + t_{р} + l/v_{п} + t_{м})/t_{п},$$

где $t_{р}$, $t_{м}$ — время на разгрузку, на маневры; $v_{г}$, $v_{п}$ — скорости движения автосамосвалов в груженом, порожнем состоянии.

Вариант 2. При известных: производительности экскаватора Π_3 , грузоподъемности автосамосвалов Γ_a , плотности грунта $\rho_{г}$, дальности транспортирования грунта $L_{т}$ количество автосамосвалов к экскаваторному комплексу с одним экскаватором определяется по формуле [2]

$$N_a = \Pi_3/\Pi_a = \Pi_3 \rho_{г} [L_{т}/v_a + K_{га} \Gamma_a / (\rho_{г} \Pi_3) + t_{м}] / (K_{га} \Gamma_a),$$

где $K_{га}$ — коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала;

v_a — средняя скорость движения автосамосвалов,

$$v_a = 2 v_{г} v_{п} / (v_{г} + v_{п}).$$

Пример. Исходные данные. Экскаватор ЭО-4125 с вместимостью ковша $1,25 \text{ м}^3$, $\Pi_3 = 110 \text{ м}^3/\text{ч}$. Автосамосвалы КамАЗ 5511 с массой перевозимого грунта $\Gamma_a = 10,0 \text{ т}$, $K_{га} \Gamma_a = 0,9 \cdot 10 = 9,0 \text{ т}$. Плотность грунта $\rho_{г} = 1,9 \text{ т}/\text{м}^3$; $L_{т} = 4,0 \text{ км}$; $t_{м} = 2,5 \text{ мин} = 0,042 \text{ ч}$; $v_{г} = 25 \text{ км}/\text{ч}$; $v_{п} = 40 \text{ км}/\text{ч}$.

Решение. Средняя скорость движения автосамосвалов

$$v_a = 2 \cdot 25 \cdot 40 / (25 + 40) = 30,8 \text{ км}/\text{ч}.$$

Необходимое количество автосамосвалов в экскаваторном комплексе

$$N_a = 110 \cdot 1,9 [4,0/30,8 + 9,0/(1,9 \cdot 110) + 0,042]/9,0 = 5.$$

Задача 7.18. Определить контингент рабочих кадров механизированных комплексов (экскаваторных, скреперных и др.)

Исходные данные. Состав комплекса — количество машин каждого типоразмера $N_{к}$, нормы времени $H_{вр}$.

Решение. Количество рабочих (состав бригад $R_{б}$) для выполнения земляных работ определяется по формуле

$$R_{б} = (S_{м} + S_{р})/T_{зр},$$

где $S_{м}$ — трудоемкость рабочих (машинистов, шоферов и др.), управляющих машинами (табл. 7.18), $S_{р}$ — трудоемкость рабочих, связанных с работой машин; $T_{зр}$ — продолжительность земляных работ на участке.

Задача 7.19. Определить необходимые сроки выполнения земляных работ при строительстве железнодорожной линии.

Решение. Продолжительность производства земляных работ полная на всей железнодорожной линии

$$T_{зр} = 365 V_{р} / (\Pi_{мк} n_{мк}),$$

где $V_{р}$ — рабочий объем земляных работ на линии;

$\Pi_{мк}$ — плановая годовая производительность мехколонны;

$n_{мк}$ — количество механизированных колон.

Продолжительность производства земляных работ на j -м объекте

$$t_j = V_{рj} / (\Pi_{см} K_{см}) \quad \text{или} \quad t_j = K_{п} V_{рj} H_{врj} / (K_{см} t_{см}),$$

где $\Pi_{см}$ — сменная производительность ведущей машины;

$K_{п}$ — коэффициент перевода рабочих дней в календарные (1,4);

Таблица 7.18

Затраты труда рабочих, управляющих машинами

Наименование машин и механизмов	t_{ij}	N_i	$K_{см}$	Затраты труда рабочих по профессиям										
				Машинисты										Итого
				Эк	Пм	Скр	Бл	Тр	Аг	ГЭ	Шф	..		
Экскаваторный комплекс														
Экскаваторы														
Автосамосвалы														
Бульдозеры														
Автогрейдеры														
Уплотняющие машины														
ЖЭС...														
Скреперный комплекс														
Скреперы														
Рыхлители														
Толкачи.														
Грейдер — элеваторный комплекс														
Грейдер — элеваторы														
Автогрейдеры														
Бульдозеры..														
Всего														

Примечание. Обозначения: машинисты Эк — экскаватора, Скр — скрепера, Бл — бульдозера, Тр — трактора, Аг — автогрейдера, ГЭ — грейдер-элеватора; Пм — помощники; Шф — шоферы.

$K_{см}$ — коэффициент сменности (число смен работы в сутки);

$N_{врi}$ — норма времени ведущей машины (маш-ч на 1000 м³).

Продолжительность, период работы ведущей i -й машины на j -м участке

$$t_{ij} = V_{рj} / (N_{см} N_{м} K_{см}),$$

$N_{м}$ — количество ведущих машин.

Задача 7.20. Определить сроки завершения земляных работ на участке строительства железнодорожной линии..

Исходные данные: продолжительность i -х работ на j -х участках t_{ij} (в кодах и табличной форме).

Решение. Сроки завершения земляных работ определяются по продолжительности критического пути на сетевом графике (СГ), который рассчитывается табличным способом (табл. 7.19).

Расчет ранних сроков работ выполняется сверху вниз по правилам:

— раннее начало первого (начального) события равно 0;

— если какой-либо работе предшествуют $n \geq 2$ -х работ, то за раннее начало $t_{ij}^{рн}$ принимают наибольшее из ранних окончаний предшествующих работ $t_{hi}^{рo}$; $t_{ij}^{рн} = \max(t_{hi}^{рн} + t_{hi}) = \max t_{hi}^{рo}$;

— если событие относится к нескольким работам, то наибольшее из ранних окончаний предшествующих работ $t_{ij}^{рo}$ равно раннему началу последующей $t_{jk}^{рн}$; $t_{jk} = \max t_{ij}^{рo}$;

— ранние сроки окончания работы определяют по формуле $t_{ij}^{рo} = t_{ij}^{рн} + t_{ij}$ (гр. 3 + гр. 4).

Расчет поздних сроков работ выполняют снизу вверх по правилам:

— в последних строках записывают значения раннего начала последующих событий;

— для каждой работы вычисляют позднее окончание (гр. 7)

$$t_{ij}^{по} = \min(t_{jk}^{по} - t_{jk});$$

— позднее начало работы определяют по формуле

$$t_{ij}^{пн} = t_{ij}^{по} - t_{ij} \text{ (и результат записывают в гр. 6);}$$

— позднее начало последующей работы $t_{jk}^{пн}$ равно позднему окончанию предшествующей $t_{ij}^{по}$;

— если для какой-либо работы несколько работ являются предшествующими, то поздним окончанием для этой работы будет наименьшее из поздних начал последующих работ $t_{ij}^{по} = \min t_{jk}^{пн}$.

Таблица 7.19

Расчет параметров сетевого графика земляных работ
(табличным способом)

Количество предшествующих работ	Код работ <i>i-j</i>	Продолжительность работ <i>t_{ij}</i>	Ранние сроки		Поздние сроки		Резервы времени	
			начала <i>t_{ij}^{пн}</i>	окончания <i>t_{ij}^{по}</i> гр.3+гр.4	начала <i>t_{ij}^{пн}</i> гр.7-гр.3	окончания <i>t_{ij}^{по}</i>	общие <i>R_{ij}</i> гр.7-гр.5	частные <i>r_{ij}</i> гр.4 _{jk} -гр.5 _{ij}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
—	1-2	11	0	11	0	11	0	0
1	2-3	4	11	15	23	27	12	0
1	2-5	0	11	11	11	11	0	0
1	3-4	9	15	24	27	36	12	0
1	3-6	0	15	15	28	28	13	13
1	4-7	0	24	24	36	36	12	8
1	5-6	17	11	28	11	28	0	0
2	6-7	4	28	32	32	36	4	0
2	6-9	0	28	28	28	28	0	0
2	7-8	14	32	46	36	50	4	0
2	7-10	0	32	32	36	36	4	4
1	8-11	0	46	46	50	50	4	0
1	9-10	8	28	36	28	36	0	0
2	10-11	3	36	39	47	50	11	7
2	10-13	0	36	36	36	36	0	0
2	11-12	7	46	53	64	71	18	0
2	11-14	0	46	46	50	50	4	4
1	12-15	0	53	53	71	71	18	18
1	13-14	14	36	50	36	50	0	0
2	14-15	21	50	71	50	71	0	0
2	15-16	13	71	84	71	84	0	0

Резервы времени определяются по зависимостям:

полные (общие) $R_{ij} = t_{ij}^{по} - t_{ij}^{рн} = t_{jk}^{пн} - t_{jk}^{рн}$ (гр 7. — гр. 5);
 свободные (частные) $r_{ij} = t_{jk}^{рн} - t_{ij}^{рн}$; [$t_{jk}^{рн}$ (гр.4) — $t_{ij}^{рн}$ (гр.5)].

Наиболее продолжительный путь $T_{кр}$ — критический (резервы равны нулю, $t_{jk}^{рн} = t_{ij}^{по}$) — определяет сроки завершения земляных работ. Потенциал Π_i события i — максимальное время от данного события до завершающего — определяет величину наиболее продолжительного пути между этими событиями.

Пример расчета СГ земляных работ табличным способом (фрагмент для 2-х станций и 2-х перегонов) приведен в табл. 7.19. Продолжительность критического пути — 84 суток.

7.3. Технологические задачи оперативного управления

Задача 7.21. При разбивке положения высокой насыпи на косогорной местности определить границы ее откосов в поперечном профиле.

Решение [60, 89]. 1. Измерительным шаблоном ИШГ [19] и другими приборами (см. Альбом приборов, приспособлений и разбивочных знаков для контрольно-разбивочных работ при механизированном сооружении земляного полотна. М.:Оргтрансстрой, 1966).

Расчетная схема на рис. 7.8-1.

На шаблоне линейка устанавливается параллельно крутизне низовой части откоса и шаблон длиной l переставляется от осевой точки по косогору.

Пример. Насыпь $H_H = 5,6$ м, $B_{оп} = 6,0$ м, $m_1 = 1,5$, $m_2 = 1,75$.

Границы откосов (нагорного, подгорного) находятся в точках C_H , $C_{п}$, проложение до которых равно

$$L_H = L_0 = \Sigma l_i'' = B_{оп}/2 + m_1 H_H = 6,0/2 + 1,5 \cdot 5,6 = 11,4 \text{ м.}$$

$$L_{п} = \Sigma l_i' = L_0 - (6 - H_H)(m_2 - m_1) = 11,4 - (6,0 - 5,6)(1,75 - 1,5) = 11,3 \text{ м.}$$

Определение превышений (необходимое при ватерпасовке) не требуется.

2. Тригонометром ТГ (предложен автором). Расчетная схема на рис. 7.8-11.

Прибор последовательно перемещается от осевой точки по косогору, фиксируя проложения l_i и превышения p_i (при каждом шаге) до соблюдения условия на границе откоса

$$\text{подгорного (точка } C_{п}) \quad \Sigma l_i' - m_j \Sigma p_i' = L_0;$$

$$\text{нагорного (точка } C_H) \quad \Sigma l_i'' + m_j \Sigma p_i'' = L_0;$$

где m_j — крутизна откоса;

L_0 — некоторая постоянная, равная

$$\text{при } H_H < 6,0 \text{ м } L_0 = B_{оп}/2 + m_1 H_H;$$

$$6,0 < H_H < 12,0 \text{ м } L_0 = B_{оп}/2 + m_1 6 + m_2(H_H - 6);$$

$$H_H > 12,0 \text{ м } L_0 = B_{оп}/2 + 6(m_1 + m_2) + m_3(H_H - 12).$$

3. Способом наклонного луча визирования (НЛВ).

Ситуация 1 — рис. 7.8-III.1. $H_H < 4,0$ м.

Инструмент (теодолит ТМ, визирный оптический прибор ВОГ) устанавливают в пределах ПП (точка T_1). По рейке, устанавливаемой в точке C_0 по

оси и C_1 на расстоянии $B_{\text{оп}}/2$ от оси берут горизонтальные отсчеты O_0 и O_1 , определяют превышение $p = O_1 - O_0$. Визируя под углом проектной крутизны откоса берут отсчет O_2 и перемещая рейку определяют границу откоса ($C_{\text{от}}$) при отсчете по рейке $O_c = O_2 - (H_n + p)$.

Ситуация 2 — рис. 7.8-III.2 (слева). $H_n > 6,0$ м.

Инструментом (в точке T_1) при положении рейки в точке C_0 на оси и в точке C_1 на расстоянии $C_0C_1 = B_{\text{оп}}/2 + m_1b = L_0$, определяют превышение $p = O_1 - O_0$. Визируя параллельно уположенной части откоса (1: m_2) фиксируют отсчет O_2 и перемещая рейку определяют границу откоса ($C_{\text{от}}$) при отсчете по рейке $O_c = O_2 - (H_n - b + p)$;

Ситуация 3 — рис. 7.8-III.2 (справа). $H_{\text{от}} < 6,0$ м.

Инструмент устанавливают на расстоянии $C_0T_2 = B_{\text{оп}}/2 + mH_n$. По рейке, установленной на оси, берут отсчет O_0 и визируя параллельно проектному откосу (1: m) перемещают рейку к инструменту до получения отсчета $O_c = O_0 - (H_n - b)$ в точке $C_{\text{от}}$ на границе нагорного откоса.

Задача 7.22. Определить границы откосов выемки в поперечном профиле на косогоре.

Решение [60, 89]. 1. Измерительным шаблоном ИШГ (рис. 7.9-I).

На шаблоне линейка устанавливается параллельно уклону откоса и от осевой точки последовательно переставляется в нагорную, подгорную стороны. Границы откосов в точках C_1 и C_2 , проложение до которых равно

$$L_0 = B_{\text{оп}}/2 + B_k + mH_b.$$

Пример. Исходные данные: $H_b = 5,2$ м; $B_{\text{оп}} = 6,0$ м; $m = 1,5$.

$$\Sigma l_i = B_{\text{оп}}/2 + B_k + mH_b = 6,0/2 + 0,4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 0,6 + 1,5 \cdot 5,2 = 13,0 \text{ м.}$$

2. Тригонометром ТГ (рис. 7.9-II). Прибор последовательно перемещается от осевой точки в подгорную, нагорную стороны, фиксируя проложения l_i , превышения p_i при каждом шаге. Граница подгорного откоса будет в точке $C_{\text{п}}$, где соблюдается условие

$\Sigma l_i = B_{\text{оп}}/2 + B_k + m(H_b - \Sigma p_i)$ или $\Sigma l_i' + m \Sigma p_i' = L_0 = B_{\text{оп}}/2 + B_k + mH_b$; нагорного в точке $C_{\text{н}}$ при условии $\Sigma l_i'' - m \Sigma p_i'' = L_0$.

3. Способом наклонного луча визирования (НЛВ).

Ситуация 1 (рис. 7.9-III.1). Глубина выемки H_b' . Инструмент (ТМ, ВОГ) устанавливают в точке T_1 на расстоянии $C_0T_1 = B_{\text{оп}}/2 + B_k$. Граница откоса в точке C_1 , где отсчет по рейке $O_c' = O_0 + H_b'$.

При более глубокой выемке H_b'' граница откоса в точке C_2 , где при положении инструмента в точке T_2 отсчет по рейке

$$O_c'' = (H_b'' + O_0) - (O_{\text{п}} - O_3),$$

где $O_{\text{п}}$, O_3 — передний, задний отсчеты по рейке в точке C_1 .

Ситуация 2 (рис. 7.9-III.2). Пологий уклон местности.

Инструмент устанавливают на расстоянии $C_0T = B_{\text{оп}}/2 + B_k + mH_b$, берут горизонтальный отсчет O_0 и (при визировании параллельно откосу) перемещают рейку в полевую сторону до получения отсчета $O_c = O_0$ в точке $C_{\text{н}}$ на полевой бровке нагорного откоса.

$$\text{Аналитически } C_0C_{\text{п}} = (B_{\text{оп}}/2 + B_k + mH_b)\sqrt{n^2 + 1}/(n + m);$$

$$C_0C_{\text{н}} = (B_{\text{оп}}/2 + B_k + mH_b)\sqrt{n^2 + 1}/(n - m).$$

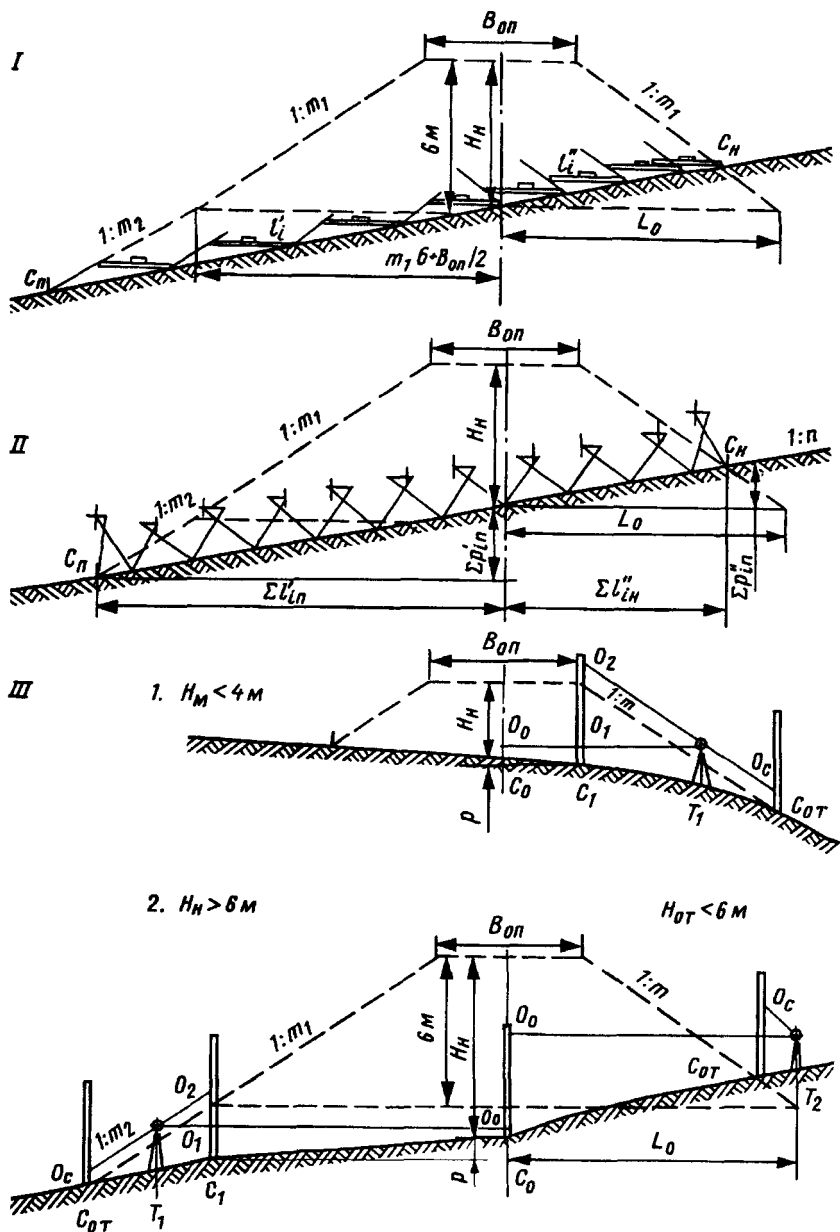
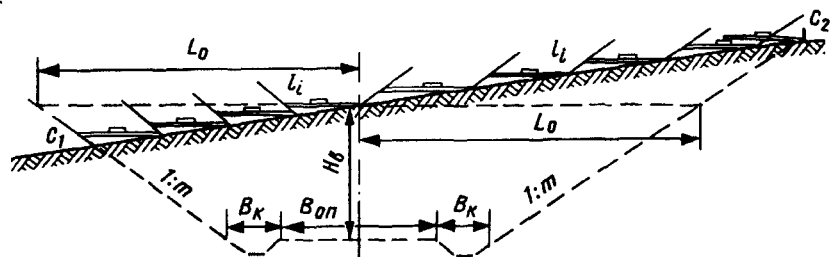
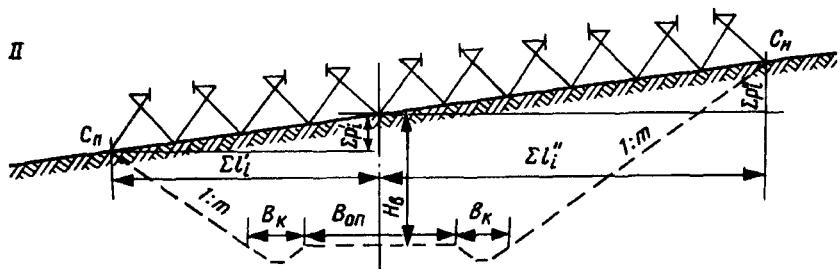


Рис. 7.8. Разбивки насыпей: I — разбивка насыпи шаблоном ИШГ; II — разбивка насыпи тригонометром ТГ; III — разбивка насыпи способом НЛВ

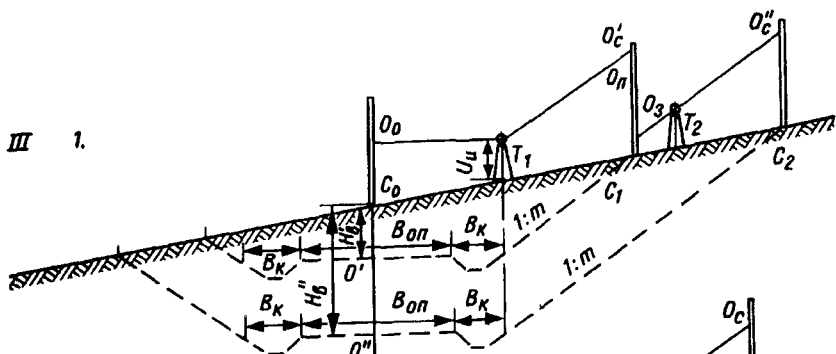
I



II



III 1.



2.

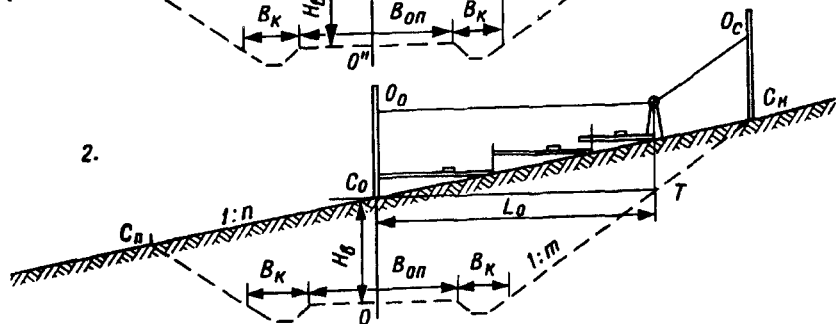


Рис. 7.9. Разбивки выемок: I — шаблоном ИШГ; II — тригонометром ТГ; III — способом НЛВ.

Задача 7.23. Определить положение границ откосов насыпи, выемки второго пути.

Решение. Границы откосов можно определять измерительным шаблоном ИШГ, тригонометром ТГ, удобно способом НЛВ.

Пример 1. Исходная ситуация на рис. 7.10-I. Насыпь $H_n < 6,0$ м; $B_{оп} = 6,5$ м; $B_M = 4,10$ м; показатель крутизны откоса $m = 1,5$.

Инструмент (ТМ, ВОГ) устанавливаем на обочине на расстоянии $l_{и} = 2,4$ м от оси пути, высота инструмента $V_{и} = 1,32$ м. Визируя под углом проектного откоса фиксируем (колышком) точку С. Граница откоса в точке $C_{от}$ на расстоянии

$$S_c = C C_{от} = B_M + B_{оп}/2 - l_{и} - mV_{и} = 4,1 + 6,5/2 - 2,4 - 1,5 \cdot 1,32 = 2,97 \text{ м.}$$

Пример 2. Исходная ситуация на рис. 7.10-II. Выемка. $B_{оп} = 6,5$ м; $B_M = 4,1$ м; $B_K = 2,2$ м; показатель крутизны откоса $m = 1,5$.

Инструмент устанавливаем на расстоянии $l_{и} = 2,54$ м от оси пути, высота инструмента $V_{и} = 1,28$ м. Визируя параллельно проектному уклону, по рейке, поставленной у откосной бровки в точке С, фиксируем отсчет $O_c = 312$.

Граница откоса в точке $C_{от}$ на расстоянии

$$S_c = C C_{от} = B_M + B_{оп}/2 + B_K - l_{и} - m(O_c - V_{и}) = 4,1 + 6,5/2 + 2,2 - 2,64 - 1,5(3,12 - 1,28) = 4,15 \text{ м.}$$

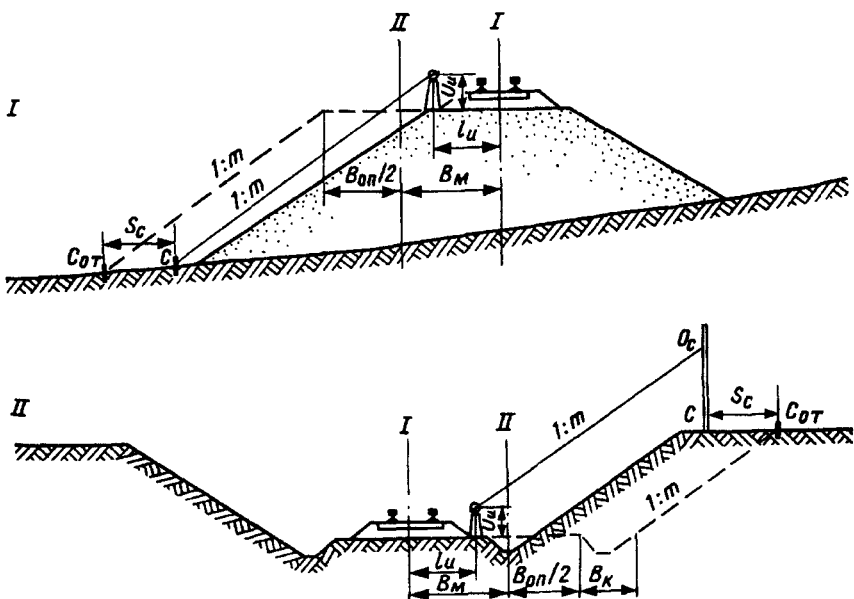


Рис. 7.10. Схемы разбивки второго пути; I — насыпь; II — выемка.

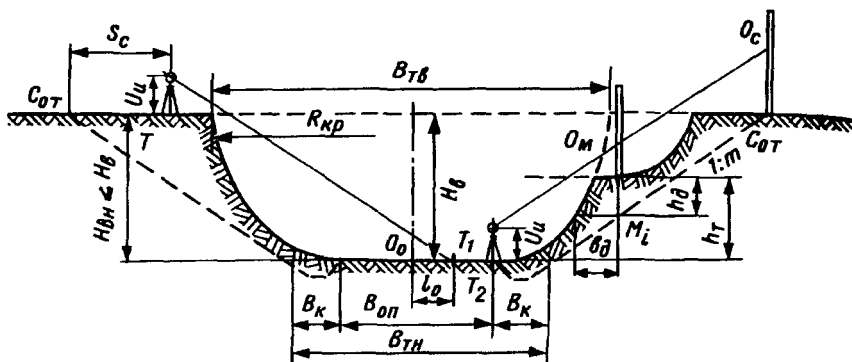


Рис. 7.11. Определение размерных параметров доработки выемки

Задача 7.24. Определить рабочие параметры доработки выемки. Расчетная схема на рис. 7.11.

Решение. Для восстановления откосной бровки выемки (при известном положении оси) инструмент (ГМ, ВОГ) устанавливаем в произвольной точке T , (рис. 7.11 слева), измеряем высоту инструмента $V_{и}$. Визируя под углом проектного откоса, фиксируем точку T_1 , измеряем $l_0 = O_0T_1$.

Тогда $S_c = TC_{от} = l_0 + B_{оп}/2 + B_к - mV_{и}$.

Для определения величины доработки откоса выемки инструмент устанавливаем, например, на расстоянии $B_{оп}/2$ от оси в точке T_2 (рис. 7.11 справа), измеряем $V_{и}$, рейку ставим на откосной бровке ($O_c = V_{и} + mB_к$). При визировании под углом проектного откоса величина недоработки грунта в каждой точке M_i равна $h_i = V_{и} + mB_к - O_m = O_c - O_m$.

Задача 7.25. Определить необходимую плотность (объемную массу) грунта при известных данных стандартного уплотнения грунта насыпи (выемки, карьера, резерва).

Исходные данные: P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 — общий вес цилиндра (кольца) прибора с уплотненным грунтом при влажности W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 ; $P_{ц}$ — вес пустого цилиндра (кольца); $V_{ц}$ — объем цилиндра (кольца).

Решение. Для каждой пары значений P_i, W_i вычисляют

$$\rho_{di} = (P_i - P_{ц}) / [V_{ц}(1 + W_i)].$$

Результаты заносят в таблицу (табл. 7.20).

Таблица 7.20

Параметры стандартного уплотнения грунта

P_i	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
W_i	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
ρ_{di}	ρ_{d1}	ρ_{d2}	ρ_{d3}	ρ_{d4}	ρ_{d5}

По полученным данным строится кривая стандартного уплотнения. По кривой определяются максимальная плотность ρ_{dmax} , оптимальная влажность $W_{оп}$. Необходимая плотность ρ_{dH} вычисляется по формуле $\rho_{dH} = K_y \rho_{dmax}$. Коэффициент уплотнения K_y берется из таблицы прил. 4.1.

Если глинистый грунт содержит от 5 до 40% частиц более 5 мм, то ρ_{dH} и $W_{оп}'$ определяются по формулам

$$\rho_{dH}' = \rho_{dmax} K_p; \quad W_{оп}' = W_{оп} K_w,$$

где ρ_{dmax} , $W_{оп}$ — соответственно максимальная плотность и оптимальная влажность отсеянного грунта (с фракциями $d_i < 5$ мм);

K_p , K_w — коэффициенты, учитывающие влияние крупных частиц соответственно на плотность и влажность грунта (прил. 4.1.3).

Ориентировочно $\rho_{dmax} = 1,97 - 0,0174 I_L$; $W_{оп} = K_{оп} W_{п}$; $K_{оп} = 0,75 - 0,70$ для супесей; $0,60 - 0,55$ для суглинков; $0,55 - 0,50$ для глин.

Пример. Дано. Насыпь на участке линии I категории, грунт супесчаный с содержанием частиц $d_i > 5$ мм 7%, значения W_i и P_{di} по результатам стандартного уплотнения грунта на приборе ДорНИИ для фракций $d_i < 5$ мм (табл. 7.21).

Таблица 7.21

Параметры стандартного уплотнения

$W_i, \%$	13,3	15,7	18,4	20,4	22,6
$\rho_{di}, \text{г/см}^3$	1,66	1,71	1,74	1,73	1,70

Решение. Строим график стандартного уплотнения грунта $\rho_d = f(W)$ (рис. 7.12). По графику определяем $\rho_{dmax} = 1,74 \text{ г/см}^3$ при оптимальной влажности $W_{оп} = 18,4\%$. Принимаем по прил. 4.1.3 $K_p = 1,03$; $K_w = 0,93$; по прил. 4.1.1 $K_y = 0,98$.

Вычисляем $\rho_{dmax}' = 1,74 \cdot 1,03 = 1,79 \text{ г/см}^3$;
 $W_{оп}' = 18,4 \cdot 0,93 = 17,1\%$.

Необходимая плотность

$$\rho_{dH} = 0,98 \cdot 1,79 = 1,75 \text{ т/м}^3 \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

Задача 7.26. Определить технологические параметры уплотнения, обеспечивающие необходимую плотность грунта насыпи.

Решение. Методом пробного уплотнения грунта насыпи.

Производят опытное пробное уплотнение, получают значения плотности грунта ρ_d в слоях разной толщины $h_{сл}$ при различном количестве проходок $n_{пр}$ грунтоуплотняющей машины. Строят график пробного уплотнения $\rho_d(h_j, n_i)$, по которому для необходимой (нормативной) плотности ρ_{dH} определяют технологические параметры уплотнения грунта насыпи: возможную оптимальную толщину слоев отсыпки (и уплотнения) грунта $h_{сл}$ и необходимое количество проходок $n_{пр}$ грунтоуплотняющей машины.

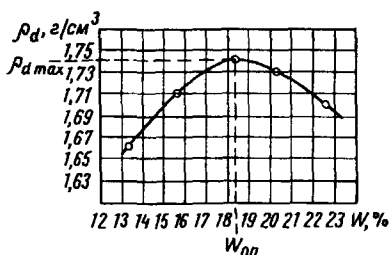


Рис. 7.12. График стандартного уплотнения супесчаного грунта $\rho_d = f(W)$

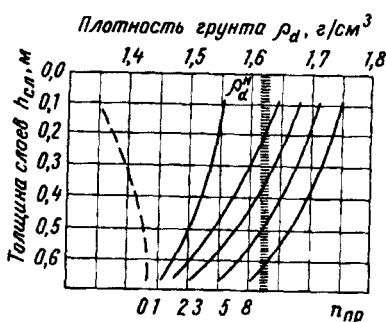
Пример. Определить технологические параметры уплотнения супесей пневмокатком.

Исходные данные: $\rho_d^H = 1,62 \text{ г/см}^3$ (при $K_y = 0,9$), результаты пробного уплотнения грунта насыпи с отбором проб плотномером (пенетрометром), средние значения которых приведены в табл.7.22.

Таблица 7.22

Значения плотности грунта при пробном уплотнении

Толщина слоев грунта $h_{сл}, \text{ м}$	Значение плотности грунта $\rho_d, \text{ г/см}^3$ и K_y при количестве проходов катка (по одному следу) $n_{пр}$									
	0		2		3		5		8	
	ρ_d	K_y	ρ_d	K_y	ρ_d	K_y	ρ_d	K_y	ρ_d	K_y
0,2	1,37	0,74	1,64	0,91	1,66	0,92	1,69	0,94	1,75	0,97
0,4	1,41	0,78	1,57	0,87	1,60	0,89	1,65	0,92	1,69	0,94
0,6	1,44	0,80	1,50	0,83	1,53	0,85	1,58	0,88	1,63	0,91

Рис 7.13. Графики пробного уплотнения $\rho_d(h_{сл}, n_{пр})$

Решение. По исходным данным строим график пробного уплотнения $\rho_d(h_j, n_i)$ (рис. 7.13). Наносим на график величину необходимой (нормативной) плотности грунта насыпи $\rho_d^H = 1,62 \text{ г/см}^3$.

По точкам пересечения ρ_d^H с кривыми графиков (n_i, h_j) определяем технологические параметры уплотнения: при слое грунта 0,2 м число проходов пневмокатка 2, при слое 0,4 м — 4, при слое 0,6 м 8 проходов. Выбираем оптимальные: толщину слоев отсыпки 0,4 м и 4 проходы пневмокатка (по одному следу).

Задача 7.27. Сформировать экскаваторный комплекс, определить оптимальный состав автомобилей — автосамосвалов.

Решение. Поскольку реальные производственные ситуации характеризуются стохастичностью параметров, для решения задачи целесообразно использовать математический аппарат системы массового обслуживания (СМО).

Каждое k -е состояние системы «экскаватор-автосамосвалы» задается вероятностью

$$P_k = [N! / (N - k)!] (\lambda_a / \gamma_3)^k P_0,$$

где λ_a — среднее количество автосамосвалов, поступающих на обслуживание (погрузку) — входящий поток требований; $\lambda_a = 1/T_{ц}$ ($T_{ц}$ — цикл оборота автосамосвала);

γ_3 — среднее количество автосамосвалов, обслуживаемых (загружаемых) экскаватором; $\gamma_3 = 1/t_{\Pi}$ (t_{Π} — время погрузки автосамосвала);

Математическое ожидание простоя равно

экскаватора $P_3 = 1/\Sigma(P_K/P_O) = \Sigma\{[N_a!/(N_a - k)!] \cdot (\lambda_a/\gamma_3)^k\}^{-1}$;

одного автосамосвала

$$P_a = \Sigma\{(k-1)P_K/N_a = \Sigma\{(k-1)[N_a!/(N_a - k)!] \cdot (\lambda_a/\gamma_3)^k P_O\}/N_a.$$

Пример. Требуется определить оптимальное количество автосамосвалов в экскаваторном комплексе с одним экскаватором.

Исходные данные. Экскаватор — прямая лопата ЭО-6112 с вместимостью ковша 1,25 м³; автосамосвалы КамАЗ 55102 с объемом кузова 7,9 м³, массой перевозимого груза 7 т [36]. Среднее время погрузки одного автосамосвала, смены автосамосвалов у экскаватора $t_{\Pi} + t_{\text{СМ}} = 1,5$ мин = 0,0025 ч., разгрузки $t_p = 1,3$ мин = 0,0217 ч.; средняя скорость транспортировки грунта $U_{\text{СР}} = 25$ км/ч.; средняя дальность транспортировки грунта $l_T = 1,8$ км.

Решение. Определяем расчетные параметры: средняя продолжительность цикла оборота автосамосвалов

$$T_{\text{Ц}} = t_{\Pi} + 2 l_T/U_{\text{СР}} + t_p = 0,025 + 2 \cdot 1,8/25 + 0,022 = 0,191 \text{ ч.};$$

средняя интенсивность входящего потока — поступления требований (автосамосвалов) на обслуживание (на погрузку)

$$\lambda_a = 1/T_{\text{Ц}} = 1/0,191 = 5,24 = 5 \text{ рейсов/ч.}$$

средняя плотность, интенсивность потока обслуживания (погрузки автосамосвалов) $\gamma_3 = 1/t_{\Pi} = 1/0,025 = 40$ автосамосвалов.

Необходимое количество автосамосвалов в экскаваторном комплексе (по циклу оборота автосамосвалов)

$$N_a = T_{\text{Ц}}(t_{\Pi} + t_{\text{СМ}}) = 0,191/0,025 = 7,6 = 8 \text{ автосамосвалов}$$

$$\text{или } N_{\text{аС}} = \lambda_a/\gamma_3 = 40/5 = 8 \text{ автосамосвалов.}$$

Определяем параметры простоя машин в комплексе при различном количестве автосамосвалов N_a от 3-х до 10-ти. Для каждого количества N_a автосамосвалов рассмотрим возможные состояния СМО, вычисляя отношение $P_K/P_O = N_a!(\lambda_a/\gamma_3)^k/(N_a - k)!$

При $N_a = 4$, например,

$$k = 0 \quad P_K/P_O = 1,0$$

$$k = 1 \quad P_K/P_O = 4!(5,24/40)^1/(4-1)! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 0,131^1/(1 \cdot 2 \cdot 3) = 0,524;$$

$$k = 2 \quad P_K/P_O = 24 \cdot (0,131)^2/2 = 0,206,$$

$$k = 3 \quad P_K/P_O = 24 \cdot (0,131)^3/1 = 0,054;$$

$$k = 4 \quad P_K/P_O = 0,0.$$

Аналогично определяем параметры состояний при других N_a , расчет сводим в таблицу (табл. 7.23), в которой вычисляем также простой экскаватора P_3 , автосамосвалов P_a при различном количестве N_a .

$$P_K = (P_K/P_O)P_O; \quad \Sigma P_K = 1,0.$$

Показатели состояния экскаваторного комплекса при разном количестве автосамосвалов (по модели СМО)

Кол-во само-свалов	Показатели	Значения показателей при возможном количестве автосамосвалов в комплексе N_a										Сумма	P_3	P_a			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				10		
3	κ	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	$(\kappa-1)$	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	P_{κ}/P_0	1,0	0,393	0,100											1,493	0,670	
	P_{κ}	0,670	0,263	0,067											1,0		
	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,067											0,067	0,022	
4	P_{κ}/P_0	1,0	0,524	0,206	0,054	0,0								1,784	0,560		
	P_{κ}	0,560	0,293	0,117	0,030									1,0			
	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,117	0,060									0,177	0,044		
	P_{κ}/P_0	1,0	0,655	0,344	0,135	0,035	0,0							2,169	0,461		
	P_{κ}	0,461	0,302	0,158	0,063	0,016								1,0			
5	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,158	0,126	0,048								0,332	0,066		
	P_{κ}/P_0	1,0	0,786	0,516	0,270	0,106	0,028	0,0						2,706	0,369		
	P_{κ}	0,369	0,290	0,192	0,100	0,039	0,010							1,0			
	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,192	0,200	0,117	0,040							0,549	0,092		
	P_{κ}/P_0	1,0	0,917	0,722	0,472	0,247	0,097	0,025	0,0					3,48	0,287		
7	P_{κ}	0,287	0,263	0,207	0,137	0,071	0,028	0,007						1,0			
	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,207	0,274	0,213	0,112	0,035						0,841	0,120		
	P_{κ}/P_0	1,0	1,048	0,963	0,756	0,495	0,259	0,100	0,024	0,0				4,645	0,215		
	P_{κ}	0,215	0,225	0,207	0,164	0,106	0,056	0,022	0,005					1,0			
	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,207	0,328	0,318	0,224	0,110	0,030					1,217	0,152		
9	P_{κ}/P_0	1,0	1,179	1,238	1,133	0,890	0,582	0,302	0,109	0,030	0,0			6,463	0,155		
	P_{κ}	0,155	0,813	0,192	0,175	0,138	0,089	0,047	0,017	0,004				1,0			
	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,192	0,350	0,414	0,356	0,235	0,102	0,028				1,677	0,186		
	P_{κ}/P_0	1,0	1,310	1,548	1,620	1,484	1,164	0,756	0,363	0,157	0,410	0,0		9,443	0,106		
	P_{κ}	0,106	0,139	0,164	0,172	0,157	0,123	0,080	0,038	0,017	0,004			1,0			
10	$P_{\kappa(\kappa-1)}$	—	0,0	0,164	0,344	0,471	0,492	0,400	0,228	0,119	0,032			2,250	0,225		

Вычисляем основные технико-экономические показатели (ТЭП) экскаваторного комплекса:

- коэффициенты использования по времени экскаватора $K_B^3 = 100(1 - P_3)$, %;
- автосамосвалов $K_B^a = 100(1 - P_a)$, %;
- стоимость убытков от простоев машин (в смену) экскаватора $C_{п}^3 = C_{мс}^3 P_3$;
- автосамосвалов $C_{п}^a = C_{мс} P_a N_a$;
- комплекса $C_{п}^к = C_{п}^3 + C_{п}^a$,

где $C_{мс}^3, C_{мс}^a$ — стоимость машиносмены экскаватора, автосамосвала;

- ожидаемую производительность экскаваторного комплекса

$$П^к = П_3 K_B^3,$$

где $П_3$ — эксплуатационная (сменная) производительность экскаватора (800—900 м³/см);

- себестоимость разработки и транспортировки 1 м³ грунта

$$C_1 = (C_{мс}^3 + C_{мс}^a N_a) / П_3.$$

Учитывая нестабильность цен, стоимость маш-смен для анализа работы комплекса принимаем в условных (1984 г.) единицах: для экскаватора 50 руб., для автосамосвалов 20. Вычисления сводим в табл. 7.24.

Выполняем графическую интерпретацию результатов (рис. 7.14).

Таблица 7.24

Технико-экономические показатели экскаваторного комплекса при разном количестве автосамосвалов

Наименование показателей	Машины, комплекс	Значения показателей при возможном значении количества автосамосвалов а комплексе N_a								
		3	4	5	6	7	8	9	10	
Простои в %	P_3	экскаватор	67,0	56,0	46,1	36,9	28,7	21,5	15,5	10,6
	P_a	автосамосв.	2,2	4,4	6,6	9,2	12,0	15,2	18,6	22,5
Стоимость потерь от простоя $C_{п}$, тыс. руб.	$C_{п}^3$	экскаватор	33,50	28,00	23,05	18,45	14,35	10,75	7,75	5,30
	$C_{п}^a$	автосамосв.	1,32	3,52	6,60	11,04	16,80	24,32	33,48	45,00
	$C_{п}^к$	комплекс	34,82	31,52	29,65	29,49	31,15	35,07	41,23	50,30
Коэффициент использования по времени K_B	K_B^3	экскаватор	0,330	0,440	0,539	0,631	0,713	0,785	0,845	0,894
	K_B^a	автосамосв.	0,978	0,956	0,934	0,908	0,880	0,848	0,814	0,775
Производительность комплекса $П^к$, м ³ /см	комплекс		330	440	539	631	713	785	845	894
Стоимость машино-смен $C_{мс}$, тыс. руб.	$C_{мс}^3$	экскаватор	50	50	50	50	50	50	50	50
	$C_{мс}^a$	автосамосв.	60	80	100	120	140	160	180	200
	$C_{мс}^к$	комплекс	110	130	150	170	190	210	230	250
Себестоимость грунта C_1 , руб./м ³	комплекс		0,333	0,295	0,278	0,269	0,266	0,267	0,272	0,279

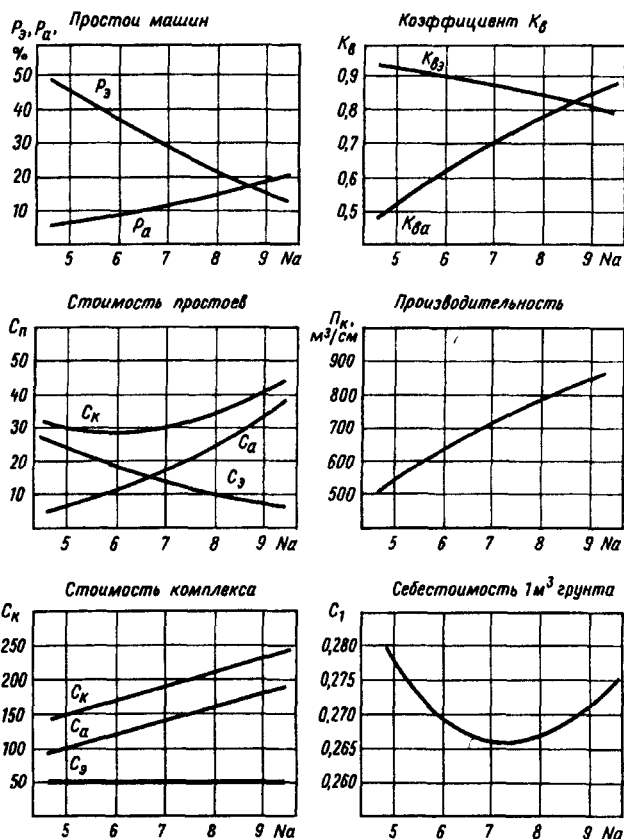


Рис. 7 14. Графики эффективности организации экскаваторного комплекса.
(Стоимость в руб.)

Анализируя, устанавливаем оптимальное количество автосамосвалов в экскаваторном комплексе:

- по величинам простоев и коэффициентов использования по времени — 8—9;
- по стоимости убытков от простоев — 6—7;
- по себестоимости 1 м^3 грунта — 7.

Техническое решение принимается в зависимости от целевых задач: ускорения земляных работ, снижения экономических показателей.

Задача 7.28. Определить оптимальный состав автосамосвалов в экскаваторном комплексе (с одним экскаватором).

Решение. По модели СМО, пользуясь программой ЭТ-МКОМ.

Структура ЭТ (табл. 7.25-1). Исходные данные: $t_{\text{пгр}}$, $L_{\text{воз}}$, $v_{\text{ср}}$, $t_{\text{гр}}$ и расчетные параметры: $T_{\text{об}}$, λ_a , γ_z в 1-м блоке в верхней части таблицы. Расчетные параметры состояний СМО — во 2-м блоке (по количеству k состояний и N_a).

Технико-экономические показатели комплекса при разном количестве автосамосвалов N_a — в 3-м блоке (нижняя часть таблицы). Решение задачи компактно, на одной странице.

Содержимое ячеек ЭТ-МКОМ фрагментарно (блок А23:D52) приведено в табл. 7.25-2.

Пример. Исходные данные по условию задачи 7.27; дальность возки 1,5 км. Результаты решения приведены в ЭТ (табл. 7.25-1). Анализируя, устанавливаем: оптимальное количество автосамосвалов в экскаваторном комплексе:

— по величине простоев и коэффициентов использования по времени — 8;

— по стоимости убытков от простоев — 6—7;

— по себестоимости 1 м³ грунта — 6.

Техническое решение принимается в зависимости от целевых задач организации земляных работ.

Изменяя исходные данные, в ЭТ можно получить любые другие решения по оптимальному составу экскаваторного комплекса.

Задача 7.29. Определить оптимальный состав автосамосвалов в экскаваторном комплексе с несколькими экскаваторами.

Решение. По модели СМО. Каждое состояние системы «экскаватор-автосамосвалы» при $n > 1$ задается вероятностью [30]

$$P_k = N!(\lambda_3/\gamma_3)^k P_0 / [n^{k-n} n!(N-k)!].$$

Вероятность простоя экскаваторов $P_3 = \sum_{k=0}^{k=n-1} (n-k)P_k$;

автосамосвалов $P_a = \sum_{k=n+1}^{\infty} (k-n)P_k$.

Практические расчеты показывают, что с увеличением числа экскаваторов в комплексе несколько снижается удельная стоимость потерь от простоев, себестоимость 1 м³ грунта

Задача 7.30. Определить оптимальные расстояния между присыпными разъездами, съездами (в условиях болот).

Расчетные схемы на рис. 7.15: 1 — схема отсыпки насыпи (с разъездами) в плане; разъезды на болотах: 2 — III типа; 3 — I-II типа; 4 — план разъезда.

Решение. При отсыпке насыпей на болотах способом «с головы» оптимальные расстояния между присыпными разъездами $l_{пр}$ (для разворота автосамосвалов на насыпи) должны быть такими (по временному фактору), чтобы потери времени от движения автосамосвалов задним ходом t_3 (сопоставимо с движением передним ходом t_n) не превышали времени $T_{пр}$, необходимого для отсыпки одного присыпного разъезда

$$T_{пр} = V_{пр} T_{ц} / V_1 < (V_n / V_1) (l_{пр} / v_{зд} - l_{пр} / v_{пр}),$$

где $V_{пр}$ — объем присыпного разъезда; $T_{ц}$ — период (цикл) оборота автосамосвала; V_n — объем насыпи на длине $l_{пр}$; V_1 — объем грунта, перевозимого автосамосвалом за 1 рейс; $v_{пр}$, $v_{зд}$ — скорость движения автосамосвалов передним и задним ходом (в груженом состоянии).

Таблица 7.25-1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРНОГО КОМПЛЕКСА, КОЛИЧЕСТВА АВТОСАМОСВАЛОВ (по модели СМО)-ЭТ МКОМ											
2												
3												
4	Исходные данные	$t_{нгр}$, час	025	$L_{воз}$, км	1 5	$U_{ср}$, км/ч	25	$t_{гр}$, час	02	$T_{об}$, час	165	
5	Интенсивность потока автосамосвалов	$\lambda_a = 1/T_{об} =$	6 060606	Производитель экскаватора	Π , м ³ /см	=	800					
6	Интенсивность потока обслуживания	$\gamma_a = 1/t_{нгр} =$	40	Средн колич самосв	$N_a = T_{об}/t_{нгр} =$	$\gamma_a/\lambda_a =$	6 6					
7	Стоимость машиномен (условная), т руб	— экскаватора	40	самосвала	20							
8												
9	Количество	Значения показателей при количестве N_a автосамосвалов										
10	автосамосвалов											
11	в экскаваторном	4	6	8	10	12						
12	комплексе											
13	N_a самосвалов	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$	$P_k/P_0 (K-1) \cdot P_k$
14												
15	0	1	—	1	—	1	—	1	—	1	—	1
16	1	6060606	0	9090909	0	1 212121	0	1 515152	0	1 818182	0	0
17	2	2754821	1401929	6887052	2111031	1 285583	2006772	2 066116	1311724	3 030303	0599479	
18	3	0834794	0849654	4173971	2558825	1 168712	3646877	2 504383	3179936	4 591368	1816603	
19	4	0	0	1897260	1744654	8853878	4146224	2 656163	5058990	6 260957	3715779	
20	5	0	0	0574927	0704911	5365987	3350484	2 414694	6132109	7 589038	6005300	
21	6	0	0	0	0	2439085	1903684	1 829314	5806921	8 048980	7961572	
22	7	0	0	0	0	0739117	0692249	1 108675	4223215	7 317255	8685351	
23	8	0	0	0	0	0	0	5039432	2239584	5 543375	7676447	
24	9	0	0	0	0	0	0	1527100	0775613	3 359621	5317020	
25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1 527100	2718930	
26	11	0	0	0	0	0	0	0	0	4627577	0915465	
27	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28												
29	Сумма	1 965022	2251582	3 262412	7119420	6 406223	1 574809	15 75115	2 872809	50 54894	4 541195	
30												
31	Простои экс-а, %	50 89			30 65			15 61		6 35		1 98
32	Простои самосв, %	1 88			5 93			13 12		23 94		37 84
33												
34	Стоимость простоев											
35	экскаватора, т руб	20 36			12 26			6 24		2 54		79
36	самосвалов т руб	1 50			7 12			21 00		47 88		90 82
37	эк комплекса т руб	21 86			19 38			27 24		50 42		91 62
38												
39	Козф ис по вр K_v											
40	экскаватора	49			69			84		94		98
41	самосвалов	98			94			87		76		62
42												
43	Производительность											
44	эк ком-са Π , м ³ /см	392 88			554 78			675 12		749 21		784 17
45												
46	Стоим м/см эк-ра C_3 , т руб	40 00			40 00			40 00		40 00		40 00
47	самосвалов $C_c = C_{мс} \cdot N_c$	80 00			120 00			160 00		200 00		240 00
48	эк ком-са $C_k = C_3 + C_c$	120 00			160 00			200 00		240 00		280 00
49												
50	Себестоимость грунта											
51	$C_f = C_k/\Pi_k$, руб/м ³	305 44			288 40			296 24		320 34		375 06
52												

Таблица 7.25-2

Содержимое ячеек ЭТ (A23:D52)

A23	=	B
C23	=	IF (A23>= C11,0, C22 * (F5/F6) * (C11-A22))
D23	=	IF (A23> C11,0, (1/C29) * (A23-1) * C23)
A24	=	9
C24	=	IF (A24>= C11,0, C23 * (F5/F6) * (C11-A23))
D24	=	IF (A24> C11,0, (1/C29) * (A24-1) * C24)
A25	=	10
C25	=	IF (A25>= C11,0, C24 * (F5/F6) * (C11-A24))
D25	=	IF (A25> C11,0, (1/C29) * (A25-1) * C25)
A26	=	11
C26	=	IF (A26>= C11,0, C25 * (F5/F6) * (C11-A25))
D26	=	IF (A26> C11,0, (1/C29) * (A26-1) * C26)
A27	=	12
C27	=	IF (A27>= C11,0, C26 * (F5/F6) * (C11-A26))
D27	=	IF (A27> C11,0, (1/C29) * (A27-1) * C27)
A28	=	"
A29	=	"Сумма
C29	=	SUM (C15 C27)
D29	=	SUM (D15 D27)
A30	=	"
A31	=	"Простой экскав-в, %
D31	\$	= 100 * (1/C29)
A32	=	"Простой самос-в, %
D32	\$	= 100 * (D29/K11)
A33	=	"
A34	=	"Стоимость простоев
D34	G	=
A35	=	"экскаваторов, т руб
D35	\$	= G7 * D31/100
A36	=	"самосвалов, т руб
D36	\$	= J7 * D32 * C11/100
A37	=	"эк комплекса, т руб
D37	\$	= SUM (D35 D36)
A38	=	"
A39	=	"Коефф ис по вр K_B
D39	G	=
A40	=	" экскаваторов
D40	\$	= 1-D31/100
A41	=	"самосвалов
D41	\$	= 1-D32/100
A42	=	"
A43	=	"Производительность
D43	G	=
A44	=	"эк ком-са П m^3/cm
D44	\$	= L5 * D40
A45	=	"
A46	=	"Стоим м/см эк-ра C_3
D46	\$	= G7
A47	=	"самосвалов $C_c = C_{мс} * N_c$
D47	\$	= J7 * C11
A48	=	"эк ком-са $C_k = C_9 + C_c$
D48	\$	= D46 + D47
A49	=	"
A50	=	"Себестоимость грунта
D50	G	=
A51	=	" $C_r = C_k / \Pi_k$, руб / m^3
D51	\$	= 1000 * D48/D44
A52	=	"

Расстояние между присыпными разъездами равно

$$l_{\text{пр}} = \{2V_{\text{пр}} L_{\text{д}} v_{3\text{д}} / [F_{\text{н}}(v_{\text{пр}} - v_{3\text{д}})]\}^{0,5}.$$

Период одного рейса автосамосвала

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + L_{\text{д}}/v_{\text{г}} + L_{\text{д}}/v_{\text{п}} + t_{\text{р}} + t_{\text{см}},$$

где $t_{\text{п}}$, $t_{\text{р}}$, $t_{\text{см}}$ — время погрузки, разгрузки автосамосвала, смены под погрузкой; $L_{\text{д}}$ — дальность возки; $v_{\text{г}}$, $v_{\text{п}}$ — скорости движения автосамосвалов в груженом и порожнем состояниях.

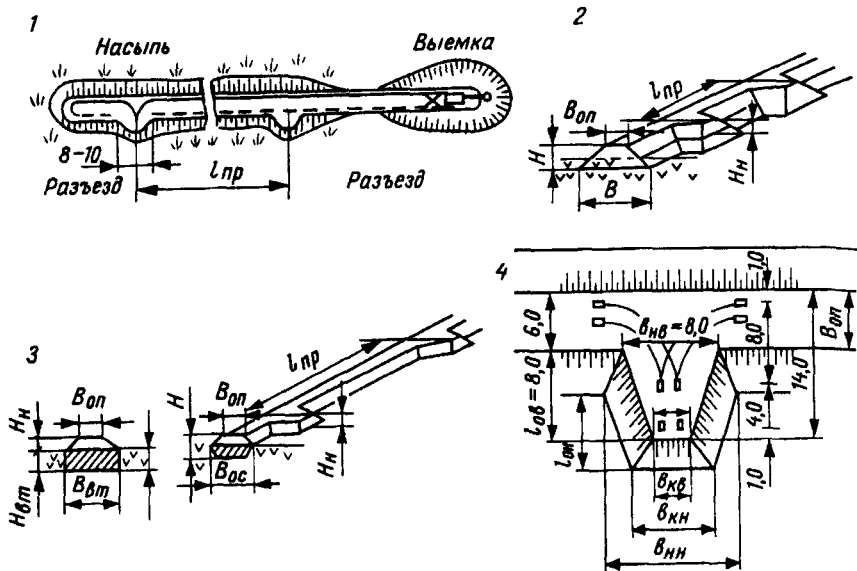


Рис. 7.15. Возведение насыпи (с присыпными разъездами) на болоте

Объем присыпного разъезда равен $V_{пр} = 0,5(F_{вр} + F_{нр})H_n$,

где $F_{вр}$, $F_{нр}$ — площади по верху и нижнего основания разъезда;
 H_n — высота насыпи над поверхностью болота.

Площадь $F_{вр} = (b_{нв} + b_{кв})l_p/2$,

где $b_{нв}$, $b_{кв}$, l_p — ширина в начале, конце, длина разъезда, принимаются согласно размерным параметрам разворота конкретных видов автосомавалов.

Площадь $F_{нр} = (b_{нн} + b_{кн})l_p/2$; размерные параметры разъезда с учетом соответствующих типов болот.

Объем насыпи между присыпными разъездами $V_n = F_n l_p$,

где F_n — площадь поперечного профиля насыпи.

На болоте I типа площадь ПП насыпи

$$F_n = (B_{оп} + B_{ос})H_n/2 + (B_{ос} + B_{вт})H_{вт}/2 = [B_{оп}H_n + B_{ос}(H_n + H_{вт}) + B_{вт}H_{вт}]/2,$$

где $B_{оп}$, $B_{ос}$, $B_{вт}$ — ширина основной площадки, основания насыпи, (траншеи) выторфовывания;

H_n , $H_{вт}$ — высота насыпи, глубина выторфовывания;

на болоте II типа $F_n = [B_{оп}H_n + B_{ос}(H_n + 2H_{вт})]/2$;

на болоте III типа $F_n = (B_{оп} + m_{от}H_n)H_n + (B_{ос}' + m_{вт}H_{вт})H_{вт}$,

где $B_{ос}'$ соответствует $B_{ос}$ с бермами $B_б$; $m_{от}$ — крутизна откоса.

Пример. Исходные данные: $H_H = 1,6$ м; $B_{оп} = 6,0$ м; болото II типа, $H_6 = 3,0$ м. Длина разъезда $l_p = 8,0$ м, ширина $b_{нв} = 8,0$ м, $b_{кв} = 4,0$ м; показатель крутизны откосов $m_{от} = 1,75$, $m_{рз} = 1,0$; $L_d = 1,7$ км; скорости $U_{пр} = 20$ км/ч; $U_{зд} = 5$ км/ч.

Расчетная схема на рис. 7.15-3,4.

Решение. Вычисляем

$$F_{вр} = (8 + 4) \cdot 8/2 = 48,0 \text{ м}^2; F_{нр} = (9,2+7,2) \cdot 6,8/2 = 55,8 \text{ м}^2.$$

$$V_{пр} = 0,5(48,0 + 55,8) \cdot 1,6 = 83,04 \text{ м}^3;$$

$$F_H = [6,0 \cdot 1,6 + 11,6(1,6 + 2 \cdot 3,0)]/2 = 48,88 \text{ м}^2;$$

$$l_{пр} = \{2 \cdot 83,04 \cdot 1700 \cdot 5/[48,88(20 - 5)]\}^{0,5} = 43,9 \text{ м}.$$

Задача 7.31. На участке строительства вторых путей при возведении насыпей дренирующий грунт на перегоны доставляется из m карьеров песчаных месторождений. Требуется определить оптимальное распределение дренирующего грунта из карьеров по перегонам с учетом удельной себестоимости дренирующего грунта (франко-карьер плюс транспортные тарифы).

Решение. По модели транспортной задачи.

Пример. Исходные показатели потребности дренгрунта на перегонах B_j , запасов песчано-гравийного материала A_i в карьерах и стоимости дренгрунта c'_{ij} (в условных единицах, учитывая изменчивость цен) приведены в матрице табл. 7.26.

Таблица 7.26

**Распределение дренгрунта по перегонам
(начальный план)**

Карьеры и запасы дренгрунта в них A_i , тыс. м ³	Перегоны и потребность дренгрунта для них B_j , тыс. м ³				Потенциалы U_i
	А — 30	Б — 15	В — 25	Г — 20	
$K_1 - 40$	1 30	2 10	3	4	$U_1 = 0$
$K_2 - 30$	11	10	11 20	12	$U_2 = -10$
$K_3 - 30$	8	7 5	6 5	5 20	$U_3 = -5$
V_1	$V_1 = 1$	$V_2 = 2$	$V_3 = 1$	$V_4 = 0$	

Решение. Так как $\Sigma A_i = \Sigma B_j$, задача закрытого типа.

Составим начальный (опорный) план распределения методом наименьшего элемента в матрице (табл. 7.26).

Проверяем условие для занятых клеток $N = m + n - 1 = 3 + 4 - 1 = 6$.

Вычисляем функционал (как меру достижимости орт) для начального распределения

$$F(x) = 30 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 20 \cdot 11 + 5 \cdot 7 + 5 \cdot 6 + 20 \cdot 5 = 435.$$

Для проверки оптимальности определяем потенциалы

$$U_i = V_j - c_{ij}, V_j = U_i + c_{ij}, \text{ приняв } U_i = 0;$$

Тогда $V_1 = 0 + 1 = 1$; $V_2 = 0 + 2 = 2$; $U_3 = 2 - 7 = -5$; $V_3 = -5 + 6 = 1$;
 $V_4 = 5 - 5 = 0$; $U_2 = 1 - 11 = -10$.

Проверяем опорный план на оптимальность в свободных (не занятых) клетках; должно быть $V_j - U_i - c_{ij} < 0$.

Клетка 1-3 $1 - 0 - 3 < 0$; 1-4 $0 - 0 - 4 < 0$; 2-1 $1 - (-10) - 9 = 0$;
 2-2 $2 - (-10) - 10 > 0$; 2-4 $0 - (-10) - 12 < 0$; 3-1 $1 - (-5) - 8 < 0$.

Оптимальность нарушена в клетке 2-2. Строим контур перераспределения; вычитаем минимальную величину поставки в отрицательных вершинах и прибавляем в положительных

+	-20
-5	+5

Получаем новое распределение поставок дренгрунта (табл.7.27).

Таблица 7.27

**Распределение дренгрунта по перегонам
(оптимальный план)**

Карьеры и запасы дренгрунта в них A_i , тыс. м ³	Перегоны и потребность дренгрунта для них B_j , тыс. м ³				Потенциалы U_i
	А — 30	Б — 15	В — 25	Г — 20	
$K_1 - 40$	1 30	2 10	3	4	$U_1 = 0$
$K_2 - 20$	11	10 5	11 15	12	$U_2 = -8$
$K_3 - 30$	8	7	6 10	5 20	$U_3 = -3$
V_j	$V_1 = 1$	$V_2 = 2$	$V_3 = 3$	$V_4 = 2$	

Определяем потенциалы и проверяем план на оптимальность:

клетка 1-3 $3 - 0 - 3 = 0$; 1-4 $2 - 0 - 4 < 0$; 2-1 $1 - (-8) - 11 < 0$;
 2-4 $2 - (-8) - 12 < 0$; 3-1 $1 - (-3) - 8 < 0$; 3-2 $2 - (-3) - 7 < 0$.

Таким образом, полученный план распределения дренгрунта из карьеров по перегонам является оптимальным. Стоимость перевозок определим по величине функционала (в условных единицах c_{ij})

$$F(x) = 30 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 5 \cdot 10 + 15 \cdot 11 + 10 \cdot 6 + 20 \cdot 5 = 425.$$

Величина функционала меньше предыдущего.

Задача 7.32. Запроектировать рабочий забой экскаватора.

Решение. Параметры забоя зависят от типа и технологических показателей экскаватора, от проходки: лобовой, боковой; с погрузкой грунта в транспортные средства или разработкой грунта на вымет (в отвал) [27].

Вариант I. Экскаватор — прямая лопата. Лобовая проходка. Ширина забоя (симметричной траншеи) поверху $B_{ТВ}$ (рис. 7.11)

$$B_{ТВ} = 2(R_{кр}^2 - L_{пз}^2)^{0,5}; \quad L_{пз} = 1,7 \sqrt[3]{q_3},$$

где $R_{кр}$ — рабочий радиус копания, $R_{кр} = (0,80-0,85)R_{кн}$; $R_{кн}$ — наибольший радиус копания; $L_{пз}$ — величина передвижки экскаватора; q_3 — вместимость ковша.

Высота забоя принимается равной наибольшей высоте копания $H_{\text{кн}}$ (по траектории движения ковша при экскавации):

$$H_3 = H_{\text{кн}} \geq H_{\text{в}},$$

где $H_{\text{в}}$ — глубина выемки, яруса проходки.

При прохождении пионерной траншеи и боковой погрузке грунта в автосамосвалы глубина траншеи

$$h_{\text{т}} = H_{\text{рн}} - H_{\text{а}} - (0,5 \text{—} 0,8), \text{ м},$$

где $H_{\text{рн}}$ — наибольшая глубина разгрузки; $H_{\text{а}}$ — высота автосамосвала.

Вариант 2. Экскаватор-драглайн. Разработка выемки. Торцовая проходка.

Ширина траншеи забоя определяется поверху — по формуле, приведенной для прямой лопаты, понизу

$$B_{\text{тн}} = B_{\text{тв}} - 2h_{\text{т}} \approx B_{\text{оп}}.$$

Глубина забоя должна быть меньше глубины выемки $H_{\text{в}}$ на высоту сливной призмы $h_{\text{сп}}$ и величины недобора грунта $\Delta h_{\text{нд}} = 0,1 \text{—} 0,2$ м.

$$h_{\text{т}} = H_{\text{в}} - h_{\text{сп}} - \Delta h_{\text{нд}} \leq H_{\text{кн}}.$$

При крутизне бортов забоя $m = 1,0$

площадь поперечного сечения забоя $F_{\text{пп}} = (B_{\text{тн}} + h_{\text{т}})h_{\text{т}}$;

предельная глубина выемки $H_{\text{в}} = (B_{\text{тв}} - B_{\text{оп}})/2 + h_{\text{сп}} + \Delta h_{\text{нд}} \leq H_{\text{кн}}$;

где $H_{\text{кн}}$ — наибольшая глубина копания,

Задача 7.33. Определить возможную продолжительность и сроки завершения земляных работ в производственных ситуациях.

Решение. По сетевым графикам (СГ) и экспертным оценкам для работ, лежащих на критическом пути.

Исходной для составления, в частности, локального СГ для земляных работ на участке является информация о физических объемах, технологии и последовательности работ, трудоемкости и стоимости, номенклатуре и машиноемкости машин (ведущих и комплектующих), материально-технических ресурсах.

Продолжительность работ t_{ij} определяется по объемам земляных работ согласно действующим нормативам (СНиП, ЕНиР и др.) или разработанным для конкретных условий земляных работ. При этом составляется перечень работ, определяется трудоемкость S_i и машиноемкость M_i в соответствии с выбранным способом производства работ; определяется темп работ (по ведущим машинам или количественному составу бригад R_j).

Продолжительность i -ой работы (в сутках)

$$t_i = M_i / (N_{\text{м}} K_{\text{см}}) \quad \text{или} \quad t_i = S_i / R_j,$$

где $N_{\text{м}}$ — количество ведущих машин, $K_{\text{см}}$ — коэффициент сменности.

Расчет сетевого графика секторным способом.

Заполнение секторов: в верхнем номер события, в левых — ранние сроки начала последующих работ $t_{jk}^{\text{РН}}$, в правых поздние сроки окончания работ $t_{ij}^{\text{ПО}}$.

Ранние сроки рассчитываются от 1-го события (исходного) к последнему (завершающему) слева направо, сверху вниз в такой последовательности:

- в левом секторе начального события записывают 0;
- вычисляют значения ранних окончаний работ $t_{ij}^{PO} = t_{ij}^{PH} + t_{ij} = t_{jk}^{PH}$;
- если событие является завершающим для нескольких работ, то в левый сектор заносят наибольшее значение $t_{jk}^{PH} = \max t_{ij}^{PO}$;
- аналогично выполняют расчеты для левых секторов всех событий.

Величина t_{ij}^{PO} в завершающем событии соответствует продолжительности критического пути $T_{кр}$.

Поздние сроки рассчитывают от последнего события к первому (исходному, начальному) справа налево, снизу вверх в такой последовательности:

- значение левого сектора последнего события заносят в правый сектор;

- вычисляют значения поздних начал работ $t_{ij}^{PH} = t_{ij}^{PO} - t_{ij} = t_{hi}^{PO}$;
- если при расчете поздних сроков к событию подходит две или несколько работ, то в правый сектор записывают наименьшее значение

$$t_{ij}^{PH} = \min t_{jk}^{PH};$$

- аналогично выполняют расчеты для правых секторов всех событий;
- в правом секторе первого (исходного) события при правильном вычислении должно быть нулевое значение.

Резервы времени определяются по зависимостям:

общие (полные)

$$R_{ij} = t_{ij}^{PO} - (t_{ij}^{PH} + t_{ij}) = t_{ij}^{PH} - t_{ij}^{PO};$$

значение правого сектора конечного события работы t_{ij}^{PO} минус значение левого сектора начального события работы t_{ij}^{PH} плюс продолжительность этой работы t_{ij} ;

частные (свободные) $r_{ij} = t_{jk}^{PH} - (t_{ij}^{PH} + t_{ij}) = t_{jk}^{PH} - t_{ij}^{PO}$; значение левого сектора конечного события работы t_{jk}^{PH} минус значение левого сектора начального события работы t_{ij}^{PH} плюс продолжительность этой работы t_{ij} .

Продолжительность работы указывается над стрелками, а резервы в виде дроби под стрелками (работами). Работы с нулевыми полными и свободными резервами (с одинаковыми значениями раннего начала и позднего окончания $t_{jk}^{PH} = t_{ij}^{PO}$) лежат на критическом пути.

Пример. На рис. 7.16 приведен СГ земляных работ на участке строительства железной дороги для нескольких перегонов (со станциями) при поточной организации и последовательности работ подготовительных, основных, укрепительных и заключительных (подготовки земляного полотна под укладку пути).

$$t^{PH} : 0 + 8 = 8 + 40 = 48 \text{ и т. д.}; \quad t^{PO} : 242 - 1 = 241 - 7 = 234 \text{ и т. д.};$$

$$R_{9-10} = 68 - (8 + 18) = 22; \quad r_{9-10} = 26 - (8 + 18) = 0 \text{ и т. д.}$$

Задача 7.34. Определить продолжительность земляных работ на участке строительства железнодорожной линии.

Исходные данные. Объемы и продолжительность земляных работ t_{ij} (в сутках) по двум перегонам, двум станциям и четырем видам работ: подготовительным (землевозные дороги, разбивки ОЗП, срезка дерна и др.),

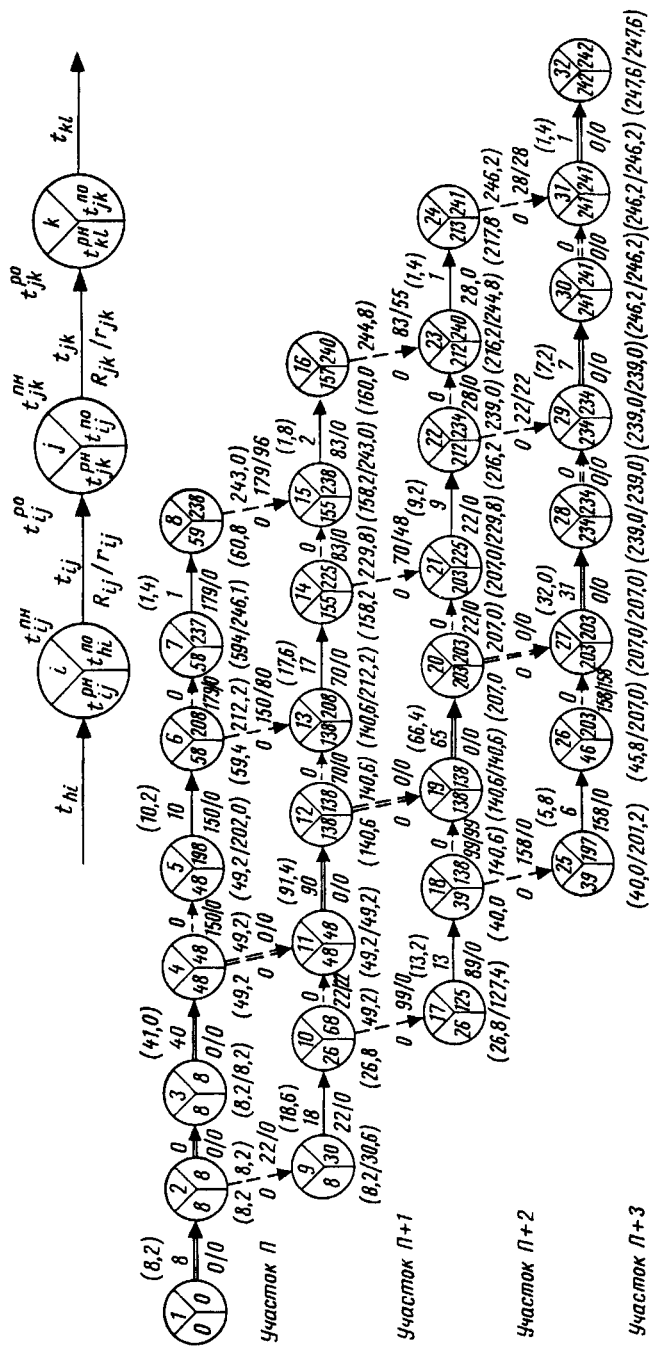


Рис. 7.16. Сетевой график земляных работ на участке (фрагмент)

Таблица 7.28-1

Результаты расчета параметров сетевого графика

Исходные данные			Результаты расчета						
N	Работы	T	ТРН	ТРО	ТПН	ТПО	РП	РС	КН
1	1 - 2	8	0	8	0	8	0	0	—
2	2 - 3	0	8	8	8	8	0	0	—
3	2 - 9	0	8	8	30	30	22	0	0.42
4	3 - 4	40	8	48	8	48	0	0	—
5	4 - 5	0	48	48	198	198	150	0	0.19
6	4 - 11	0	48	48	48	48	0	0	—
7	5 - 6	10	48	58	198	208	150	0	0.19
8	6 - 7	0	58	58	237	237	179	0	0.07
9	6 - 13	0	58	58	208	208	150	80	0.19
10	7 - 8	1	58	59	237	238	179	0	0.07
11	8 - 15	0	59	59	238	238	179	96	0.07
12	9 - 10	18	8	26	30	48	22	0	0.45
13	10 - 11	0	26	26	48	48	22	22	0.45
14	10 - 17	0	26	26	125	125	99	0	0.24
15	11 - 12	90	48	138	48	138	0	0	—
16	12 - 13	0	138	138	208	208	70	0	0.27
17	12 - 19	0	138	138	138	138	0	0	—
18	13 - 14	17	138	155	208	225	70	0	0.27
19	14 - 15	0	155	155	238	238	83	0	0.19
20	14 - 21	0	155	155	225	225	70	48	0.27
21	15 - 16	2	155	157	238	240	83	0	0.19
22	16 - 23	0	157	157	240	240	83	55	0.19
23	17 - 18	13	26	39	125	138	99	0	0.24
24	18 - 19	0	39	39	138	138	99	99	0.24
25	18 - 25	0	39	39	197	197	158	0	0.19
26	19 - 20	65	138	203	138	203	0	0	—
27	20 - 21	0	203	203	225	225	22	0	0.29
28	20 - 27	0	203	203	203	203	0	0	—
29	21 - 22	9	203	212	225	234	22	0	0.29
30	22 - 23	0	212	212	240	240	28	0	0.26
31	22 - 29	0	212	212	234	234	22	22	0.29
32	23 - 24	1	212	213	240	241	28	0	0.26
33	24 - 31	0	213	213	241	241	28	28	0.26
34	25 - 26	6	39	45	197	203	158	0	0.19
35	26 - 27	0	45	45	203	203	158	158	0.19
36	27 - 28	31	203	234	203	234	0	0	—
37	28 - 29	0	234	234	234	234	0	0	—
38	29 - 30	7	234	241	234	241	0	0	—
39	30 - 31	0	241	241	241	241	0	0	—
40	31 - 32	1	241	242	241	242	0	0	—

Примечание. Коэффициент напряженности:

$$K_N = (T_{\max i} - \Sigma t_{\text{кр}i}) / (T_{\text{кр}} - \Sigma t_{\text{кр}i}),$$

где $T_{\max i}$ — наиболее продолжительный путь, проходящий через данную работу;
 $\Sigma t_{\text{кр}i}$ — сумма продолжительностей работ этого пути, лежащих на критическом.

основным (разработка выемок, возведение насыпей), планировочными и укрепительными, заключительными, связанными с подготовкой ОП под укладку пути, при поточной технологии работ.

Решение. По программе SETGRAF (РГУПС) на ПК.

Алгоритмом предусматривается ввод кодов и продолжительности работ t_{ij} (Т), сортировка и составление путей графика, выявление ошибок ввода, редактирование, вычисление параметров сетевого графика: всех ранних сроков начала t_{ij} (ТРН), окончания t_{ij} (ТРО), поздних начала t_{ij} (ТПН), окончания t_{ij} (ТПО), резервов времени полных R_{ij} (РП), свободных r_{ij} (РС) коэффициентов напряженности и сложности графика; вычисление продолжительности возможных путей завершения работ и выбор критического (наиболее продолжительного).

Пример. В табл. 7.28-1 приведены исходные данные и результаты расчета, параметры СГ, в табл. 7.28-2 — пути сетевого графика и их продолжительности с выделением критического. Продолжительность земляных работ на участке — 242 дня (при детерминированных значениях t_{ij}).

Таблица 7.28-2

Пути сетевого графика

N пути	Продолжи- тельность	Пути сетевого графика																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	15	16	23	24	31	32													
1	63	1	-	2	-	3	-	4	-	5	-	6	-	7	-	8	-	15	-	16	-	23	-	24	-	31	-	32
2	137	1	-	2	-	9	-	10	-	11	-	12	-	13	-	14	-	15	-	16	-	23	-	24	-	31	-	32
3	159	1	-	2	-	3	-	4	-	11	-	12	-	13	-	14	-	15	-	16	-	23	-	24	-	31	-	32
4	79	1	-	2	-	3	-	4	-	5	-	6	-	13	-	14	-	15	-	16	-	23	-	24	-	31	-	32
5	115	1	-	2	-	9	-	10	-	17	-	18	-	19	-	20	-	21	-	22	-	23	-	24	-	31	-	32
6	192	1	-	2	-	9	-	10	-	11	-	12	-	19	-	20	-	21	-	22	-	23	-	24	-	31	-	32
7	214	1	-	2	-	3	-	4	-	11	-	12	-	19	-	20	-	21	-	22	-	23	-	24	-	31	-	32
8	144	1	-	2	-	9	-	10	-	11	-	12	-	13	-	14	-	21	-	22	-	23	-	24	-	31	-	32
9	166	1	-	2	-	3	-	4	-	11	-	12	-	13	-	14	-	21	-	22	-	23	-	24	-	31	-	32
10	86	1	-	2	-	3	-	4	-	5	-	6	-	13	-	14	-	21	-	22	-	23	-	24	-	31	-	32
11	84	1	-	2	-	9	-	10	-	17	-	18	-	25	-	26	-	27	-	28	-	29	-	30	-	31	-	32
12	143	1	-	2	-	9	-	10	-	17	-	18	-	19	-	20	-	27	-	28	-	29	-	30	-	31	-	32
13	220	1	-	2	-	9	-	10	-	11	-	12	-	19	-	20	-	27	-	28	-	29	-	30	-	31	-	32
14	242	1	-	2	-	3	-	4	-	11	-	12	-	19	-	20	-	27	-	28	-	29	-	30	-	31	-	32
15	121	1	-	2	-	9	-	10	-	17	-	18	-	19	-	20	-	21	-	22	-	29	-	30	-	31	-	32
16	198	1	-	2	-	9	-	10	-	11	-	12	-	19	-	20	-	21	-	22	-	29	-	30	-	31	-	32
17	220	1	-	2	-	3	-	4	-	11	-	12	-	19	-	20	-	21	-	22	-	29	-	30	-	31	-	32
18	150	1	-	2	-	9	-	10	-	11	-	12	-	13	-	14	-	21	-	22	-	29	-	30	-	31	-	32
19	172	1	-	2	-	3	-	4	-	11	-	12	-	13	-	14	-	21	-	22	-	29	-	30	-	31	-	32
20	92	1	-	2	-	3	-	4	-	5	-	6	-	13	-	14	-	21	-	22	-	29	-	30	-	31	-	32

Примечание. Критические пути выделены подчеркиванием.

Задача. 7.35. В соответствии с реальными производственными ситуациями (с учетом влияния факторов ПКС), изменениями параметров производственного процесса проанализировать надежность СГ и определить вероятность завершения земляных работ в заданные (директивные T_d) сроки.

Исходная информация: экспертные (интервальные) оценки продолжительности работ

$$t_{ij \min} < t_{ij} < t_{ij \max},$$

где $t_{ij \min}$ — минимальная (оптимистическая) оценка; $t_{ij \max}$ — максимальная (пессимистическая) оценка продолжительности работ t_{ij} в неблагоприятных условиях.

Решение. Методом усреднения в предположении, что распределение работ на критическом пути подчиняется закону композиции случайных чисел.

Определяются наиболее вероятная продолжительность работ в данных условиях, ожидаемая (математическое ожидание)

$$t_{ожij} = (3t_{ij \min} + 2t_{ij \max})/5;$$

дисперсия $D(t_{ij}) = \sigma^2(t_{ij}) = [(t_{ij \max} - t_{ij \min})/5]^2.$

Составляется стохастический сетевой график, по которому определяют сроки завершения работ.

Пример. Исходные данные: продолжительность работ по экспертным (интервальным) оценкам $t_{ij \min}$, $t_{ij \max}$.

Решение. Определяем $t_{ожij}$ и дисперсию D в табличной форме (табл. 7.29).

Таблица 7.29

Ожидаемая (вероятная) продолжительность работ

Код работы	Оценки t_{ij} , дни		Ожидаемая продолжительность $t_{ожij}$	Дисперсия D
	$t_{ij \min}$	$t_{ij \max}$		
<u>1—2</u>	7	10	8,2	0,36
<u>3—4</u>	39	44	41,0	1,00
<u>5—6</u>	9	12	10,2	0,36
<u>7—8</u>	1	2	1,4	0,04
<u>9—10</u>	17	21	18,6	0,64
<u>11—12</u>	89	95	91,4	1,44
<u>13—14</u>	16	20	17,6	0,64
<u>15—16</u>	1	3	1,8	0,16
<u>17—18</u>	12	15	13,2	0,36
<u>19—20</u>	64	70	66,4	1,44
<u>21—22</u>	8	11	9,2	0,36
<u>23—24</u>	1	2	1,4	0,04
<u>25—26</u>	5	7	5,8	0,16
<u>27—28</u>	30	35	32,0	1,00
<u>29—30</u>	6	9	7,2	0,36
<u>31—32</u>	1	2	1,4	0,04

Сетевой стохастический график рассчитываем по программе SETGRAF. Значения t_{ij} приведены на рис. 7.16 (в скобках), расчетные значения t_{jk}^{PH} и $t_{ij}^{\text{ПО}}$ показаны под событиями (в скобках).

Продолжительность критического пути 247,6 дней $< T_{\text{д}}$.

Задача 7.36. Определить надежность сетевого графика — вероятность завершения работ в заданный директивный срок $T_{\text{д}}$.

Решение. Поскольку сроки работ на критическом пути распределяются по случайному закону, то вероятные сроки завершения работ конечного события подчиняются нормальному закону.

Вероятность свершения завершающего события в директивный срок $T_{\text{д}}$ может быть определена по аргументу функции нормального распределения (функции Гаусса)

$$p_3 (T < T_{\text{д}}) = F[(T_{\text{д}} - T)/\sqrt{D}] = F(x),$$

где $F(x)$ — значения функции нормального распределения вероятностей (по таблице нормального распределения Гаусса).

Можно считать, что если вероятность свершения работ $p_3 < 0,25$ — работы выполняются неудовлетворительно; $0,25$ — $0,60$ — выполнение идет в удовлетворительные сроки; $p_3 > 0,6$ — установленные сроки с большим резервом [123].

Пример. Исходные данные по табл. 7.25. Директивный срок завершения работ $T_{\text{д}} = 246$ дней.

Решение. Определяем дисперсию по правилу сложения дисперсий независимых случайных величин, как сумму последовательности работ на критическом пути (в табл. подчеркнуты). $D = 5,64$; $T_{\text{кр}} = 247,6$ дней.

Определяем вероятность завершения работ в директивный срок $T_{\text{д}}$

$$p_3 = F[(246 - 247,6)/\sqrt{5,64}] = F(-0,674).$$

$F(x)$ принимаем по прил. 1.10. $p_3 = 0,25$.

Необходимы меры по обеспечению работ (на критическом пути) дополнительными ресурсами, по улучшению их организации.

Задача 7.37. Проанализировать вероятность и возможные сроки завершения земляных работ на участке (относительно директивного $T_{\text{д}}$).

Решение. Для оценки сроков завершения земляных работ T в период любого отрезка времени $t' - t''$ следует воспользоваться закономерностями теории вероятностей — интегралом вероятности (функцией Лапласа)

$$p(t' < T < t'') = 0,5\{\Phi[(t'' - T)/\sqrt{D}] - \Phi[(t' - T)/\sqrt{D}]\},$$

где $\Phi(U)$ — интеграл вероятности (прил. 1.9).

Для нечетной функции $\Phi(-U) = -\Phi(U)$.

Пример 1. Исходные данные: $T_{\text{кр}} = 242$ дня; $T_{\text{д}} = 250$ дней; $D = 5,8$.

Определить, какова вероятность завершения земляных работ на участке в пределах сроков $T_{\text{кр}}$ и $T_{\text{д}}$ при $T_{\text{ож}} = 248$ дней.

$$\begin{aligned} p(242 < T < 250) &= 0,5\{\Phi[(258 - 248)/\sqrt{5,8}] - \Phi[(242 - 248)/\sqrt{5,8}]\} = \\ &= 0,5\{\Phi(0,83) - \Phi(-2,49)\} = 0,5(0,5935 + 0,9872) = 0,79. \end{aligned}$$

Вероятность завершения работ (по сетевому графику) в указанный период составляет 79%.

Пример 2. Определить вероятность завершения работ не позже $T_d = 250$ дней (при $T_{ож} = 248$ дней).

Так как при аргументе функции Лапласа более 3-х в практических задачах $\Phi(\geq 3) = 1,0$, то $p(0 < T < t'') = 0,5\{\Phi[t'' - T]/\sqrt{D}\} + 1\}$.

Воспользуемся формулой

$$p(T_{ож} < T_d) = 0,5\{\Phi[(T_d - T_{ож})/\sqrt{D}] + 1\}.$$

$$\begin{aligned} \text{Тогда } p(T_{ож} < 250) &= 0,5\{\Phi[(250 - 248)/\sqrt{5,8}] + 1\} = \\ &= 0,5[\Phi(0,83) + 1] = 0,5(0,5935 + 1) = 0,8 \text{ или } 80\%. \end{aligned}$$

Пример 3. Какой срок T необходим (по сетевому графику) для завершения земляных работ на участке не позже директивного $T_d = 250$ с вероятностью $p = 0,95$?

$$p(T < 250) = 0,5\{\Phi[(250 - T)/\sqrt{5,8}] + 1\} = 0,95;$$

Отсюда следует $\Phi[(250 - T)/\sqrt{5,8}] = 1,9 - 1,0 = 0,9$.

С учетом значения U (по прил. 1.9) $(250 - T)/\sqrt{5,8} = 1,645$; тогда искомая величина $T = 250 - 1,645 \cdot \sqrt{5,8} = 246$ дней.

Задача 7.38. Определить устойчивость критического пути сетевого графика земляных работ на участке, вероятность завершения земляных работ в директивные сроки (в аналитическом варианте).

Исходные данные: сроки продолжительности работ на СГ (критическом пути) t_{ij} и их статистики $M(t) = T_{ож}$, $\sigma(t)$.

Решение. Методом статических испытаний (Монте-Карло) в предположении, что продолжительность каждой работы имеет нормальное распределение (подчиняется закону Гаусса) и можно пользоваться нормально распределенными случайными числами — НРСЧ (прил. 7.4 [37]).

1. Устойчивость стохастического СГ определяется при проигрывании, как вероятностной модели, за несколько N_p реализаций. При каждой реализации вычисляются вероятностные значения продолжительности работ t_{ij}

$$t_{ij} = M(t) + \text{НРСЧ} \cdot \sigma(t).$$

Вычисляется продолжительность всех работ, СГ пересчитывается. Определяются работы, попавшие на критический, путь и их суммарная продолжительность $T_{кри}$.

По N_p реализациям (в табличной форме) надежность завершения работ в заданный срок равна

$$p_3(T_{кри} < T_d) = n_p/N_p,$$

где n_p — число реализаций, когда выполняется условие ($T_{кри} < T_d$),

Вероятность выхода на критический путь

$$p(t_{ijkp}) = n(t_{ijkp})/N_p;$$

где $n(t_{ijkp})$ — число случаев, когда работа t_{ij} попадает на критический путь.

2. В аналитическом варианте [116], пользуясь методом статистических испытаний, вероятностный процесс (земляных работ) многократно n раз

реализуется на модели. Получают ряд вероятностных значений продолжительности земляных работ $T_1, T_2 \dots T_n$. Проанализировав по частоте наступления отдельных значений T_i получают эмпирическое распределение $p(T_1), p(T_2) \dots p(T_n)$, а затем вероятностное значение продолжительности работ

$$T_{\text{ож}} = \sum_1^n T_i p(T_i), \text{ дисперсию } \sigma^2(T) = \sum_1^n [(T_i - T)^2 p(T_i)].$$

Вероятность отклонения от директивного срока T_d определяют, пользуясь функцией Гаусса

$$p([T_d - T_{\text{ож}}]) = F((T_{\text{ож}} - T_d)/\sqrt{\sigma^2(T)}),$$

где значение функции F берется по таблицам нормального распределения (прил. 1.10).

Минимальные и максимальные значения продолжительности работ:

$$t_{\min} = t - 2\sigma(t); \quad t_{\max} = t + 3\sigma(t);$$

средние значения $\bar{t} = \sum t_i p(t_i)$;

среднеквадратические отклонения $\sigma(t) = \sqrt{\sum (t_i - \bar{t})^2 p(t_i)}$,

где t_i — одно из фактических значений продолжительности i -й работы; $p(t_i)$ — частота, (вероятность) наступления этого значения; i — порядковый номер данного фактического значения; n — общее количество значений.

Частота наступления одного фактического значения продолжительности t_i $p(t_i) = n(t_i)/n$.

Задача 7.39. Определить фактический объем земляных работ при возведении насыпи.

Исходные данные: частные значения фактической плотности грунта насыпи ρ_{dfij} по журналу контрольных n_n замеров (не менее одного на 300 м^3 уплотненного грунта); значения плотности грунта ρ_{di} по слоям h_i шурфов (обнажений) в резерве (карьере) и количество шурфов $n_{ш}$.

Решение. Объем земляных работ определяется с учетом коэффициента относительного уплотнения грунта $K_{\text{Оу}}$ [73].

Последовательно вычисляются

среднее значение плотности грунта насыпи $\rho_{dn} = \sum \rho_{dfij}/n_n$;

в отдельных шурфах $\rho_{dши} = (\rho_{d1}h_1 + \rho_{d2}h_2 + \dots + \rho_{dn}h_n)/(h_1 + h_2 + \dots + h_n)$;

в резерве (карьере) $\rho_{dp} = \sum \rho_{dши}/n_{ш}$;

коэффициент относительного уплотнения $K_{\text{Оу}} = \rho_{dn}/\rho_{dp}$;

фактический объем земляных работ при возведении насыпи $V_{\text{нф}} = K_{\text{Оу}} V_n$, где V_n — проектный объем насыпи.

Плотность грунтов натурно определяется плотномером-влагомером Ковалева или пенетрационным (динамическим) плотномером ДорНИИ, зондом-плотномером Белдорнии [84].

Фактический объем земляных работ при возведении насыпи на слабом основании определяется с учетом осадки основания насыпи $S_{\text{ос}}$.

Раздел 8

СОДЕРЖАНИЕ И РЕМОНТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

8.1. Общие положения

В эксплуатационный период выполняются мероприятия по текущему содержанию, ремонтам, усилению земляного полотна в соответствии с его техническим состоянием.

Все элементы ОЗП работают совместно, в то же время функции каждого различны и под влиянием внешних факторов возможно образование локальных деформаций. Стабильность характеризуется состоянием ОЗП, когда все их структурные элементы имеют форму и параметры в пределах нормативных допусков. Соответственно область стабильности (оптимального функционирования) определяется множеством критериев качества на уровнях их нормативных значений, учитывающих влияние внешней среды. Совокупность критериев качества является показателем стабильности Ст. Критериями служат размерные параметры P_p , как метрические (количественные) характеристики, отражающие форму и размеры ОЗП и их элементов; геотехнические параметры состояний грунтовой среды; функциональные (аналитические) показатели напряженного состояния, устойчивости и другие, и все они составляют основу сертификации земляного полотна.

Уровни параметров для ОЗП могут быть (рис. 8.1.1) P_n — нормативных (проектных) значений, P_d — допустимых значений, состояния нормальной работоспособности, $P_{прд}$ — предельно допустимых, состояния ограниченной работоспособности, $P_{нр}$ — недопустимых значений, аварийных ситуаций (неработоспособности).

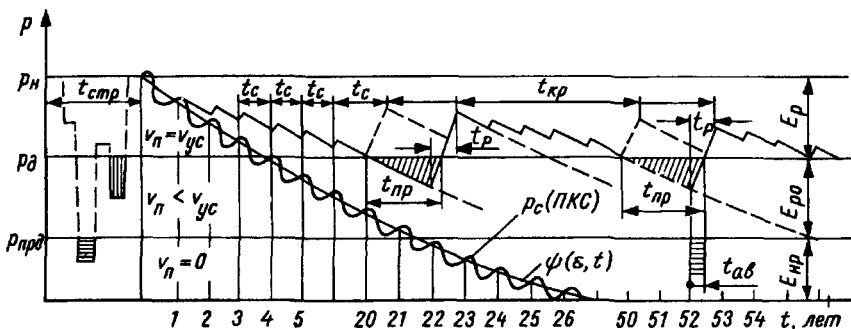


Рис. 8.1. Схема управления функционированием ОЗП (во времени). Периоды состояний: $t_{ср}$ — строительный; t_c — текущего содержания; $t_{кр}$ — между капитальными ремонтами t_p ; $t_{пр}$ — действия предупреждений о снижении $V_n < V_{ус}$; $t_{ав}$ — аварийный ($V_n = 0$). Параметры состояний: $P_n > P_i > P_d$ — нормальной работоспособности; ограниченной — $P_d > P_i > P_{прд}$; P_c — посезонно изменяющиеся под влиянием ПКС; $\psi(\epsilon, t)$ — накопление остаточных деформаций ОЗП (во времени t)

Надежность длительно эксплуатируемых ОЗП следует оценивать с учетом реологических процессов, проявляющихся во времени, в снижении прочности (при расслаблении структурных связей). Отказы ОЗП определяются характером и объемами деформаций и могут быть частичными (неполными), когда необходимо снижение установленных скоростей движения поездов ($U_d < U_{ус}$); полными, когда невозможно движение поездов ($U_d = 0$). Соответственно возможны состояния ОЗП

1. $U_i/U_{ус} = 1 \Rightarrow E_i = E_p$;
2. $0 < U_i/U_{ус} < 1 \Rightarrow E_i = E_{ро}$;
3. $U_i/U_{ус} = 0 \Rightarrow E_i = E_n$;

где E_p , $E_{ро}$, E_n — состояния работоспособности нормальной (полной), ограниченной (при частных отказах), неработоспособности (при полных отказах) [65].

Определение эксплуатационных показателей технического состояния ОЗП создает предпосылки для упорядочения системы текущего содержания и ремонтов (СТР) на прогнозно-профилактических принципах. При оперативных мероприятиях по текущему содержанию необходимы система надзора с осмотрами систематическими, текущими, периодическими, наблюдениями визуальными, инструментальными (с измерительными работами), стационарными [39, 40], система диагностики, анализа технического состояния и прогноза стабильности ОЗП (система мониторинга, рис. 8.2). Достоверность прогноза повышается с учетом характера формирования и проявления деформаций, в том числе на участках с балластными шлейфами на

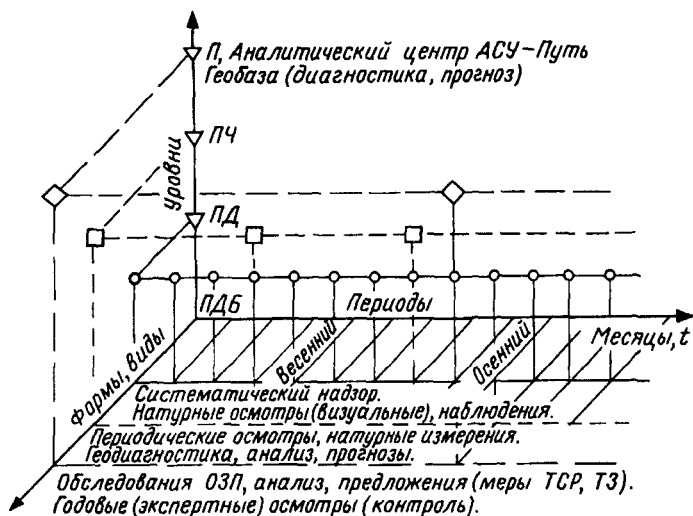


Рис. 8.2. Схема формирования мониторинга ОЗП

насыпях, пучинами, вечномёрзлыми грунтами, горными реками и т. п. [39, 40, 55, 65]. Оперативная оценка технического состояния, содержание и ремонт ОЗП эффективны при использовании компьютерной технологии (программных средств и ПК), формировании автоматизированной системы сертификации и управления стабильностью земляного полотна в среде АСУ-Путь¹.

Прогнозирование состояния ОЗП возможно на апостериорной (диагностической, статистической) информации методами экстраполяции, по априорной информации методами аналитического (в т. ч. стохастического) моделирования. Прогнозным состояниям соответствует управление СТР — упорядоченная совокупность оптимальных технических решений (конструкционных, технологических).

Капитальный ремонт земляного полотна и его обустройств для восстановления стабильности (и работоспособности), реконструкция балластной призмы планируются на период от 2-х до 25 лет (согласно приказу МПС) с учетом класса, категории дороги и технического состояния ОЗП, выполняются специализированными ПМС и подразделениями.

При ремонтах и усилении ОЗП прежде всего обеспечивается стабильность подбалластной зоны, для чего уширяют ОП, устраивают покрытия на ней, дренажи, повышают устойчивость откосов [101, 109]. На горных участках выполняют оборку скальных карнизов, устраивают защитные противоосыпные, противообвальные сооружения для предохранения от обрушений, камнепадов, загромождений (завалов) ОП.

¹ Грицык В. И. Формирование подсистемы АСУ-земляное полотно. // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 2.

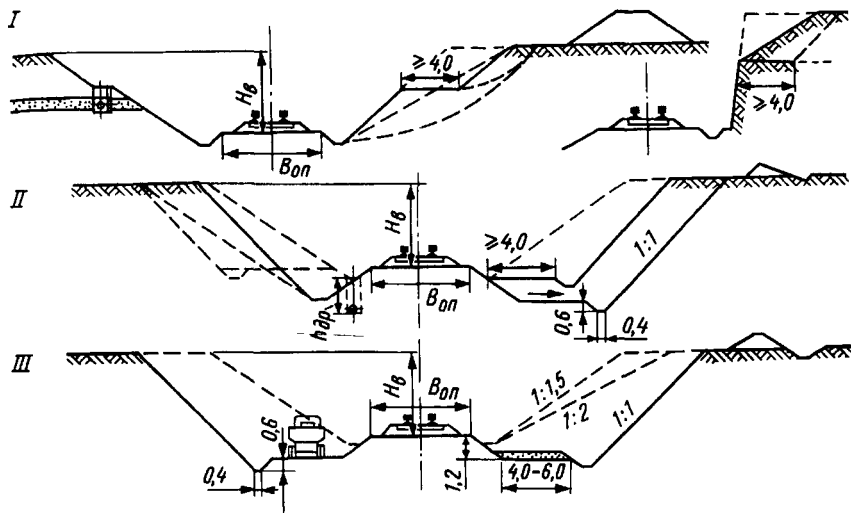


Рис. 8.3. Варианты повышения стабильности выемок: *I* — откосный дренаж, разгрузка откоса (террасирование) в глинистых, скальных грунтах; *II* — одностороннее уширение, углубление (с кюветом, канавой, дренажем); *III* — двустороннее уширение и углубление (раскрытие выемки). (Размеры в м)

На рис. 8.3. показаны варианты повышения стабильности выемок с уширением, полками-террасами, углублением (раскрытием) их, устройством на закуветных полках автодорог для нужд текущего содержания. При этом грунт из выемок (как карьеров) используется для контрбанкетов на насыпях.

Устойчивость эксплуатируемых насыпей с балластными «шапками» и «шлейфами» может быть обеспечена устройством контрбанкетов, анкерными конструкциями (со стяжными элементами), сваями забивными, буронабивными, буроинъекционными, термическими, контрфорсами откосными (из свай), подпорными стенками (рис. 8.4) [10, 63, 120]. Исходными данными для расчетов служат величины нагрузок, параметры насыпей: H_n , $B_{оп}$, контуров балластных материалов, грунтов насыпей. Расчеты устойчивости насыпей и удерживающих конструкций производят по коэффициенту общей устойчивости $K_{ус}$ с учетом возможных поверхностей смещения, по величине оползневого давления $E_{оп}$ при возможном смещении по контактной поверхности балластного шлейфа и глинистого грунта насыпи.

Наряду с традиционными способами (устройством контрбанкетов) рационально применение армогрунтовых конструкций: армированных контрбанкетов, армогрунтовых стен [22, 107]. Армированные контрбанкеты — трапециевидные массивы дренгрунта, армированные в основании (сваями, железобетонными шпалами и др.) и в массиве арматурой (металлическими

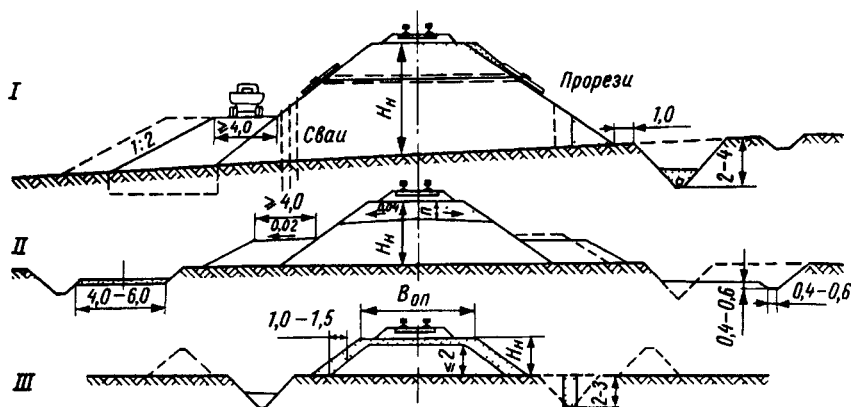


Рис. 8.4. Варианты повышения стабильности насыпей: I — контрбанкет, сваи, углубленная канава (открытый дренаж), прорези, армирование, II — контрбанкет, подушка, углубленные резервы (с дорожным полотном), III — обсыпка низких насыпей дренгрунтом, дренажные каналы. (Размеры в м)

сетками, стеклотканью, геотекстилем и др.), рис. 8.5. Армогрунтовая стена — массив грунта, ограниченный снаружи облицовочной стенкой (из бетонных блоков и др.) и армированный внутри (металлическими сетками, стеклотканью, геотекстилем и др.).

Экономично и эффективно применение технической мелиорации грунтов (цементации, силикатизации, битумизации, смолизации и др.), в том числе обжиговых конструкций. Термически обработанные глинистые грунты обеспечивают их водостойкость, дренирующую способность, повышают сопротивление сжимающим и сдвиговым нагрузкам. Обжиговая технология позволяет образовать термоконтструкции: термопрорези, термосваи (рис. 8.5), термоконтрфорсы, термостены. Такие конструкции армируют грунтовые массы, снижают деформативность ОЗП, повышают устойчивость от смещений [114].

На горных реках для укрепления берегов эффективны берегозащитные, берегоукрепительные стены (сборные), стены с контрфорсами подпорно-оседающие, габионные, облицовочные; ряжи из железобетонных шпал, шпоры из бетонных массивов, свайных колодцев, наброски из камня, тетраподов и другие конструкции и регуляционные сооружения [32, 33].

Применение оптимальных противоположных конструкций [16, 42], рассчитываемых по предельным деформациям и устраняющих избыточное пучение (и боковое промерзание), в несколько раз уменьшает объемы, трудоемкость и стоимость работ по сравнению с конструкциями, ликвидирующими полное пучение, и быстро окупается даже по сравнению затратами на исправление пути на пучинах, что подтверждается технико-экономическими расчетами.

Возведение ОЗП, усиление, ремонты могут осуществляться по инвестиционным проектам, охватывающим весь инвестиционный цикл от вложения денежных средств, контрактации, маркетинга до реализации проекта — ввода ОЗП в эксплуатацию.

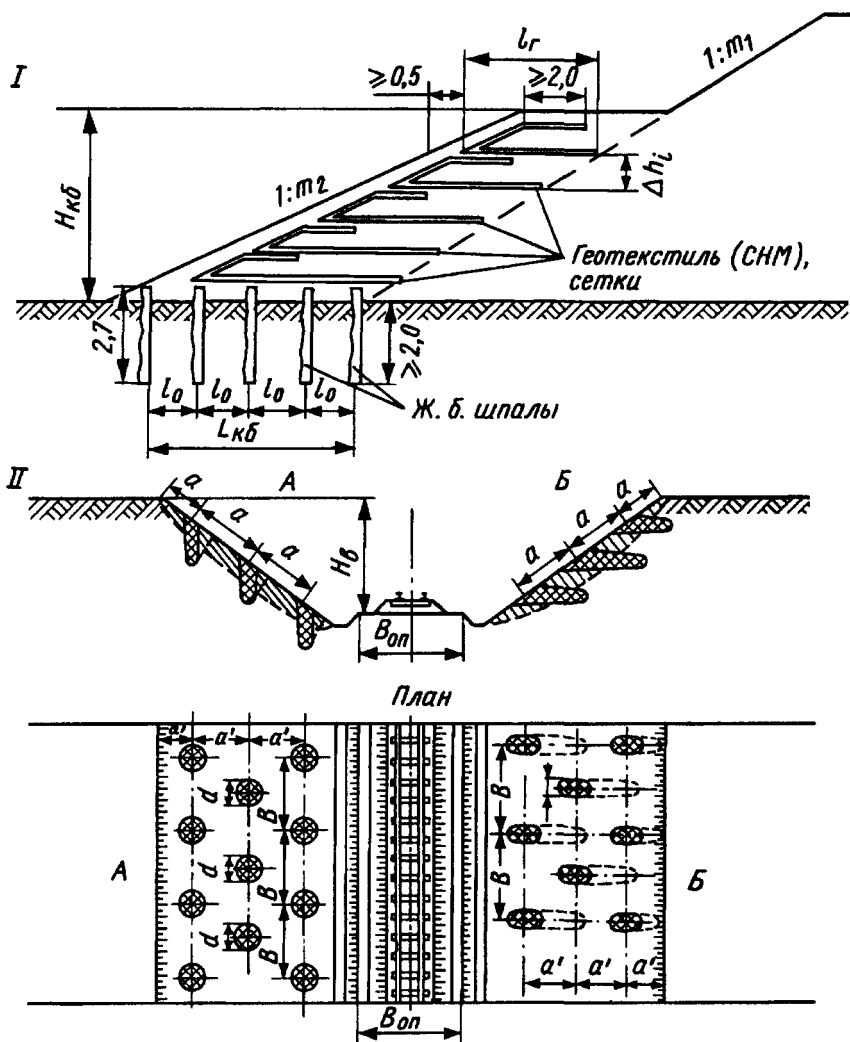


Рис 8.5. Арматурные конструкции: I — армированный контрбанкет, II — термоконструкции; А — термосвар; Б — термопрорези. (Размеры в м)

8.2. Содержание земляного полотна, мониторинг

Задача 8.1. Определить размерные параметры основной площадки ОЗП и балластной призмы для оценки технического состояния в целях оздоровления подбалластной зоны, реконструкции балластной призмы.

Решение Размерные параметры балластной призмы, ОП определяются натурными измерениями и съемкой ПП с использованием тригонометра ТГ, измерительного шаблона ИШГ, контрольного шаблона КШГ, рейки (с уровнем) и линейки, а также нивелирования, визирования с использованием визирных оптических приборов (ВОГ), визирок, в том числе способом наклонного луча визирования (НЛВ) [60, 74].

Пример. На рис. 8.6 показана технология определения размерных параметров и съемки поперечных профилей балластной призмы и полунасыпи-полувыемки измерительным шаблоном.

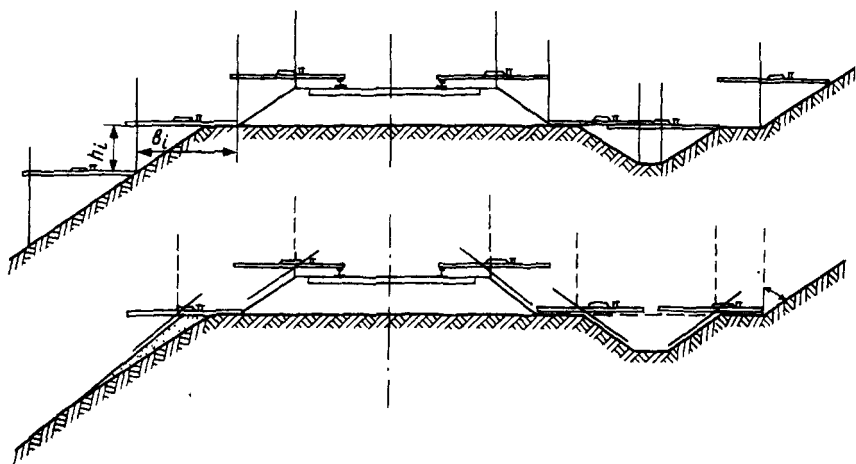


Рис 8.6. Схемы измерений ОП, балластной призмы и элементов полунасыпи-полувыемки шаблоном ИШГ

Задача 8.2. Определить размерные параметры балластного слоя, положение ОП, балластных шлейфов в целях диагностики состояния подбалластной зоны ОЗП.

Решение. Определение толщины балластного слоя, шлейфов, оконтуривание балластных углублений ОП с определением их размеров и конфигурации можно выполнить (в зондировочных скважинах разведочных поперечников)

— динамическим зондированием (способом пенетрации) по изменению количества ударов молота для погружения пенетromетра (например, на 0,05 м) на контакте балластного материала и глинистого грунта (рис. 8.7),

— электроконтактным зондированием по перепаду электросопротивления на контакте балластного материала и глинистого грунта (рис. 8.8);

— электроконтактным динамическим зондированием (ЭДЗ), сочетающим динамическое зондирование и токовый коротаж;¹

— бурением ручными (вращательными, трубчатыми) бурами, портативным вращательным буровым станком;

— устройством шурфов, прорезей, торцевых вырезок.

Возможно использование приемов вибро-сейсмической диагностики [56] (с установкой «Диаген»), георадиолокации с использованием геолокаторов «Зонд» и другой специальной аппаратуры. Такой аппаратурой оборудуются вагоны-лаборатории (и путевые дрезины) для обследования земляного полотна.

Задача 8.3. Определить прогнозные оценки уровня грунтовых вод по данным наблюдений.

Решение. Построением кривой обеспеченности.

Исходные данные: вариационный (убывающий) ряд $H_{угв}$ по результатам анализа в корреляционной таблице: $H_{угв}$: *sup* — 1,55; *inf* — 0,55 м (с шагом 0,1 м) при частотах: 1, 9, 8, 9, 20, 30, 43, 81, 102, 79, 2.

Статистики: $\Sigma n = 384$; средняя $\bar{H}_{угв} = 0,86$ м; среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,197$; коэффициенты вариации $C_v = 0,197/0,86 = 0,23$; асимметрии $C_s = 2C_v = 0,46$.

Определение ординат кривой обеспеченности в табл. 8.1, где коэффициенты Φ_p по прил. 1.8 при $C_s = 0,46$.

Задача 8.4. Рассчитать устойчивость насыпи с песчаными «шапками» и «шлейфами» на откосах.

Исходные данные: размерные параметры и сдвиговые характеристики грунта и материала шлейфа: H_n , $B_{оп}$, $h_{пд}(H_6)$, γ_g , c_g , Φ_g , $\gamma_{ш}$, $c_{ш}$, $\Phi_{ш}$. Формирование балластных «шлейфов» и «шапок» и их размерные параметры показаны на рис. 8.9.

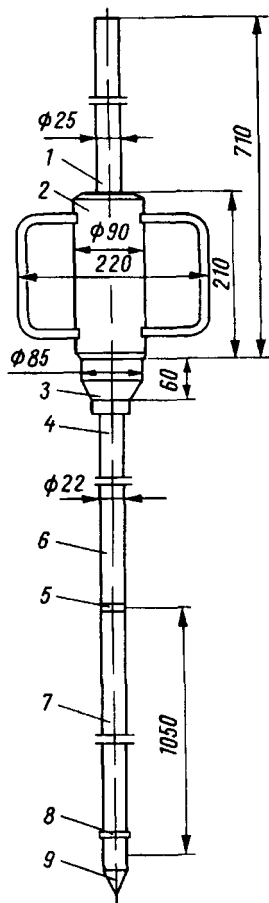


Рис. 8.7 Пенетрометр:
1 — направляющая штанга;
2 — молот (10 кг);
3 — шабот,
4 — переходник (шабот-штанга);
5 — переходник (штанга-штанга);
6 — штанга;
7 — штанга концевая;
8 — шплинт;
9 — наконечник

¹ Руководство по электроконтактному динамическому зондированию грунтов. ЦНИИС, 1984.

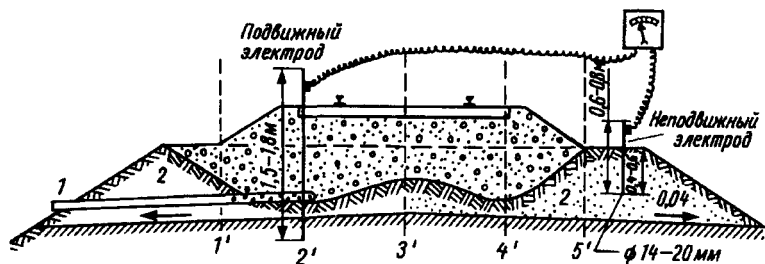


Рис. 8.8. Схема элетрозондирования углублений ОП, оздоровления ПБЗ: 1 — перфорированные трубы, 2 — дренажная прорезь; 1', 2', 3', 4', 5' — положения подвижного электрода

Таблица 8.1

Ординаты кривой обеспеченности $p(N_{угв}), N_{угв}, м$

Вероятности превыш. p , %	0,01	0,10	1,00	3,00	10,0	50,0	90,0	97,0	99,0	99,9
Φ_p	4,70	3,75	2,65	2,00	1,30	0,10	1,20	1,60	1,95	2,45
$K_x = 1 + \Phi_p C_v$	2,08	1,86	1,61	1,46	1,30	0,97	0,72	0,63	0,55	0,44
$N_{угв} = K_x \bar{N}_{угв}$	1,70	1,60	1,38	1,26	1,12	0,83	0,62	0,59	0,47	0,38

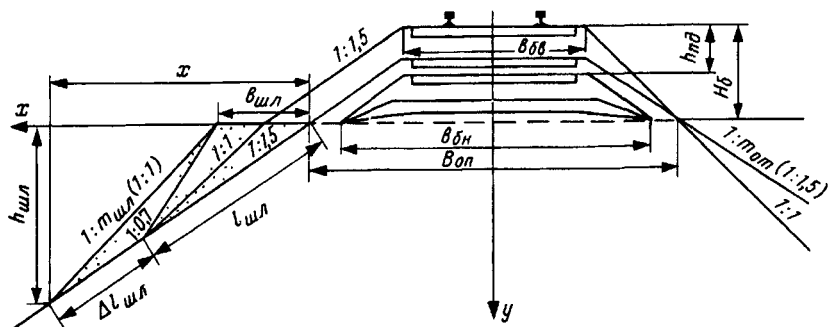


Рис. 8.9. Схема формирования, размерные параметры балластных шлейфов

Решение. *Вариант 1.* Устойчивость насыпи оценивается $K_{уст\min}$ при криволинейной поверхности смещения с учетом двух сред площади каждого отсека: песчаной ω'_i , глинистой ω''_i с соответствующими c_i, Φ_i .

Вариант 2. Устойчивость насыпи оценивается по величине оползневого давления $E_{оп}$ с возможной поверхностью смещения по основанию балластного шлейфа

$$E_{оп} = \Sigma(KT_i - c_i l_i - f_i N_i) \cos \Phi_i / \cos(\beta_i - \Phi_i).$$

Вариант 3. Устойчивость балластного шлейфа на откосе можно оценить K_{yc} по формуле

$$K_{yc} = \gamma_{ш} \operatorname{tg} \Phi_{ш} \omega_{ш} \cos \alpha + c_{ш} (l_{ш} - l_T),$$

где α — угол фактической крутизны откоса;

$l_{ш}$, l_T — длина шлейфа (по откосу), возможной трещины.

При показателе крутизны откоса $m_{от} = 1,5$ и $K_{yc} = 1,0$ предельная ширина балластного шлейфа

$$b_{ш} = 3,6 c_{ш} / [\gamma_{ш} (\sin \alpha - \operatorname{tg} \Phi_{ш} \cos \alpha)].$$

Задача 8.5. Определить напряжения в рельсах, вызываемые пучинными неровностями.

Исходные данные: длина, высота пучинного горба $l_{п}$, $h_{г}$; модуль упругости рельсовой стали E , момент сопротивления W , момент инерции I ; расстояние волокна определения напряжений от нейтральной оси рельса y [120]. Пучинный горб очерчен по косинусоиде.

Решение. Ординаты пучинной неровности $h_i = 0,5 h_{г} [1 - \cos \pi (l_i / l_{п})]$.

Кривизна неровности $1/\rho = d^2 h_i / dl_i^2 = 2\pi^2 (h_{г} / l_{п}) \cos 2\pi (l_i / l_{п})$;

радиус кривизны $R_{\min} = l_{п}^2 / (2\pi^2 h_{г})$.

Изгибающий момент $M = EI/R$.

Наибольшие нормальные напряжения в рельсах $\sigma_p = M/W = Ey/R$.

Пример. Известно: пучинный горб с размерами $h_{г} = 60$ мм, $l_{п} = 12,0$ м; рельсы Р 65, $I = 3648$ см⁴, $W = 359$ см³, $y = 9,87$ см.

Решение. $R_{\min} = 12^2 / (2\pi^2 \cdot 0,06) = 121$ м.

При $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа $\sigma_p = 2,1 \cdot 10^5 \cdot 9,87 / 12100 = 170$ МПа.

Задача 8.6. Определить длину отводов и толщину пучинных подкладок при исправлении пути на пучине (ИПП).

Решение. Выполняется съемка продольного профиля пучинного горба (прибором ПРП, визирным оптическим, визирками). На планшете по ординатам съемки O_i вычерчивается продольный профиль пучинного горба $h_{г}$. На продольный профиль накладывается шаблон с линейными контурами (требуемыми для ИПП). В точках пересечения с продольным профилем пучины определяется длина отводов $l_{от}$ ИПП, по разнице отметок контура шаблона и продольного профиля пучины — толщина пучинных подкладок p_i [18].

Длина отвода $l_{от} = (h_{г} - l_1 i_1) / i_{ис} + l_1$,

где i_1 , $i_{ис}$ — уклоны ИПП на длине l_1 , на остальной части отвода.

При ИПП по рациональным криволинейным контурам (обратным круговым кривым) криволинейный шаблон сначала выпуклостью вверх накладывают на вершину пучинного горба и очерчивают контур, затем в перевернутом положении с каждой стороны пучинного горба (рис. 8. 10, предложено автором).

Длина отвода $l_{от} = 2\sqrt{h_{г} R_{и}}$; исправления пути $l_{ис} = 2l_{от}$,

где $R_{и}$ — величина радиуса кривой ИПП соответственно скорости движения поездов.

Составляется ведомость пучинных подкладок (для каждой шпалы) и общей потребности (по сортаменту).

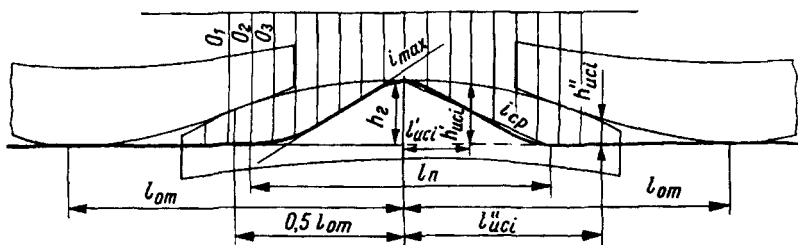


Рис. 8.10. Рациональные приемы проектирования ИПП

Задача 8.7. Определить параметры исправления пути на пучинном горбе.

Решение. Пользуясь, например, программой *PROP*, которая по измененным ординатам y_i пучинной неровности позволяет определять толщину пучинных подкладок (до 2-х на каждом конце шпалы p_1, p_2), количество шпал $N_{ис}$ для ИПП, длину отводов ($l_{от} = N_{ис} l_{ш}$, где $l_{ш}$ — расстояние между осями шпал) и общую потребность подкладок по сортаменту. При этом очертания контура ИПП могут быть линейными, криволинейными: по обратным круговым кривым, по косинусоиде (рис. 8.10, 8.11).

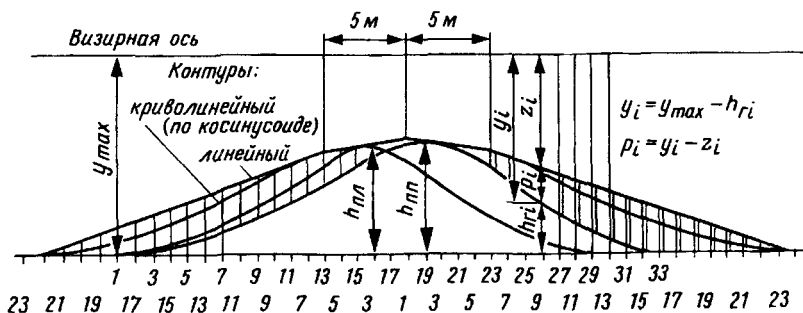


Рис. 8.11. Расчетная схема к алгоритму ИПП

Алгоритмом¹ предусмотрено определение положения вершины пучинного горба по ординатам левой $y_{лmin}$ и правой $y_{пmin}$ рельсовых нитей, высоты пучинного горба h_r (H_r), длины отводов, толщины пучинных подкладок p_i ; контур ИПП размещается (итерационно) огибающим для левой и правой рельсовых нитей (совместно).

Подпрограммы: 1 — определяет количество шпал $N_{ис}$ до и за вершиной пучинного горба по левой и правой рельсовым нитям; 2 — определяет проектную ординату z_i и величину подъёмки рельсовой нити $d_i = p_i = y_i - z_i$; 3 — определяет толщину и количество пучинных подкладок p_1, p_2 ; 4 — устанавливает потребность подкладок по сортаменту (рис. 8.12).

¹ Грицык В.И. На принципах АСУ //Путь и путевое хозяйство. 1992. №5.

На печать выдается таблица с фактическими и проектными параметрами отводов, порядковыми номерами шпал, толщинами подкладок на них.

Текущие ординаты контура ИПП при очертаниях

по косинусоиде $h_{ис} = 0,5 h_{\Gamma} [1 - \cos 2\pi (l_i/l_{п})]$;

по обратным круговым кривым (рис. 8.10)

на длине до $0,5l_{от} = 0,25l_{ис}$

$$h'_{исi} = h_{\Gamma} - r'_{исi}^2/(2R);$$

на длине от $0,5l_{от}$ до $l_{от}$

$$h''_{исi} = (l_{от} - r''_{исi})^2/(2R).$$

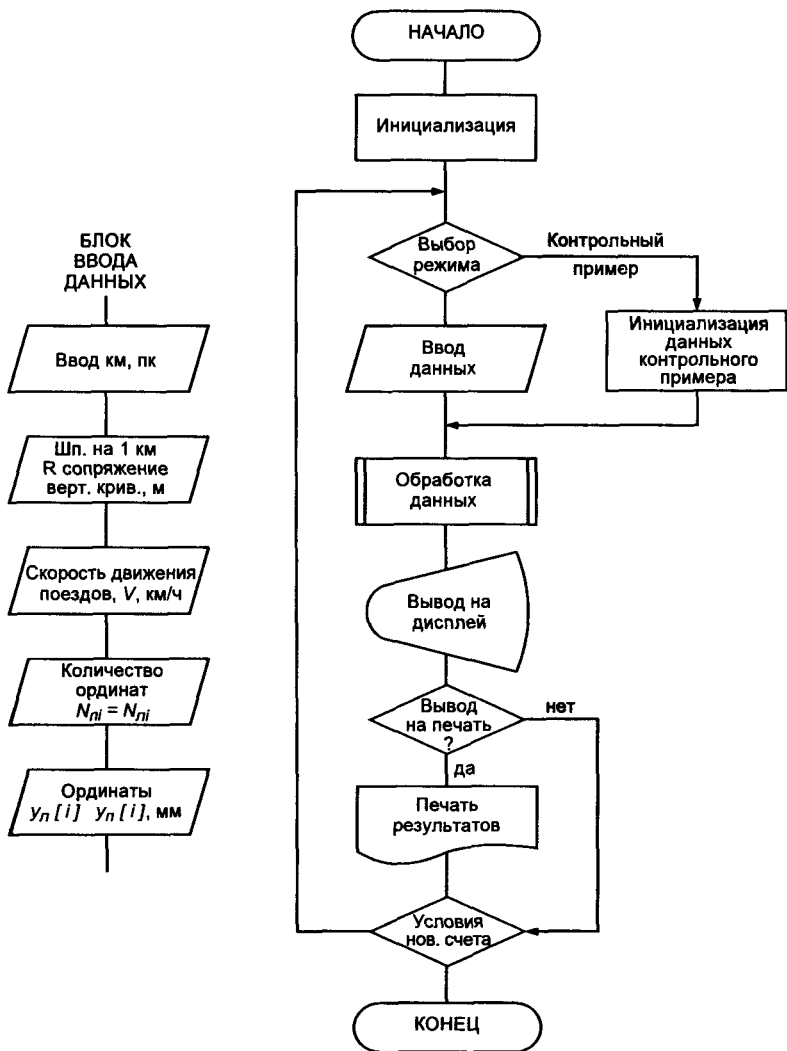


Рис. 8.12. Блок-схема программы PROP

Пример. Таблица толщины пучинных подкладок для ИПП (табл. 8.2, фрагмент).

Таблица 8.2

Толщина пучинных подкладок для исправления пути на пучине
Перегон _____ км 1223 пк 7

Фактические параметры отвода		Проектные параметры отвода		Порядковый № шпалы		Толщина пучинных подкладок	
ордината съёмки неровностей	величина пучинного горба	ордината проектных очертаний	величина подъёмки рельсовой нити	при съёмке пучинного горба	от вершины пучинного горба	1	2
$y [i], \text{мм}$	$h_r [i], \text{мм}$	$z [i], \text{мм}$	$d [i], \text{мм}$			$p_1, \text{мм}$	$p_2, \text{мм}$
Левая рельсовая нитка. Отвод перед вершиной пучинного горба							
435	43	434.19	0.81	21	1	0.0	0.0
435	43	435.00	0.00	20	2	0.0	0.0
438	40	435.81	2.19	19	3	1.5	0.0
440	38	436.63	3.37	18	4	3.0	0.0
443	35	437.44	5.56	17	5	5.0	0.0
446	32	438.26	7.74	16	6	5.0	1.5
449	29	439.07	9.93	15	7	8.0	1.5
452	26	439.89	12.11	14	8	10.0	1.5
455	23	440.70	14.30	13	9	10.0	3.0
460	18	441.52	18.48	12	10	15.0	3.0
463	15	442.98	20.02	11	11	20.0	0.0
467	11	444.60	22.40	10	12	20.0	1.5
470	8	446.23	23.77	9	13	20.0	3.0
473	5	447.86	25.14	8	14	25.0	0.0
475	3	449.49	25.51	7	15	25.0	0.0
476	2	451.12	24.88	6	16	20.0	3.0
477	1	452.75	24.25	5	17	20.0	3.0
477	0	454.38	22.62	4	18	20.0	1.5
478	0	456.01	21.99	3	19	20.0	1.5
478	0	457.64	20.36	2	20	20.0	0.0
478	0	459.27	18.73	1	21	15.0	3.0
478	0	460.89	17.11		22	15.0	1.5
478	0	462.52	15.48		23	15.0	0.0
478	0	464.15	13.85		24	10.0	3.0
478	0	465.78	12.22		25	10.0	1.5
478	0	467.41	10.59		26	10.0	0.0
478	0	469.04	8.96		27	8.0	0.0
478	0	470.67	7.33		28	5.0	1.5
478	0	472.30	5.70		29	5.0	0.0
478	0	473.93	4.07		30	3.0	1.0
478	0	475.56	2.44		31	1.5	0.0
478	0	477.18	0.82		32	0.0	0.0
478	0	478.81	-0.81		33	0.0	0.0
Левая рельсовая нитка. Отвод за вершиной пучинного горба							

Задача 8.8. Определить параметрические зависимости водоотводов земляного полотна для регулирования поверхностного стока.

Решение. Система водоотводов на ОЗП типовых конструкций включает водоотводные каналы, в том числе забанкетные, нагорные, кюветы, резервы, имеющие конкретные размерные параметры (рис. 8.13).

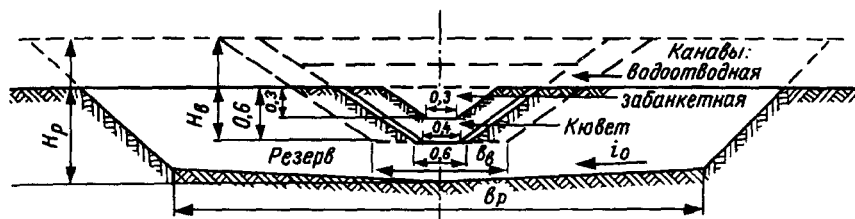


Рис. 8.13. Поперечные профили водоотводов

В период эксплуатации возможны заиливание, размывы. Величины заиливания и размывов зависят от расхода воды Q_B , продольных уклонов $i_{п}$, скоростей течения воды U_B . Необходимые размеры водоотводов h_B , b_B для пропуска Q_B , возможные U_B и необходимость укрепления можно установить по номограммам $\omega_B(Q_B, i_B)$, $U_B(Q_B, i_B)$. При укреплении бетонными плитками, лотковыми конструкциями ($K_{ш} = 0,012$) в 3—4 раза повышаются скорость течения воды и пропускная способность водоотводов (рис. 8.14).

Параметрические зависимости для кюветов $Q_K(H_B, L_B, F_{BK})$, $U_K(i_K, K_{ш})$, $h_K(Q_K, U_K)$ показаны на рис. 8.15.

Для стока поверхностных вод возможно использование дренажей (мелкого заложения), что существенно упрощает содержание кюветов.

Водосборная площадь в выемке равна $F_{BK} = 0,7 B_{BK} L_B$.

Расход $Q_{ПВС}$ (F_{BK} , a_K , Φ_K) определяется по методике решения задач в разделе 5.

Должно обеспечиваться условие $(Q_{ПВС} + Q_{ПЗС}) < Q_{ДР}$,

где $Q_{ПВС}$, $Q_{ПЗС}$, $Q_{ДР}$ — расход поверхностного стока, подземного, расчетный в дренаж.

Задача 8.9. Определить крутизну откоса выемки (в условиях вечной мерзлоты), при которой обеспечивается его устойчивость.

Решение. Величина угла наклона откоса к горизонтальной поверхности определяется из условия [99]

$$\sin \alpha < t_{сд} / (\gamma_M Z_{\text{МОТ}}); \quad m = 1/\text{tg} \alpha,$$

где γ_M — удельный вес мерзлого грунта; $Z_{\text{МОТ}}$ — глубина сезонного оттаивания мерзлого грунта; $t_{сд}$ — сопротивление грунта сдвигу (при образовании пластических деформаций); α — угол наклона откосов

$$t_{сд} = c_{от} + P_{от} \text{tg} \phi,$$

где $P_{от}$ — давление оттаивающего слоя; $P_{от} = Z_{\text{МОТ}} \gamma_M$.

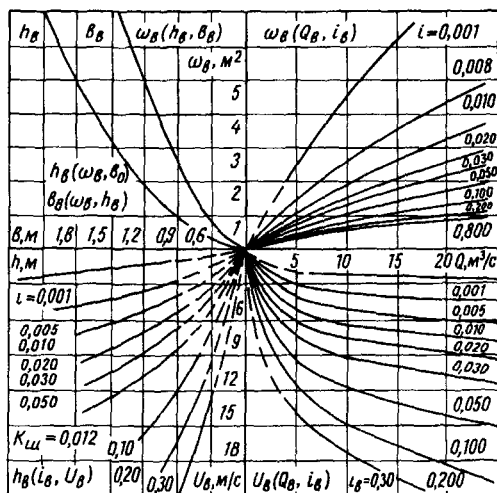
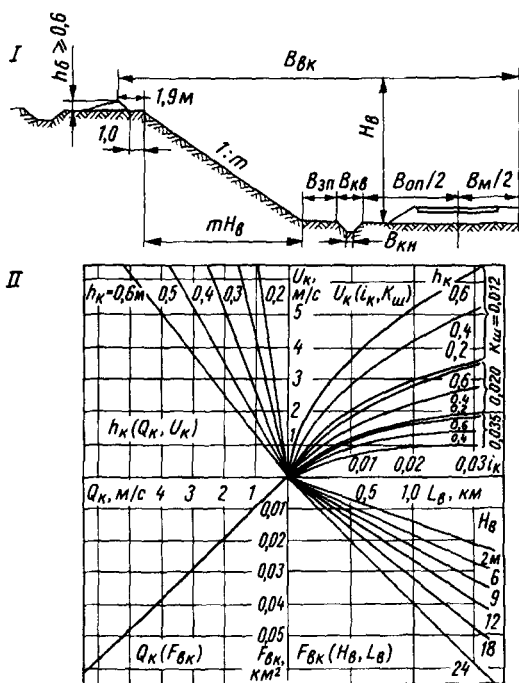


Рис. 8.14. Параметрические зависимости водоотводов

Рис. 8.15. Параметрические зависимости кюветов: I — водосборный бассейн кювета в ПП; II — зависимости $Q_K(H_B, L_B, F_{BK})$, $U_K(i_K, K_{ш})$, $h_K(Q_K, U_K)$

При откосах круче расчетных, их следует теплоизолировать торфом, мхом, пенопластом. Толщина теплоизоляции (термопокрытия)

$$\delta_{\text{ТП}} = Z_{\text{МОТ}} \lambda_{\text{T}} / \lambda_{\text{М}},$$

где λ_{T} , $\lambda_{\text{М}}$ — коэффициенты теплопроводности материала теплоизоляции, мерзлого грунта (прил. 2.10).

Пример. Исходные данные: грунты-суглинки; $\gamma_{\text{М}} = 18 \text{ кН/м}^3$; $W_{\text{Г}} = 26\%$; $c_{\text{Г}} = 6 \text{ кПа}$; $\varphi_{\text{Г}} = 13^\circ$; $Z_{\text{МОТ}} = 2,4 \text{ м}$.

Решение. $P_{\text{ОТ}} = 2,4 \cdot 1,8 = 43,2 \text{ кПа}$; $t_{\text{СД}} = 6 + 43,2 \cdot 0,23 = 16,0 \text{ кПа}$;

$\sin \alpha = 16,0 / (18 \cdot 2,4) = 0,370$; $\alpha = 21,7^\circ$

$\text{tg} \alpha = 0,399$; $m = 1/0,399 = 2,5$.

Крутизну откоса выемки следует принять 1:2,5.

Задача 8.10. Определить возможность солифлюкции, пластических деформаций на склоне южной экспозиции, сложенном льдистым супесчаным грунтом.

Решение. По условиям решения задачи 8.9; по отношению величин порога ползучести $\tau_{\text{лим}}$ и касательных напряжений τ

$$K_{\text{УСТ}} = \tau_{\text{лим}} / \tau = [\text{tg} \varphi_{\text{мин}} + c_{\text{мин}} / (\gamma_{\text{Г}} Z_{\text{МОТ}})] / \text{tg} \alpha > 1,0;$$

приблизленно $K_{\text{УСТ}} = \text{tg} \varphi_{\text{Г}} / \text{tg} \alpha$.

Пример. Исходные данные: крутизна склона 1:5; $Z_{\text{МОТ}} = 1,36 \text{ м}$; по данным мерзлотногрунтовых изысканий $\gamma_{\text{М}} = 17 \text{ кН/м}^3$; $W_{\text{Г}} = 0,55$; $\varphi_{\text{Г}} = 8^\circ$; $c_{\text{Г}} = 0,0 \text{ кПа}$.

Решение. $t_{\text{СД}} = 0,0 + 1,36 \cdot 17 \cdot \text{tg} 8^\circ = 3,25 \text{ кПа}$;

$\sin \alpha = 3,25 / (17 \cdot 1,36) = 0,1406$; $\alpha = 8,1^\circ$;

фактическая крутизна откоса $\alpha = \arctg 1/5 = 11,3^\circ > 8,1^\circ$; $K_{\text{УСТ}} = 0,98$.

Следовательно, на склоне возможны явления солифлюкции (смещения, оплывание поверхностных слоев грунта при оттаивании).

Задача 8.11. Определить прогнозные параметры уровня режма реки Пшеха по данным наблюдений.

Решение. Определением аналитических ординат кривой обеспеченности, пользуясь ЭТ.

Исходные данные: наблюденные $H_{\text{ГВ}}$ за 25 лет: 4,31; 4,21; 4,20; 4,02; 4,01; 3,92; 3,91; 3,83; 3,81; 3,65; 3,58; 3,52; 3,51; 3,49; 3,35; 3,31; 3,27; 3,26; 3,13; 3,11; 2,91; 2,55; 2,54; 2,39; 1,83 м.

Статистики: средняя $\bar{H}_{\text{ГВ}} = 3,42 \text{ м}$; $C_{\text{У}} = 0,2$; $C_{\text{С}} = 0,4$. Результирующие данные приведены в табл. 8.3, $\Phi_{\text{Р}}$ по прил. 1.8.

Таблица 8.3

Прогнозные параметры вероятностной кривой $H_{\text{ГВ}}$ р. Пшеха

$p, \%$	99,9	99,0	97,0	90,0	50,0	10,0	3,0	1,0	0,1	0,01
$\Phi_{\text{Р}}$	-2,5	-2,0	-1,6	-1,2	-0,1	1,3	2,0	2,6	3,7	4,6
$H_{\text{ГВ}}, \text{ м}$	1,33	1,60	1,81	2,02	3,35	4,31	4,79	5,20	5,95	6,57

Задача 8.12. Рассчитать конструкцию берегоукрепительной стены в русле горной реки Пшеха.

Решение (по ГТУ). В руслах горных рек возможны варианты берегоукрепительных стен с развитым фундаментом и противоразмывным зубом при горизонтальной и наклонной засыпке, с устройством облицовки откоса.

1. Выполняется расчет стены на устойчивость в состоянии естественной влажности грунта. Определяются (рис. 8.16): собственный вес стены ΣQ_i и момент относительно точки A ΣM_o^A ;

— вес грунта над консолью фундамента ΣE_y и момент относительно точки A ΣM_y^A ;

— активное давление грунта на тыльную грань стены (границы BC , CD , DF), горизонтальных составляющих ΣE_r , вертикальных ΣE_b , моментов $\Sigma M_{E_r}^A$, $\Sigma M_{E_b}^A$;

— коэффициенты запаса устойчивости на скольжение $K_{ск} = (\Sigma Q_i + \Sigma E_y + \Sigma E_b) \operatorname{tg} \varphi / \Sigma E_r$;

на опрокидывание $K_{оп} = (\Sigma M_o^A + \Sigma M_y^A + \Sigma M_{E_b}^A) / \Sigma M_{E_r}^A$;

— толщину консоли фундамента из условия прочности бетона (на растяжение) $M/W < R_{ртр}$.

Расчет производится с учетом коэффициентов перегрузки (для собственного веса стены, грунта над консолью, активного давления грунта).

Проверяются размеры отдельных элементов стены.

2. Выполняется расчет стены на устойчивость с учетом гидростатического давления (эпюры на рис. 8.16).

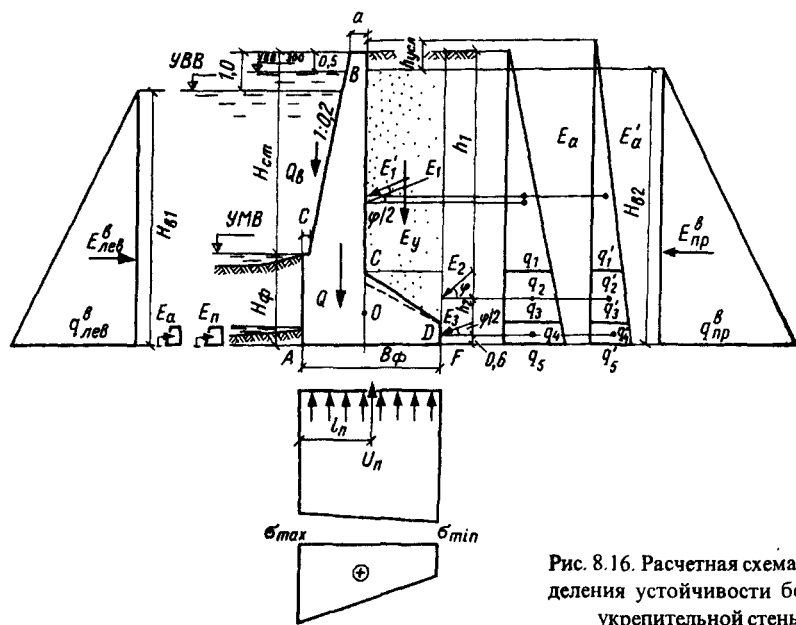


Рис. 8.16. Расчетная схема определения устойчивости берегоукрепительной стены

Определяются усилия и размерные параметры элементов стены.

Выполняются также расчеты устойчивости стены против сдвига, основания по несущей способности (первому предельному состоянию), по деформациям (второму предельному состоянию).

Задача 8.13. Определить размеры камня в горной массе покрытия наброски на откос для обеспечения устойчивости камня на откосе в низовой части пойменной насыпи.

Решение. Низовая часть откоса при воздействии вдольберегового течения воды со скоростью U_6 укрепляется покрытием из горной массы. Необходимые размеры камня для обеспечения его устойчивости на откосе определяются по формуле

$$d_k = 0,5 U_6^2 \gamma_B / [K_y g (\gamma_k - \gamma_B) \cos \alpha_{от}],$$

где K_y — коэффициент, учитывающий устойчивость камня на откосе: 1,0 — на участках крутых поворотов русел (при $R < 300$ м), 1,15 — в остальных случаях; γ_k , γ_B — удельный вес камня, воды; $\alpha_{от}$ — угол наклона поверхности откоса к горизонту.

В качестве расчетной скорости течения воды U_6 принимается средняя скорость потока на вертикали у подошвы откоса в рассматриваемом сечении. Допустимая скорость воды при покрытии каменной наброской

$$U_{кн} = K_{кн} / g d_{ср},$$

где коэффициент $K_{кн} = 1,37 - 1,75$.

Пример. Известно: $H_H = 6,2$ м; $U_6 = 3,3$ м/с; $\gamma_k = 25,0$ кН/м³; $\gamma_B = 9,81$ кН/м³; показатель крутизны откоса $m_{от} = 2$, угол $\alpha = 26,56^\circ$.

Расчетный размер камня для каменной наброски

$$d_k = 0,5 \cdot 3,3^2 \cdot 9,81 / [1,15 \cdot 9,81 (25,0 - 9,81) \cdot 0,8945] = 0,35 \text{ м.}$$

Возможны покрытия (откосов) из плит [4] бетонных, железобетонных размерами 2,50 x 1,50—3,00 м; асфальтобетонных размерами 1,0 x 1,0 (предложены автором), 3,9 x 1,4—2,9 м (прил. 5.6).

При высоких скоростях течения воды укрепление насыпи возможно защитными покрытиями, присыпками из несортированной горной массы, призмами из крупноразмерных камней (при неразрываемых и размываемых грунтах основания).

Возможно смещение насыпи (из горной массы) в русло реки на прижимном участке.

Задача 8.14. Определить техническое состояние земляного полотна по экспертным (качественным) оценкам.

Решение. Исходной служит информация по материалам (комиссионных) осмотров, наблюдений. Каждый j -й специалист — эксперт (член комиссии) оценивает в баллах (по 5—10 балльной шкале) состояние каждого i -го элемента, км, ОЗП — b_{ij} $i \in 1, n$, $j \in 1, m$.

Оценки рассматриваются, как случайные величины, заносятся в матрицу и обрабатываются по методу ранговой корреляции [65].

Оценки (балльные) состояния земляного полотна

$$B_{\text{ОЗП}} = \sum \sum b_{ij} / (nm);$$

с учетом ранжирования (рангов значимости элементов)

$$B_{\text{ОЗП}} = \sum \sum (r_i b_{ij}) / (nm) \quad \text{при } \sum r_i = 1, 0.$$

Степень согласованности мнений экспертов оценивается коэффициентом конкордации (согласия K_c)*

$$W_k = D/D_{\text{max}} = 12\sigma/[m^2(n^3 - n)];$$

значимость W_k — по критерию Пирсона, который должен быть больше табличного χ^2 при степени свободы $k = n - 1$ и задаваемой вероятности превышения (от 0,80 до 0,99, прил. 1.11)

$$\chi^2 = m(n-1)W_k = 12\sigma/[mn(n+1)] > \chi^2_{\text{т.}}$$

Обобщенная оценка определяется с учетом компетентности экспертов (и экспертной комиссии). Предусматривается обсуждение результатов с мотивацией экспертами отклонений от медианной (средней) оценки и получение окончательной по результатам второй или нескольких итераций (согласований).

При определении компетентности комиссии каждый j -й эксперт выставляет оценку (в баллах) каждому другому (и самому себе) b_{jv} .

Тогда уровень компетентности комиссии $Y_k = \sum \sum b_{jv} / m^2$.

Пример. В табл. 8.4 показан фрагмент ЭТ (маска) для определения компетентности комиссии и формирования (балльной) оценки состояния земляного полотна.

Задача 8.15. Определить показатель стабильности ОЗП.

Решение. Показатель стабильности St , как обобщенный показатель критериев качества ОЗП можно определять, например, по формуле

$$St_{\text{ОЗП}} = (\sum K_{ki} r_i) / \sum r_i,$$

где K_{ki} — критерии качества (количественные величины) состояния каждого элемента (подсистемы), параметра; $K_k = \{R_{\text{п}}, K_{ij}(I_L, \rho_d), \sigma_{ij} \dots\}$; размерные параметры $R_{\text{п}} = \{H_i, B_i, h_j, b_j, m_j, i_j \dots\}$;

r_i — весовая оценка (ранг) элемента, параметра, учитывающая его влияние в формировании деформаций.

Пример. Определить показатель стабильности для оценки технического состояния ОЗП, участка земляного полотна (по размерным параметрам).

Решение. Выполняются измерительные работы с определением критериев качества K_k : фактических размеров ОП, других элементов, крутизны

* Евдокимов Ю. А. Основы теории инженерного эксперимента. РИИЖТ, 1987.

Таблица 8.4

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА															
Перегон		КМ 1212 ПК 8													
Дата		1/6													
Уровень компетентности экспертов															
Оценки компетентности экспертов															
Эксперты												Коллич. экспер.	Средний уровень		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
11	Эксперт 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
12	Эксперт 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
13	Эксперт 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
14	Эксперт 4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
15	Эксперт 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
16	Эксперт 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
17	Эксперт 7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
18	Эксперт 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
19	Эксперт 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
20	Эксперт 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
22	Уровни комп. экспертов														
23	Уровень компетентности комиссии														
25	ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА (ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ)														
27	ОЦЕНКИ ЭКСПЕРТОВ														
28	Показатели состояния ОЗП											Количество оценок	Мини-мал	Средние	
29		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
31	1 Подбалластная зона														
32	1.1 ОП-разжижение грунта	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
33	1.2 ОП-бугры выпирания	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
88	7.5 Улавливаюц соор-наруш	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
89	7.6 Защитные соор-наруш	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
91	Минимальные значения														
92	Количество параметров														
93	Средние значения														
96	ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА														
98	ОЦЕНКИ ЭКСПЕРТОВ														
99	Показатели состояния ОЗП	Ранг											Суммы	Коллич. оценок	Оценки
100			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
102	1.Подбалластная зона														
103	1.1 ОП-разжижен.гр	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
104	1.2 ОП-бугры выпир.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
105	1.3 ОП-трещины	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
106	1.4.Налич. просадок	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
107	1.5 Наличие пучин	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
108	1.6.Налич. бал. угл.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
159	7.5.Улав.соор-наруш	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
160	7.6.Защ.соор-наруш.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
162	Количество параметров														
163	Средние суммы, оценки														
164	Среднеквадр.отклон , коэффициент согласия Kс, значимость Kс при степ свободы														
165	Оценка (показатель) состояния земляного полотна														

откосов и т.д. Определение показателя Ст (по размерным параметрам) производится, например, на ЭТ-Оценка (табл. 8.5, фрагментарно).

Алгоритмом предусмотрены ввод размерных параметров состояния земляного полотна (исходная информация), определение оценок (критериев качества) состояния (сопоставимо с допусками), показателя стабильности земляного полотна, рекомендации о скоростях движения поездов, мероприятиях по стабилизации ОЗП. Реализуются принципы безразмерных K_k , определения показателя Ст с учетом ранговых уровней, анализа состояния по минимальным K_k и общей оценки состояния ОЗП.

Задача 8.16. Определить величину показателя надежности земляного полотна.

Решение. Показатель надежности, как вероятность безотказного функционирования земляного полотна, можно определять

— для отдельных железных дорог (сети дорог) по количеству км, ОЗП с деформациями, по количеству отказов за некоторый период T , имитационным моделям¹;

— по отдельным участкам, перегонам — согласно схеме последовательно соединенных элементов (ОЗП), когда отказ одного элемента (ОЗП) приводит в отказу всего участка, перегона, и вероятность безотказной работы выражается произведением вероятностей

$$p(t) = p(T < t) = \prod_{i=1}^n p_i = \prod_{i=1}^n (1 - q_i),$$

где q_i — вероятность отказа отдельного ОЗП;

— для отдельных ОЗП — по количеству отказов за период t .

Для определения показателя надежности $P_H(t)$ функционирования земляного полотна на железной дороге по протяженности земляного полотна с деформациями можно воспользоваться, например [68], приближенной формулой

$$P_H(t) = [1 - 1/(Nt)]^{d(t)},$$

где N — общее количество объектов; $d(t)$ — суммарное количество отказов за рассматриваемый период t .

Пример. При общей протяженности сети дорог СНГ до 150 тыс. км протяженность пути с деформациями земляного полотна в периоде $t = 10$ лет составляла 10,3—12,4 тыс. км (в сумме 98,7 тыс. км). При этих данных показатель надежности земляного полотна

$$P_H(t) = [1 - 1/(150 \cdot 10)]^{98,7} = 0,9363, \text{ что составляет } 93,63 \%.$$

¹ Н. И. Карпушенко, Г. И. Тарнопольский. Надежность железнодорожного пути. НИИЖТ, 1989.

Таблица 8.5

1	ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПО РАЗМЕРНЫМ ПАРАМЕТРАМ																	
3	-----																	
4	Перегон	КМ 1000					ПКО											
5	Дата	1/4																
6	-----																	
7	РАЗМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА (ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ)																	
8	-----																	
9	Размерные параметры состояния ОЗП	ЗНАЧЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ								Показатели размерных параметров								
10		(ИЗМЕРЕННЫХ) ПО ПИКЕТАМ																
11		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Миним	Средн.	Нормат.	Допуст.	Предельно допустимые		
12	-----																	
13	1.Подбалластная зона																	
14	1.1.ОП-полуширина, м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.00	2.75	2.30		
15	1.2.ОП-превышение Г.Р., м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.80	1.10	1.50		
16	1.3.ОП-ширина обочины, м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.50	.25	.00		
29	3.2.Канавы - ширина, м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	.80	1.20		
30	3.3.Резервы - размывы, м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.00	70	1.50		
31	-----																	
32	-----																	
33	Количество параметров	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
34	Сумма всех параметров															—		
35	-----																	
36	ОЦЕНКИ (КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА) СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА																	
37	-----																	
38	Размерные параметры состояния ОЗП	ЗНАЧЕНИЯ ОЦЕНОК (КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА)								Колич. Оценки состоян				Графики				
39		ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПО ПИКЕТАМ										оценок		Миним Средн		оценок		
40		Ранг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
41	-----																	
42	1 Подбалластная зона																	
43	1.1.ОП-полуширина, м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
44	1.2.ОП-превышение Г.Р., м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
59	3.3.Резервы - размывы, м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
61	-----																	
62	Минимальные значения															—		
63	Средние значения оценок															Общая оценка		—
64	-----																	
65	ПОКАЗАТЕЛИ СТАБИЛЬНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПО РАЗМЕРНЫМ ПАРАМЕТРАМ																	
66	-----																	
67	Размерные параметры состояния ОЗП	ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАБИЛЬНОСТИ								Колич. Расчет показат				Графики				
68		ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПО ПИКЕТАМ										показ.		Миним Средн.		показате- лей		
69		Ранг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
70	-----																	
71	1.Подбалластная зона																	
72	1.1.ОП-полуширина, м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
90	-----																	
91	Минимальные значения															—		
92	Средние значения по ПК															—		
93	Общий показатель стабильности земляного полотна																	
94	-----																	
95	РЕКОМЕНДАЦИИ О СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ (по минимальному критерию)																	
96	-----																	
97	РЕКОМЕНДАЦИИ О МЕРОПРИЯТИЯХ ПО																	
98	СТАБИЛИЗАЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА										МИНИМ		РЕКОМЕН-		(для ПОКАЗАТЕЛЕЙ)			
99											ОЦЕНКИ		ДАЦИИ					
100	-----																	
101	-----																	

8.3. Проектирование противопучинных конструкций

8.3.1. Расчеты конструкций

Задача 8.17. Определить принципы проектирования и расчетные характеристики для противопучинных конструкций: размерные параметры пучин: длину $l_{п}$, величины пучения полного $h_{п}$, равномерного $h_{р}$, допустимого $h_{д}$, неравномерного $h_{н}$, избыточного $h_{из}$, пучинного горба $h_{г}$, крутизну (отвода) допускаемую $i_{д}$; глубину промерзания $Z_{пр}$; коэффициенты пучения $K_{пч}$, избыточности $K_{из}$, промерзаемости $K_{пр}$ (материалов $K_{м}$); размеры балластной призмы $b_{н}$, $b_{в}$, толщину (однослойной, двухслойной) b ; теплофизические характеристики грунта.

Исходные данные: ординаты съемок пучинной неровности; характеристики грунта: удельный вес $\gamma_{г}$, влажность $W_{г}$; тип верхнего строения пути; установленные скорости движения поездов $U_{п}$.

Расчетная схема на рис. 3.7, 8.17.

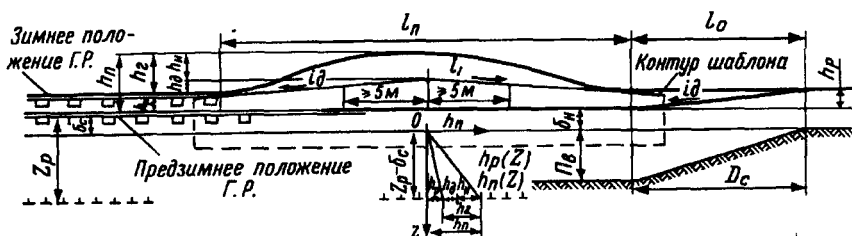


Рис. 8.17. Размерные параметры пучины, подушки

Решение. Противопучинные конструкции проектируются по принципам выведения зоны пучения (пучинистых грунтов) из зоны промерзания или пучинистых грунтов из зоны промерзания с устранением 1 — полного пучения $h_{п}$ [121] или 2 — избыточного пучения $h_{из}$ (и бокового промерзания) с оставлением допустимого $h_{д}$ — оптимальные конструкции по гипотезе предельных деформаций [16,20]. Реализация этих принципов достигается посредством изменения (улучшения) свойств и состояний грунтов в расчетном контуре подбалластной зоны.

Изменения свойств пучинистых грунтов (грунтовой среды) обеспечивается методами технической мелиорации или вырезкой и заменой пучинистых грунтов непучинистыми с устройством врезных и полуврезных подушек (выведение пучинистых грунтов из зоны промерзания).

Изменение состояний пучинистых грунтов обеспечивается устройством накладных подушек, подъемкой пути на балласт; термоизолирующими покрытиями из пенопластов (полистирольных и др.), допустимо из гидрофобных торфоплит (выведение зоны промерзания из зоны пучинистых грунтов);

гидроизолирующими покрытиями (поливинилхлоридными и др. пленками, бризольными и др. рулонными материалами), а также планировкой подбалластного основания с вырезкой балластных углублений (корыт, лож при обеспечении несущей способности грунтов), упорядочение отвода воды (устранение избыточного увлажнения).

Подушки врезные с вырезкой и заменой пучинистых грунтов без изменений отметок профиля пути (в условиях габаритных ограничений); накладные с подъемкой пути на материал подушки и балласта и изменением отметок профиля пути; полуврезные с частичной вырезкой (балластных углублений) устраиваются из песчаных (балластных) дренирующих материалов, асбоотходов (отходов асбестовой промышленности), шлаков гранулированных черной металлургии: доменных, цветной: никелевых (предложены автором) и других [44].

При проектировании противопучинных конструкций выполняются: анализ местных условий, определение формы, вида, типа и размерных параметров пучин, выбор конструкций и материалов для них, расчеты элементов конструкций, проектирование организации (технологии) работ.

Размерные параметры пучин определяются по данным натурных съемок пучинных неровностей по Г.Р. (визирками, приборами оптическими и др., нивелированием). По ординатам съемок вычерчиваются продольные профили пучин в принятых масштабах (M_B 1:2, M_T 1:200 или M_B 1:1, M_T 1:100). На продольный профиль накладывается (снизу) шаблон с линейными очертаниями (контурами), требуемыми при ИПП [41]¹. Расстояние между точками совмещения неровности и контура шаблона соответствует длине пучины (пучинного горба) l_p , положение вершины шаблона величине допустимого пучения h_d .

Допустимая крутизна отводов определяется в зависимости от скоростей движения поездов v_p (v_p) по нормативам для ИПП (табл. 8.6). По известной крутизне i_d величина допустимого пучения может быть вычислена по формулам

$$\begin{aligned} \text{при } v_p \text{ до } 100 \text{ км/ч.} & \quad h_d = l_1 i_1 + (0,5 l_p - l_1) i_d; \\ \text{при } v_p \text{ более } 100 \text{ км/ч.} & \quad h_d = 0,5 l_p i_d. \end{aligned}$$

Таблица 8.6

Допустимые уклоны (крутизна) отводов рельсовых нитей (при ИПП)

Скорости движения поездов v_p , км/ч	Уклоны (крутизна) отводов	
	на первом l_1 -м элементе от вершины горба i_1	на остальной части отвода $i_2 = i_d$
Менее 60	0,0020 (2 мм на 1 м)	0,0030 (3 мм на 1 м)
От 61 до 80	0,0015 (1,5 мм на 1 м)	0,0020 (2 мм на 1 м)
От 81 до 100	0,0010 (1 мм на 1 м)	0,0015 (1,5 мм на 1 м)
	На всем протяжении отвода	
От 101 до 120	0,00100 (1 мм на 1,0 м)	
От 121 до 140	0,00083 (1 мм на 1,2 м)	
От 141 до 160	0,00067 (1 мм на 1,5 м)	

¹ Разрабатывается новая Инструкция по ИПП (РГУПС, ВНИИЖТ).

Пример. Исходные данные: $U_{\text{п}}$ от 61 до 80 км/ч; $\Sigma(-T_c) = 2000^\circ\text{C}$.

Решение. По табл. 8.6 $i_1 = 0,0015$, $i_d = 0,0020$. При морозном индексе $\Sigma(-T_c) = 2000^\circ\text{C}$ $z_{\text{пр}} = 2,0$ м, $l_{\text{п}} = 20,0$ м (по рис. 3.8); $l_1 = 5$ м.

Величина допустимого пучения равна

$$h_d = 5 \cdot 0,0015 + (0,5 \cdot 20,0 - 5) \cdot 0,002 = 0,0175 \text{ м.}$$

Величины полного $h_{\text{п}}$ и равномерного пучения $h_{\text{р}}$ определяются на совмещенных продольных профилях пучинных горбов по результатам двух съемок по Г.Р. в предзимний период и в конце зимы.

Другие размерные параметры: пучинный горб $h_{\text{Г}} = h_{\text{п}} - h_{\text{р}}$; неравномерное пучение $h_{\text{Н}} = h_{\text{Г}} - h_{\text{д}}$; избыточное $h_{\text{из}} = h_{\text{Г}}$ или $h_{\text{из}} = h_{\text{Н}}$.

Подлинные параметры пучин (без погрешностей текущего содержания) можно определить по совмещенным спрямленным продольным профилям, когда за нулевые принимаются отметки предзимней съемки [18].

Прогнозные значения пучения и глубины промерзания $Z_{\text{пр}}$ — по решению задач в разд. 2. Расчетное значение

$$Z_{\text{р}} = Z_{\text{пр}}/K_{\text{прг}},$$

где $K_{\text{прг}}$ — коэффициент промерзаемости грунта в зависимости от вида его и состояния по влажности $W_{\text{Г}}$ (прил. 8.1).

Размерные параметры балластной призмы поверху $b_{\text{в}}$, понизу $b_{\text{н}}$, толщина балласта $b_{\text{с}}$ существующего (старого) определяются по натурным измерениям (рис. 8.6), нового $b_{\text{н}}$ — по категории дороги, типу верхнего строения пути [67].

Коэффициент пучения $K_{\text{пч}} = h_{\text{п}}/Z_{\text{р}}$.

Коэффициент избыточности пучения $K_{\text{из}} = h_{\text{Г}}/h_{\text{п}}$ или $K_{\text{из}} = h_{\text{Н}}/h_{\text{Г}}$.

Коэффициент промерзаемости характеризует теплофизические свойства материала, грунта; $K_{\text{пр}} = Z_{\text{прм}}/Z_{\text{прг}}$, определяется по прил. 8.1.

Теплофизические параметры грунта: теплопроводность $\lambda_{\text{Г}}$ Вт/(м · К); удельная теплоемкость $c_{\text{Г}}$, Дж/(кг · К) принимаются по справочным данным согласно $W_{\text{Г}}$ и $\rho_d = (\gamma_{\text{Г}}/g)/(1 + W_{\text{Г}})$ (прил. 2.10); температуропроводность $a_{\text{Г}} = \lambda_{\text{Г}}/(\rho_d c_{\text{Г}})$, м²/с (единицы величин в прил. 9).

Задача 8.18. Определить размеры противопучинных подушек для ликвидации пучин полной зоны промерзания (2 типа).

Исходные данные: $Z_{\text{р}}$, $h_{\text{р}}$, $l_{\text{п}}$, $U_{\text{п}}$, материал подушки.

Расчетные схемы на рис. 8.18-25.

Решение. По принципу полного выведения зоны промерзания (пучинистых грунтов) из зоны пучинистых грунтов (зоны промерзания)[44].

— Врезные подушки — для ликвидации коротких одиночных пучин, на стационарных площадках, при габаритных ограничениях (подъемки пути): толщина подушки $P_{\text{в}} = K_{\text{м}}(Z_{\text{р}} - \Sigma\delta_{\text{си}})$;
длина сопряжений $D_{\text{с}} = h_{\text{р}}/i_{\text{д}}$;
длина подушки $D_{\text{в}} = l_{\text{п}} + 2D_{\text{с}}$.

Отвод воды в поперечном профиле (односторонний, двухсторонний) на откосы насыпей; в выемках глубиной до 2 м — в углубленные кюветы, свыше 2 м — в лотки, дренажи (с поперечным уклоном 0,02—0,04) [18].

Ширина подушки при одностороннем отводе воды

$$0,5B_H = 0,5l_{ш} + (Z_p - \Sigma b_i - П_B) + a \geq 1,8 \text{ м,}$$

где $l_{ш}$ — длина шпалы; $a = 0,15—0,20$ м — запас на колебание $Z_{пр}$ в разные годы (зимы).

— Накладные подушки и подъемка пути на балласт — для ликвидации нескольких смежно расположенных пучин (на пучинных участках $l_{пу}$), при отсутствии ограничений по условиям габарита, профиля, ширины обочин, малых мостов.

Высота подъемки пути на балласт $П_{пп} = K_{бн}(Z_p - \Sigma b_{ci})$.

Толщина накладной подушки $П_H = K_H[Z_p - \Sigma b_{ci} - \Sigma(b_{ни}/K_{бни})]$.

Длина сопряжений $D_c > l_o = h_p/i_d$; $L_H > l_{пу} (\geq 100 \text{ м})$;

Длина накладной подушки $D_H = l_{пу} + 2D_c$.

Длина элементов L_H, D_c должны соответствовать требованиям на проектирование продольного профиля (при ремонтах пути).

Ширина подушки равна ширине ОП $B_B = B_{оп}$.

Требуется уширение насыпей, выемок, отвод воды в трубы-коллекторы (в кюветах), в лотки. Уширение насыпей выполняется дренгрунтом при ширине отсыпки $b_{уш} < 2,0$ м, местным грунтом (с устройством уступов) при ширине отсыпки насыпи $b_{уш} > 2,0$ м (см. рис. 8.35).

Комбинированные (полуврезные) подушки — для ликвидации пучин при наличии габаритных ограничений подъемки пути, наличии деформаций ОП (балластных углублений).

Толщина подушки

$$П_K = K_M \{ Z_p - \Sigma[(K_{би} - 1)/K_{бci}] b_{ci} - \Sigma(b_{ни}/K_{бни}) \} = П_{кв} + П_{кн}.$$

Длина накладной части — по рекомендациям для накладной подушки, отвод воды — по рекомендациям для врезной подушки.

При $L_{кв} < L_{кн}$ длина сопряжений врезной части

$$D_{св} = (h_p/i_d) П_{кв} / [K_M(Z_p - \Sigma b_{ci})].$$

Пример 1. Дано: участок однопутный, насыпь, пучинный горб полной зоны промерзания (2 типа); грунт — суглинок тяжелый в зоне промерзания ($Z_p - \Sigma b_{ci}$); увлажнение атмосферными водами; $h_p = 0,038$ м; $l_{п} = 23$ м; $Z_p = 2,1$ м; $\Sigma b_{ci} = 0,7$ м; $v_{п} = 80$ км/ч. Участок электрифицированный, подъемка пути ограничена высотой подвески контактного провода. Материал — шлак котельный.

Расчетная конструкция — на рис. 8.18.

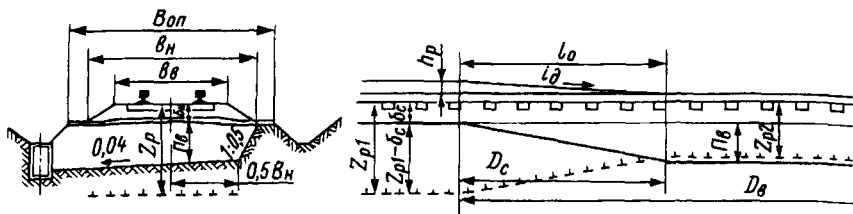


Рис. 8.18. Противоупучинная врезная подушка

Решение. Рассчитываем врезную подушку.

Толщина $P_B = 0,8(2,1 - 0,7) = 1,12$ м.

Длина сопряжений $D_c = l_0 = 38 \cdot 10^{-3}/0,002 = 19$ м.

Длина подушки $D_B = 23 + 2 \cdot 19 = 69$ м.

Односторонний отвод воды в лоток, полуширина подушки $0,5B_H \geq 1,8$ м.

Пример 2. Дано: участок двухлутный; выемка; увлажнение грунтов в зоне промерзания грунтовыми водами (пучина коренная). Другие исходные данные по примеру 1. Расчетная конструкция на рис. 8.19.

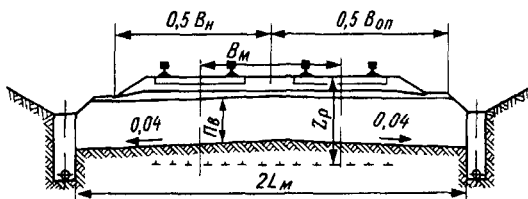


Рис. 8.19. Врезная противоупучинная подушка при увлажнении грунтовыми водами

Решение. Рассчитываем врезную подушку, по примеру 1.

Дополнительно проектируем двусторонний подкюветный дренаж. Ширина подушки $B_B = 2L_M$, где $2L_M$ — ширина междренажного пространства. Поперечный отвод воды двусторонний — в дренаж.

Пример 3. Дано: пучинный участок с несколькими пучинами 2 типа на насыпи из суглинков легких; увлажнение атмосферными водами; $h_p = 0,036$ м, $l_{п} = 280$ м; $Z_p = 1,7$ м; $\Sigma b_{ci} = 0,65$ м, $v_{п} = 105$ км/ч. Участок не электрифицированный. $L_B = 300$ м. Имеются асбоотходы (средней крупности).

Решение. Рассчитываем подъемку пути на асбестовый балласт.

Расчетная конструкция — на рис. 8.20.

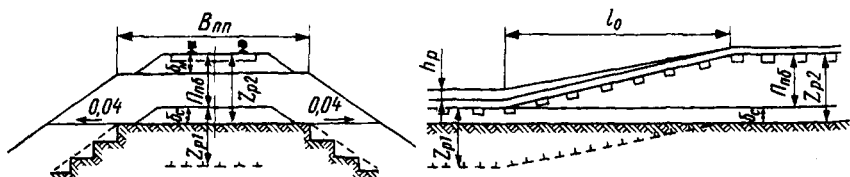


Рис. 8.20. Подъемка пути на балласт с уширением насыпи

Высота подъёмки $P_{пб} = 0,95(1,70 - 0,65) = 1,0$ м.

Длина сопряжений $D_c > l_o = 0,036/0,001 = 36,0$ м.

Принимаем $\min D_c = 100$ м.

Длина подъёмки пути на балласт $D_{п} = 300 + 2 \cdot 100 = 500$ м.

Ширина $B_{пп} = B_{оп}$. Предусматривается уширение насыпи.

Пример 4. Дано: выемка, другие условия по примеру 3; имеется металлургический граншлак (никелевый).

Расчетная конструкция — на рис. 8.21.

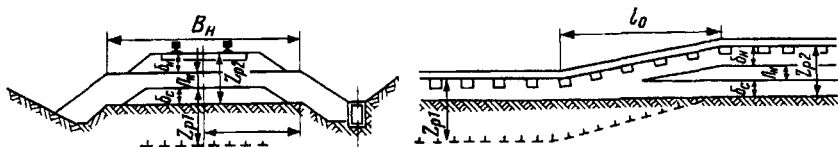


Рис 8.21. Накладная подушка из граншлака с отводом воды в трубы-коллекторы или лотки

Решение. Рассчитываем накладную подушку из металлургического (никелевого) граншлака.

Балласт новый: щебеночный $b_{щ} = 0,43$ м, песчаная подушка $b_{п} = 0,2$ м (легкий тип верхнего строения пути); $K_M = 0,70$.

Толщина подушки $P_H = 0,70[1,7 - 0,65 - (0,43/1,15) - (0,2/1,05)] = 0,35$ м.

Длина подушки $D_y = 300 + 2 \cdot 100 = 500$ м. Ширина $B_{нв} = B_{оп}$.

Отвод воды в трубы-коллекторы или лотки.

Пример 5. Дано: пучинный однопутный участок $l_{пу} = 180$ м в выемке $H_B = 1,8$ м, $v_{п} = 80$ км/ч.

Пучинные горбы полной зоны промерзания (2 типа) при грунте — суглинке тяжелом в зоне ($z_p - \Sigma b_{ci}$), увлажнение атмосферными водами; $h_p = 0,042$ м, $z_p = 1,9$ м, $\Sigma b_{ci} = 0,65$ м (гравийный, щебеночный). Имеются балластные корыта $b_k = 0,3$ м, $l_k = 80$ м, ограничения подъёмки по ширине обочин.

Решение. Рассчитываем комбинированную (полуврезную) подушку. Расчетная конструкция на рис. 8.22.

Вариант 1. Материал подушки — металлургический шлак (доменный). Балласт новый: $b_{щ} = 0,48$ м, песчаная подушка $b_{п} = 0,2$ м (средний тип верхнего строения пути).

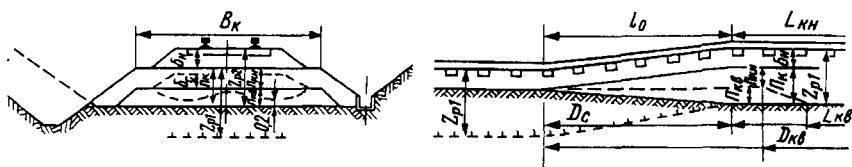


Рис. 8.22. Комбинированная (полуврезная) подушка (из граншлака) с отводом воды в углубленный кювет или лоток

Толщина подушки

$$П_K = 0,75\{1,90 - [(1,15 - 1,0)/1,15]0,65 - 0,48/1,15 - 0,2/1,05\} = 0,91 \text{ м.}$$

$$П_{КВ} = б_K + 0,2 = 0,3 + 0,2 = 0,5 \text{ м}; \quad П_{КН} = 0,91 - 0,5 = 0,41 \text{ м.}$$

Длина сопряжений $D_C > l_0 = 0,042/0,002 = 21 \text{ м.}$

Принимаем $D_{CH} = 100 \text{ м}; \quad L_{KH} = L_{KB} = 100 \text{ м.}$

Длина подушки $D_K = 200 + 2 \cdot 100 = 400 \text{ м.}$

Вариант 2. Материал подушки — асбоотходы мелкие, используемые также вместо песчаной подушки $б_{П} = 0,2 \text{ м.}$

Ограничение величины подъёмки $0,55 \text{ м.}$

Решение. Толщина подушки

$$П_K = 0,95\{1,9 - [(1,15 - 1,0)/1,15]0,65 - 0,48/1,15\} = 1,33 \text{ м.}$$

$$П_{КН} = 0,55 \text{ м}; \quad П_{КВ} = 1,33 - 0,55 = 0,78 \text{ м};$$

$$D_{CH} = 100 \text{ м}; \quad D_{KH} = 200 + 2 \cdot 100 = 400 \text{ м.}$$

Длина врезной части (понизу подушки) $L_{KB} \geq l_K = 80 \text{ м.}$

Длина сопряжений врезной части

$$D_{CB} = (0,042/0,002)0,78/[0,95(1,90 - 0,65)] = 14,0 \text{ м.}$$

Длина врезной части $D_{KB} \geq 80 + 2 \cdot 14,0 = 108,0 \text{ м.}$

Задача 8.19. Определить размеры оптимальных противопучинных подушек для ликвидации пучин полной зоны пучения (2 типа), в условиях глубокого уровня грунтовых вод.

Исходные данные: размерные параметры ОЗП: $H_H \vee H_B, \Sigma б_{ci}, Z_p$, пучины: $h_{п}, h_p, l_{п}$; грунты, материал подушки; скорость движения поездов $U_{п}$

Расчетные конструкции врезных подушек на рис. 8.23—24, накладной — на рис. 8.25.

Решение. По гипотезе предельных деформаций — принципу оставления допустимого и устранения неравномерного (избыточного) пучения, с неполной заменой пучинистого грунта при устройстве врезных, накладных подушек и других противопучинных конструкций [16, 18, 42].

Вариант 1. Короткий пучинный горб (рис. 8.23).

Аналитическое решение. $h_r = h_{п} - h_p$; $h_r \leq (h_d h_{п})/h_p$;

$\Sigma б_{ни}$ — по табл. 1.1 [67]; K_M по прил. 8.1.

Толщина подушки

$$П_B = K_M [Z_p - \Sigma б_{ci} + \Sigma (б_{ни}/K_{бни})] K_{из},$$

где $K_{из}$ — коэффициент избыточности пучения, $K_{из} = h_r/h_{п}$.

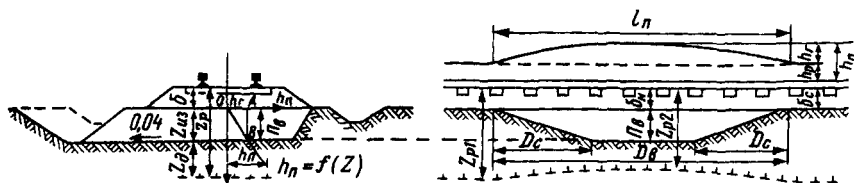


Рис. 8.23. Врезная (оптимальная) противопучинная подушка, устраняющая избыточное пучение, на нулевом месте

Длина сопряжений $D_c = (1/3) l_{\text{п}}$. Длина подушки $D_{\text{в}} = l_{\text{п}}$.

Ширина подушки $0,5 B_{\text{н}} > 1,8 \text{ м}$.

Графическое решение (рис. 8.23, при наличии данных наблюдений $Z_{\text{пр}i}$, $h_{\text{п}i}$).

На графике пучения по глубине $h_{\text{п}} = f(Z)$ по оси $h_{\text{п}}$ откладывается отрезок $h_{\text{Г}}$. Через точку A проводится вертикаль до пересечения с графиком пучения в точке B . Отрезок AB соответствует толщине врезной подушки $\Pi_{\text{в}}$, устраняющей неравномерное (избыточное) пучение $h_{\text{из}} = h_{\text{Г}}$.

Вариант 2. Пучинный горб (рис. 8.24).

Аналитическое решение. $h_{\text{Г}} = h_{\text{п}} - h_{\text{р}}$; $h_{\text{Г}} > (h_{\text{д}} h_{\text{п}})/h_{\text{р}}$;

$h_{\text{д}}$ по решению задачи 8.17; $h_{\text{н}} = h_{\text{Г}} - h_{\text{д}}$.

Толщина врезной подушки вычисляется по формулам:

в средней части $\Pi_{\text{в}} = K_{\text{м}}(Z_{\text{р}} - \Sigma \delta_{\text{с}i}) K_{\text{из}}$; $K_{\text{из}} = 1 - h_{\text{д}}/h_{\text{Г}}$;

у начала сопряжения $\Pi_{\text{с}} = K_{\text{м}}(Z_{\text{р}} - \Sigma \delta_{\text{с}i}) K_{\text{из}}$; $K_{\text{из}} = 1 - h_{\text{д}} h_{\text{п}} / (h_{\text{Г}} h_{\text{р}})$.

Длина сопряжений $D_{\text{с}}'' = l_{\text{с}} = (h_{\text{р}} h_{\text{Г}} - h_{\text{д}} h_{\text{п}}) / (i_{\text{д}} h_{\text{Г}})$; $D_{\text{с}}' = l_{\text{п}}/3 = L_{\text{н}}$.

Длина подушки $D_{\text{в}} = l_{\text{п}} + 2D_{\text{с}}''$.

Графическое решение (рис. 8.24 при наличии данных наблюдений $Z_{\text{пр}i}$, $h_{\text{п}i}$, $h_{\text{р}i}$).

Строится график пучения по глубине $h_{\text{п}} = f(Z)$.

Из точки Γ на расстоянии $ОГ = h_{\text{Г}} - h_{\text{д}}$ строится график $h_{\text{р}} = f(Z)$.

В точке пересечения графиков D отсекается ордината, равная величине $\Pi_{\text{в}}$. Вертикалью (на расстоянии $h_{\text{д}}$ от точки D) по графику $h_{\text{р}} = f(Z)$ в точке E отсекается ордината, равная величине $\Pi_{\text{с}}$.

Толщина накладной подушки вычисляется по формуле

$$\Pi_{\text{н}} = K_{\text{м}}[Z_{\text{р}} - \Sigma \delta_{\text{с}i} - \Sigma (\delta_{\text{н}i}/K_{\text{б}ни})] K_{\text{из}}$$
; $K_{\text{из}} = h_{\text{н}}/h_{\text{Г}}$.

Длина сопряжений

$$D_{\text{с}} = l_{\text{о}} = (h_{\text{р}}/i_{\text{д}}) \{ \{\Pi_{\text{н}}/K_{\text{м}} + \Sigma (\delta_{\text{н}i}/K_{\text{б}ни})\} / (Z_{\text{р}} - \Sigma \delta_{\text{с}i}) \}$$
.

Длина подушки $D_{\text{н}} = l_{\text{пс}} + 2D_{\text{с}}$; учитываются рекомендации для проектирования элементов продольного профиля $D_{\text{с}} = 50 \dots 100 \text{ м}$.

Пример 1. Дано: нулевое место; грунт — суглинок легкий; $\Sigma \delta_{\text{с}i} = 0,6 \text{ м}$; $Z_{\text{р}} = 2,2 \text{ м}$; $h_{\text{п}} = 44 \text{ мм}$; $h_{\text{р}} = 20 \text{ мм}$; $l_{\text{п}} = 18 \text{ м}$; $U_{\text{п}} = 80 \text{ км/ч}$; материал подушки — асбоотходы (средние).

Расчетная конструкция врезной подушки на рис. 8.23.

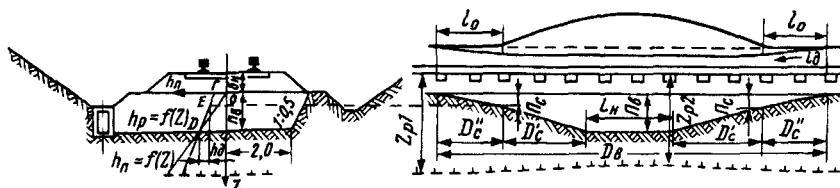


Рис. 8.24 Врезная (оптимальная) противопучинная подушка, устраняющая избыточное пучение, в выемке

Решение (аналитическое). Определяем $h_{\Gamma} = 44 - 20 = 24$ мм; $i_{\text{д}} = 0,002$; $K_{\text{м}} = 0,95$; $\Sigma b_{\text{ни}} = \Sigma b_{\text{си}}$.

Толщина подушки $P_{\text{в}} = 0,95(2,2 - 0,6)(24/44) = 0,82$ м.

Длина сопряжений $D_{\text{с}} = 18,0/3 = 6,0$ м. Длина подушки $D_{\text{в}} = 18,0$ м.

Ширина подушки $0,5B_{\text{н}} = 1,8$ м. Отвод воды в углубленный кювет.

Пример 2. Данные наблюдений: $Z_{\text{при}} = 0,7; 1,1; 1,4; 1,8; 2,1$ м (по мерзотомеру); соответственно $h_{\text{пн}} = 5; 17; 23; 34; 44$ мм (по пучиномеру или нивелированиям). Другие исходные данные — по примеру 1. $h_{\text{р}} = 20$ мм.

Расчетная конструкция врезной подушки на рис 8.23.

Решение (графическое). Строим график пучения по глубине $h_{\text{п}} = f(Z)$, последовательно для каждого уровня Z_i откладывая горизонтально $h_{\text{пн}}$ и соединяя полученные точки.

От начала координат откладываем $OA = h_{\Gamma} = 44 - 20 = 24$ мм, проводим вертикаль AB (до пересечения с графиком в точке B). Величина AB соответствует толщине подушки $P_{\text{в}} = 0,95$ м, устраняющей неравномерное (избыточное) пучение $h_{\text{из}} = h_{\Gamma}$.

Пример 3. Дано: выемка $H_{\text{в}} = 6,2$ м; грунт — тяжелый суглинок; $b_{\text{с}} = 0,65$ м; $Z_{\text{р}} = 2,4$ м; $h_{\text{п}} = 62$ мм; $h_{\text{р}} = 28$ мм; $l_{\text{п}} = 30$ м; $v_{\text{п}} = 120$ км/ч; материал подушки — асбоотходы (мелкие).

Расчетная конструкция врезной подушки на рис. 8.24.

Решение. Определяем $h_{\Gamma} = 62 - 28 = 34$ мм; $i = 0,00083$; $K_{\text{м}} = 0,95$; $h_{\text{д}} = 0,00083 \cdot 30000/2 = 12$ мм; $\Sigma b_{\text{ни}} = \Sigma b_{\text{си}}$.

Толщина врезной подушки

в средней части $P_{\text{в}} = 0,95(2,4 - 0,65)(1 - 12/34) = 1,08$ м;

у начала сопряжений $P_{\text{с}} = 0,95(2,4 - 0,65)[(1 - 12 \cdot 62)/(34 \cdot 28)] = 0,36$ м.

Длина сопряжений $D_{\text{с}} = l_{\text{о}} = (28 \cdot 34 - 12 \cdot 62)/(0,00083 \cdot 34 \cdot 1000) = 7,4$ м; принимаем 7,5 м; $L_{\text{н}} = 27/3 = 9,0$.

Длина подушки $D_{\text{в}} = 30 + 2 \cdot 7,5 = 45$ м.

Ширина подушки $0,5B_{\text{н}} = 1,8$ м. Отвод воды в лоток.

Пример 4. Дано: выемка $H_{\text{в}} = 4,7$ м; грунт — тяжелый суглинок; $\Sigma b_{\text{си}} = 0,6$ м. Пучинный участок $l_{\text{пу}} = 190$ м; $l_{\text{пмак}} = 26$ м; $h_{\text{п}} = 73$ мм; $h_{\text{р}} = 32$ мм; $Z_{\text{р}} = 2,1$ м; $v_{\text{п}} = 95$ км/ч. Материал подушки — асбоотходы (мелкие).

Расчетная конструкция накладной (оптимальная) противопучинная подушка, устраняющая

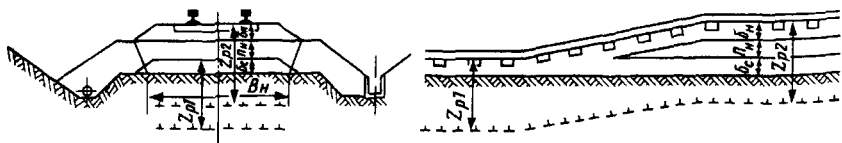


Рис. 8.25. Накладная (оптимальная) противопучинная подушка, устраняющая неравномерное пучение

Решение. Рассчитываем накладную подушку.

Определяем $h_T = 73 - 32 = 41$ мм; $i_1 = 0,001$; $i_D = 0,0015$; $l_1 = 5$ м;
 $h_D = 0,001 \cdot 5 + 0,0015(26/2 - 5) = 0,017$ м; $h_H = 41 - 17 = 24$ мм;
 $K_M = 0,90$ (прил. 8.1);

балласт новый: $b_{ш} = 0,45$ м ($K_{ш} = 1,25$), $b_{п} = 0,20$ м ($K_{п} = 1,05$).

Толщина подушки

$$P_H = 0,9(2,1 - 0,6 - 0,45/1,25 - 0,20/1,05)(24/41) = 0,50 \text{ м.}$$

Длина сопряжения

$D_C = l_0 = (0,032/0,0015)(0,50/0,90 + 0,45/1,25 + 0,20/1,05)/(2,1 - 0,6) = 28,9$ м;
 принимаем 50 м.

Длина подушки $D_H = 200 + 2 \cdot 50 = 300$ м.

Ширина подушки $B_H = 3,6$ м. Откосная часть из песка.

Отвод воды в трубы-коллекторы или лотки.

Задача 8.20. Определить виды и размеры противоположных подушек в условиях неоднородных грунтов в зоне промерзания (прил. 3.2).

Исходные данные: виды земляного полотна (ОЗП), грунта, размерные параметры: $H_B \vee H_H$, $B_{оп}$, Σb_{ci} , Z_p , $Z_{нп}$, $Z_{кп}$, h_p , h_{p1} , h_{p2} , l_p ; материал подушки; U_p .

Решение. По принципу устранения неравномерного пучения с выведением слоя пучинистых грунтов $S_{п}$ из зоны их промерзания ($Z_p - \Sigma b_{ci}$).

Вариант 1. Пучина верховая (1 типа), Σb_{ci} , $Z_{кп}$, Z_p , h_p , l_p , U_p .

Подушка врезная. Толщина подушки $P_B = Z_{кп} - \Sigma b_{ci}$.

Длина сопряжений при $h_{p1} \neq h_{p2}$,

$$D_{c1} = l_{o1} = (h_{p1}/i_D)P_B / [K_M (Z_p - \Sigma b_{ci})];$$

$$D_{c2} = l_{o2} = (h_{p2}/i_D)P_B / [K_M (Z_p - \Sigma b_{ci})].$$

где i_D по U_p (табл. 8.6).

Длина подушки $D_B = l_p + (D_{c1} + D_{c2})$; ширина $0,5B_H \geq 1,8$ м.

Вариант 2. Пучина низовая (3 типа) Σb_{ci} , $Z_{нп}$, Z_p , h_p , $l_{пу}$, U_p .

Подушка накладная. Толщина подушки

$$P_H = K_M \{Z_p - Z_{нп} - \Sigma(b_{ni}/K_{bni})\},$$

где K_M — коэффициент промерзаемости материала (по прил. 8.1);
 Σb_{ni} — по таблице 1.1 [67]).

Длина сопряжений при $h_{p1} = h_{p2}$

$$D_c = l_o = (h_p/i_D)(Z_p - Z_{нп})/(Z_p - \Sigma b_{ci}); \quad D_c = 50 \dots 100 \text{ м.}$$

Длина подушки $D_H = l_{пу} + 2D_c$.

Ширина $B_B = B_{оп}$.

Вариант 3. Пучина смешанная — 1 и 3 типа совместно; Σb_{ci} , $Z_{кп}'$, $Z_{нп}''$, Z_p , h_p , $l_{пу}$, U_p .

Подушка комбинированная (полуврезная).

Толщина подушки

$$P_K = K_M \{Z_p - Z_{нп}'' + Z_{кп}' - \Sigma[(K_{ci} - 1)/b_{ci}] - \Sigma(b_{ni}/K_{bni})\} = P_{кн} + P_{кв};$$

$$P_{кв} = Z_{кп}' - \Sigma b_{ci}; \quad P_{кн} = P_K - P_{кв}.$$

Длина сопряжений:

накладной части $D_{CH} = l_{OH} = (h_p/i_d)(Z_p - Z_{HП})/(Z_p - \Sigma b_{ci})$; $D_{CH} = 50 \dots 100$ м;

врезной части $D_{CB} = l_{OB} = (h_p/i_d)/\Pi_{KB}[K_M(Z_p - \Sigma b_{ci})]$.

Длина накладной части подушки $D_{KH} = L_B + 2D_{CH}$; $L_B \geq l_{пу}$;

длина врезной части $D_{KB} = L_B + 2D_{CB}$.

Ширина накладной части $B_{KH} = B_{оп}$, врезной $0,5B_{KB} \geq 1,8$ м.

Пример 1. Дано: выемка двухпутного участка; пучина верховая (1 типа); $\Sigma b_{ci} = 0,65$ м; $Z_p = 2,2$ м; $Z_{КП} = 1,4$ м; $h_{p1} = 32$ мм; $h_{p2} = 37$ мм; $l_{п} = 23$ м; $v_{п} = 80$ км/ч; материал подушки — песок.

Решение. Подушка врезная. $i_d = 0,002$; $K_M = 1,05$.

Толщина подушки $P_B = 1,4 - 0,65 \approx 0,75$ м.

Длина сопряжений

$$D_{c1} = l_{o1} = 0,032 \cdot 0,75/[0,002 \cdot 1,05(2,2 - 0,65)] = 7,4 \approx 7,5 \text{ м};$$

$$D_{c2} = l_{o2} = 0,037 \cdot 0,75/[0,002 \cdot 1,05(2,2 - 0,65)] = 8,5 \text{ м}.$$

Длина подушки $D_B = 23 + 7,5 + 8,5 = 39$ м.

Полуширина подушки $0,5B_H \geq 1,8$ м.

Отвод воды односторонний (в углубленный кювет).

Пример 2. Дано: насыпь из глин на однопутном участке. Верхнее строение легкого типа; $\Sigma b_{ci} = 0,6$ м. Пучина низовая (3 типа); $Z_{HП} = 1,3$ м; $Z_p = 2,3$ м; $h_{p1} = h_{p2} = 37$ мм; $l_{п} = 170$ м; $v_{п} = 95$ км/ч. Материал подушки — асбоотходы крупные. Участок неэлектрифицированный.

Решение. Подушка накладная. $i_d = 0,0015$; $K_M = 1,05$; $b_{щ} = 0,43$ м; $b_{п} = 0,2$ м.

Толщина подушки $P_H = 1,05(2,3 - 1,3 - 0,43/1,25 - 0,2/1,05) = 0,50$ м.

Длина сопряжений $D_{c1} = D_{c2} = 0,037(2,3 - 1,3)/[0,0015(2,3 - 0,6)] = 14,5$ м.

Принимаем $D_C = 50$ м, $L_B = 200$ м.

Длина подушки $D_H = 200 + 2 \cdot 50 = 300$ м.

Предусматривается уширение насыпи дренгрунтом.

Пример 3. Дано: выемка ($H_B = 5,3$ м) в суглинках тяжелых на двухпутном участке. Верхнее строение тяжелого типа. Пучина смешанная (1 и 3 типов совместно); $Z_{КП}' = 1,3$ м; $\Sigma b_{ci} = 0,65$ м; $Z_{HП}'' = 1,7$ м; $Z_p = 2,4$ м; $h_p = 40$ мм; $l_{пу} = 180$ м; $L_H = 90$ м (балластные корыта); $v_{п} = 100$ км/ч. Материал подушки — асбоотходы.

Решение. Подушка комбинированная (полуврезная). $i_d = 0,0015$; $K_M = 0,95$; $b_{щ} = 0,48$ м; $b_{п} = 0,20$ м.

Толщина подушки

$$P_K = 0,95\{2,4 - 1,7 + 1,3 - [(1,25 - 1,0)/1,25]0,45 - [(1,05 - 1,0)/1,05]0,20 - 0,48/1,25 - 0,20/1,05\} = 1,26 \text{ м};$$

врезной части $\Pi_{KB} = 1,3 - 0,65 = 0,65$ м;

накладной части $\Pi_{KH} = 1,26 - 0,65 = 0,61$ м.

Длина сопряжений подушки:

накладной части $D_{CH} = l_{OH} = 0,04(2,4 - 1,7)/[0,0015(2,4 - 0,65)] = 10,7$ м, принимаем 50 м; $L_H = 200$ м;

врезной части $D_{св} = l_{ов} = 0,04 \cdot 0,65 / [0,0015 \cdot 0,95(2,4 - 0,65)] = 10,4$ м, принимаем 11,0 м;

длина накладной части подушки $D_{кн} = 200 + 2 \cdot 50 = 300$ м;

длина врезной части $D_{кв} = 90 + 2 \cdot 11 = 112$ м.

Полуширина накладной части подушки $0,5B_{н} = 0,5 \cdot 6,0 = 3,0$ м; врезной части $0,5B_{в} = 1,8$ м; поперечный отвод воды в лоток.

Задача 8.21. Определить размеры термопокрытия из пенопласта: $P_{тп}$, $l_{тп}$, $B_{тп}$ для ликвидации пучины полной зоны промерзания (2 типа) при высоком уровне грунтовых вод.

Исходные данные: вид земляного полотна (ОЗП), грунта, Z_p , толщина снежного покрова на пути $h_{сн}$, вид шпал, $\Sigma b_{сi}$.

Расчетные схемы термопокрытия из пенопласта на рис. 8.26—27.

Решение. Термопокрытием из пенопласта предусматривается устранить полностью промерзание пучинистых грунтов [109].

1. Конструкция термопокрытия: в уровне основной площадки пенопластовые плиты $P_{тп}$, сверху и снизу слой песка $b_{св} = b_{сн} = 0,1$ м.

Толщина покрытия $P_{тп}$ определяется подбором по условиям равенства глубины промерзания (приведенной к грунту $Z_{п}$, эквивалентной Z_3) до и после устройства термопокрытия, с учетом снежного покрова [67].

При $h_{сн1} = h_{сн2}$; $b_{сi} = b_{ни}$; $b_{св} = b_{сн}$ толщина термопокрытия

$$P_{тп} = K_{тп} \{ Z_{п} + \Sigma [(K_{бi} - 1) / K_{бi}] b_i - \Sigma (b_i / K_{бi}) - 2b_c / K_{п} - h_{сн} / K_{сн} \},$$

где $K_{тп}$, $K_{сн}$ — коэффициенты промерзаемости (эквивалентности) материала термопокрытия (пенопласта), снежного покрова.

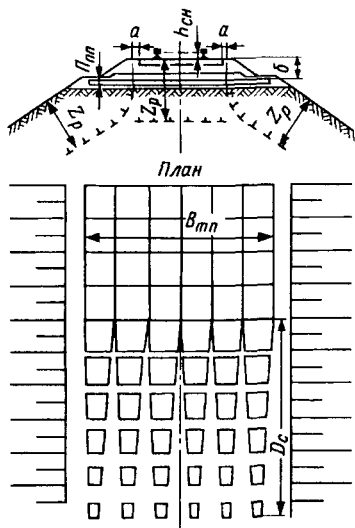


Рис. 8.26. Термопокрытие из пенопласта (вариант 1)

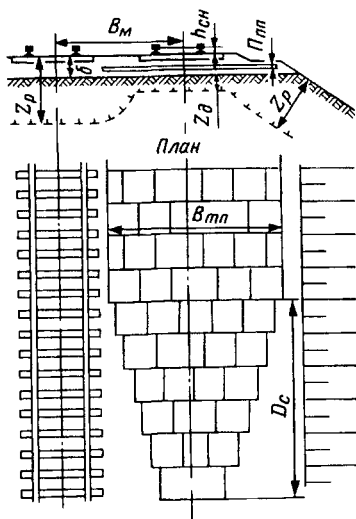


Рис. 8.27. Термопокрытие из пенопласта (вариант 2)

Пример. См. Технические указания [102, 109], рис. 8.26.

2. Вариант расчета термопокрытия из пенопласта (рис. 8.27).

Толщина термопокрытия

$$П_{ТП} = K_{ПП}[Z_p - \Sigma \delta_{ни} - \Sigma(Z_{дi}/K_i)],$$

где $Z_{дi}$ — величина допустимого промерзания глинистых грунтов (в пределах $h_p + h_{д}$). Примерно $Z_{д} = (h_p/h_{п})(Z_p - \Sigma \delta_{ci})$, $\min Z_{д} = \delta_{п} \geq 0,1$ м.

Количество слоев пенопласта в покрытии $n_{ПП} = П_{ТП}/\tau_{п}$,

где $\tau_{п}$ — толщина плиты принятой марки пенопласта.

Длина сопряжения $D_c = l_o = (h_p/i_{д})П_{ТП}/[K_{ПП}(Z_p - \Sigma \delta_{ci})] + (Z_p - \Sigma \delta_{ci})$.

Длина термопокрытия $D_{ТП} = l_{п} + 2D_c$.

Ширина термопокрытия по условию предупреждения бокового промерзания грунта (под концами шпал)

на однопутном участке

$$B_{ТП} = l_{ш} + 2\sqrt{(Z_p - a_3 - \delta_{св} - П_{ТП})^2 - (\delta_{сн} + Z_{дг})^2};$$

на двухпутном по оси пути со стороны междупутья

$$B_{ТПМ} = 0,5l_{ш} + \sqrt{(Z_p - a_{3м} - \Sigma \delta_{ни} - П_{ТП})^2 - (\delta_{сн} + Z_{дг})^2};$$

в полевую сторону

$$B_{ТПП} = 0,5l_{ш} + \sqrt{(Z_p - a_{3п} - \delta_{св} - П_{ТП})^2 - (\delta_{сн} + Z_{дг})^2};$$

в конце сопряжения

$$B_{ТПК} = 2(Z_p - \Sigma \delta_{ci}),$$

где $l_{ш}$ — длина шпалы; a_{3i} — величина запаса, учитывающая наличие снега в междупутьи, на обочине; $a_{3i} = h_{сн}/K_{сн} - a$; $a = 0,15 \dots 0,25$ м.

Коэффициент промерзаемости $K_{сн}$ снегового покрова толщиной 0,1—0,6 м в плотном состоянии 0,50—0,70; в состоянии средней плотности 0,35—0,50.

Пример. Дано: выемка двухпутного участка, пучина 2 типа на одном пути, грунт — суглинок тяжелый; $Z_p = 1,75$ м; $l_{п} = 30$ м; $h_p = 24$ мм; снеговой покров плотный в междупутьи 0,1 м, на обочине 0,3 м; $\Sigma \delta_{ci} = 0,7$ м; $v_{п} = 90$ км/ч; пенопласт ПС-1-70, $\tau_{п} = 0,05$ м.

Расчетная схема термопокрытия из пенопласта на рис. 8.27.

Решение. Пенопластовое покрытие принимаем в уровне основной площадки по слою песка $\delta_{св} = \delta_{сн} = 0,1$ м; $Z_{дг} = 0,12$ м.

Определяем при $\lambda_{ПП} = 0,046$ Вт/(м·К), $\delta_{ПП} = 0,1$ м; $K_{ПП} = 0,095$ (прил. 8.1); $K_{п} = 1,15$; $\Sigma \delta_{ни} = 0,7 - 0,1 = 0,6$ м; $i_{д} = 0,002$.

Толщина покрытия $П_{ТП} = 0,095(1,75 - 0,6 - 0,1/1,15 - 0,12/1,0) = 0,09$ м.

Количество слоев пенопласта (при $\tau_{п} = 0,05$) $n_{ПП} = 0,09/0,05 = 2$.

При $П_{ТП} = 0,10$ м, $i_{д} = 0,002$ длина сопряжений

$$D_{c1} = D_{c2} = (0,024/0,002)0,10/[0,095(1,75 - 0,7)] + (1,75 - 0,7) = 13$$
 м.

Длина термопокрытия $D_{ТП} = 30 + 2 \cdot 13 = 56$ м.

Величины $a_{3м} = 0,1/0,50 - 0,15 = 0,05$ м; $a_{3п} = 0,3/0,45 - 0,25 = 0,42$ м.

Ширина термопокрытия:

от оси в сторону междупутья

$$B_{\text{ТПМ}} = 0,5 \cdot 2,75 + \sqrt{(1,75 - 0,05 - 0,6 - 0,1)^2 - (0,1 + 0,12)^2} = 2,35 \approx 2,4 \text{ м};$$

в полевую сторону

$$B_{\text{ТПП}} = 0,5 \cdot 2,75 + \sqrt{(1,75 - 0,42 - 0,1 - 0,1)^2 - (0,1 + 0,12)^2} = 2,48 \approx 2,5 \text{ м};$$

полная ширина $B_{\text{ТП}} = 2,4 + 2,5 = 4,9 \text{ м};$

в конце сопряжения $B_{\text{ТПК}} = 2(1,75 - 0,7) = 2,1 \text{ м}.$

Задача 8.22. Определить оптимальную толщину противопучинной подушки с учетом теплофизической эффективности материала подушки.

Исходные данные: графики пучения по глубине $h_{\text{п}}(Z)$, $h_{\text{р}}(Z)$ по наблюдаемым данным. Расчетные схемы на рис. 8.28.

Решение. Графическими приемами по графикам $h_i(Z)$.

Вариант 1. Подушка врезная. $K_{\text{пр}} = K_{\text{м}} = 1,0$; $h_{\text{из}} = h_{\Gamma}$.

На графике $h_{\text{п}}(Z)$ (рис. 8.28-1) от точки O_1 откладываем $h_{\text{из}}$ и проводим вертикаль до пересечения с графиком в точке B на уровне $Z_{\text{д}}$ и $Z_{\text{из}} = P_{\text{в}}$.

Аналогично по графику $h_{\text{п}}(Z)$, определяющему величину поднятия слоев $\Sigma h_i(Z)$ (рис. 8.28-3), от O_3 достаточно отложить $h_{\text{р}}$ и провести вертикаль до пересечения с графиками в точке B .

$$Z_{\text{из}} = P_{\text{в}}.$$

Вариант 2. $K_{\text{пр}} = K_{\text{м}} = 1,0$; $h_{\text{из}} > y_{\text{пр}} = h_{\text{д}} h_{\text{п}}/h_{\text{р}}$ ($y_{\text{пр}}$ — предельная величина условия выровненности продольного профиля).

На границах пучины необходима вырезка грунта на глубину $P_{\text{с}}$ и удлинение сопряжений на величину $l_i = h_{\text{у}} l_{\text{д}}$.

Глубина $P_{\text{с}}$ определяется проведением вертикали из точки B_2 (рис. 8.28-2) до пересечения с графиком $h_{\text{р}}(Z)$ в точке E (на уровне $P_{\text{с}}$), при построении графика $h_{\text{р}}(Z)$ от точки B' ($BB' = h_{\text{д}}$).

Вариант 3. $K_{\text{пр}} = K_{\text{м}} < 1,0$ (рис. 8.28-4); $h_{\text{из}} < y_{\text{пр}}$; $P_{\text{в}} < (Z_{\text{р}} - \Sigma b_i)$; величина теплоизолирующего эффекта подушки

$$\Delta Z_{\text{Т}} = (1,0 - K_{\text{пр}})(Z_{\text{р}} - \Sigma b_i).$$

Отложим от точки A вертикально $\Delta Z_{\text{Т}} = AA'$, построим график $A'O_1' - \Delta Z_{\text{Т}}(h_{\text{п}})$. Проводим горизонталь MN , перемещаем ее вертикально таким образом, чтобы величина $\Delta h_{\text{п}1}'$, измеряемая от вертикали через точку A , до точки пересечения с графиком $h_{\text{п}}(Z)$, была равна величине $\Delta h_{\text{п}1}''$, измеряемой от вертикали через точку B до точки C пересечения с графиком $\Delta Z(h_{\text{п}})$. Через точку C проводим вертикаль до пересечения с графиком $h_{\text{п}}(Z)$ в точке C' — на уровне $P_{\text{в}}$ (с учетом теплоизолирующего эффекта материала).

Вариант 4. $K_{\text{пр}} = K_{\text{м}} > 1,0$ (рис. 8.28-4); $h_{\text{из}} < y_{\text{пр}}$; $P_{\text{в}} < (Z_{\text{р}} + \Sigma b_i)$; величина теплоизолирующего эффекта подушки

$$\Delta Z_{\text{Т}} = (K_{\text{пр}} - 1,0)(Z_{\text{р}} - \Sigma b_i).$$

График $\Delta Z_{\text{Т}}(h_{\text{п}})$ строим по $O_1'O_2'$ вниз (AO_2'). График $h_{\text{п}}(Z)$ экстраполируется. Последующие построения с горизонталью $M'N'$ аналогичны варианту 3 до условия $\Delta h_{\text{п}2}' = \Delta h_{\text{п}2}''$ и получения уровня $P_{\text{в}}$.

Вариант 5. $K_{пр} <> 1,0$ (рис. 8.28-5); $h_{из} > y_{пр}$.

Определение $П_c$ выполняется по графику $h_p(Z)$ относительно вертикали через точку E (на расстоянии h_d от графика $h_p(Z)$).

При равенстве $\Delta h_{п1}' = \Delta h_{п2}''$ вертикаль проводится до точки E' , при равенстве $\Delta h_{п2}'' = \Delta h_{п2}''$ — до точки E'' .

Задача 8.23. Запроектировать оптимальные конструкции противоположных подушек врезной, полуврезной, накладной, комбинированной (по материалу), подъемки на балласт, термопокрытия.

Решение. На принципах теории предельных деформаций, предусматривающих устранение избыточного пучения и бокового промерзания [18] и определение размерных параметров подушек по огибающему контуру, пользуясь, например, программой противоположных конструкций PROK. Структурная схема программы на рис. 8.29. Программа состоит из основной (семь блоков) и шести подпрограмм:

ВД — ввод исходных данных (входные параметры начальной информации); РП — вычисление расчетных параметров (и присвоения переменным начальных значений); РХ — вычисление расчетных характеристик (констант, показателей избыточного пучения).

Блок врезной подушки: ВП — устраняет полное пучение, ВГ — пучинный горб, ВВ — пучинный горб, выравнивая (продольный) профиль, ВН — устраняет неравномерное пучение.

Блок полуврезной подушки: ПВП — устраняет полное пучение, ПВН — устраняет неравномерное пучение.

Блок накладной подушки: НП — устраняет полное пучение, НН — устраняет неравномерное пучение.

Блок комбинированной (по материалу) подушки: К(М)П — устраняет полное пучение, К(М)Н — устраняет неравномерное пучение.

Блок подъемки пути на балласт: ПП — устраняет полное пучение, ПН — устраняет неравномерное пучение.

Блок термопокрытия: ТПП — устраняет полное пучение, ТПГ — пучинный горб, ТПН — устраняет неравномерное пучение.

Блок врезной подушки по теплофизическим характеристикам: ПТП — подушка устраняет полное пучение, ПТГ — пучинный горб, ПТН — устраняет неравномерное пучение.

Подпрограммы: врезной, накладной подушек, термопокрытия (расчета длины и печати результатов).

Алгоритмом программы обеспечивается проектирование оптимальных противоположных конструкций с определением размерных параметров: толщины $П_ц$, ширины поверху $B_в$ и понизу $B_н$ по условиям недопущения (в предельном состоянии) избыточного бокового промерзания глинистых грунтов подрельсового основания (концов шпал) с полевой стороны и со стороны междупутья. Параметрами ограничения служат коэффициенты избыточного пучения

для врезной подушки $K_{из} = h_{из}/h_п$, накладной $K_{из} = h_н/h_г$,

в продольном профиле $K_{из} = h_d h_п/h_p$.

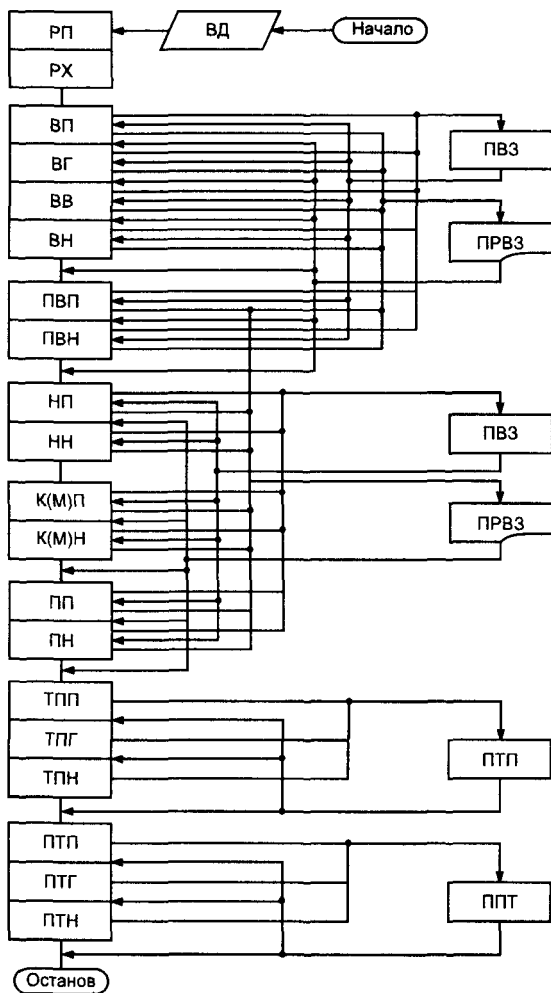


Рис 8 29 Структурная схема программы PROK

В качестве основной теплофизической характеристики материалов используется коэффициент промерзаемости материала K_M (и вариант с коэффициентами теплопроводности λ_T , температуропроводности a_T , удельной теплоемкости c_T).

Кратчайшими (критическими) путями, соответствующими предельным состояниям, для контроля на боковое промерзание являются: по нормали (перпендикуляр) к откосу балластной призмы, от подошвы основания балластной призмы; по огибающему контуру с полевой стороны, со стороны

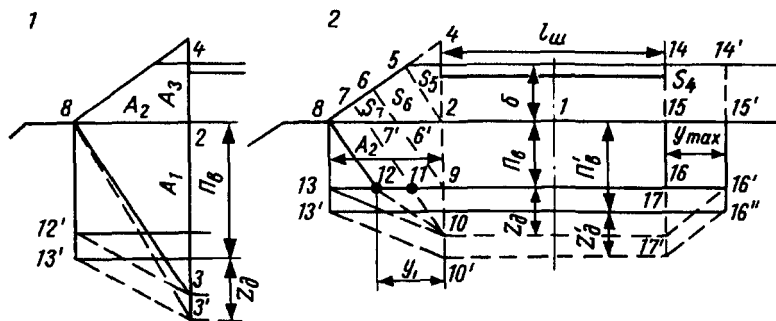


Рис 8.30. Расчетная схема бокового промерзания противодеформационной подушки

междупутья. Соответственно уравнения предельных состояний для врезной подушки (рис. 8.30-2)

с полевой стороны при $K_M < 1,0$ критические направления (пути)

$$1. 2-5 \quad Z = S_5 = 0,83A_3 = S \quad \text{при } \Pi = 0; \quad Z_d = 0; \quad y_1 = 0;$$

$$6-9 \quad Z = S_6/K_6 - 1,2\Pi = S \quad \text{при } Z_d = 0; \quad y_1 = 0;$$

$$2. 7-11-10 \quad Z = S_7/K_6 + 1,2(\Pi + Z_d) = S \quad \text{при } y_1 = 0,67Z_d;$$

$$3. 8-12-10 \quad Z = 1,2\Pi + \sqrt{(A - 0,67\Pi)^2 + Z_d^2} = S \quad \text{при } y_1 = A_2 - 0,67\Pi;$$

$$4. 8-13-10 \quad Z = \Pi + \sqrt{A_2^2 + Z_d^2} = S \quad \text{при } y_1 = A_2;$$

при $K_M > 1,0$ критические направления (пути) (рис. 8.30-1)

$$6. 7-11-10 \quad Z = S_7/K_6 + 1,2(\Pi/K_M + Z_d) = S \quad \text{при } (\Pi - Z_d) < A_1; \quad y_1 = 0,67Z_d;$$

$$7. 8-3 \quad Z = \sqrt{(\Pi + Z_d)^2 + A_2^2} = S \quad \text{при } (\Pi + Z_d) > A_1; \quad y_1 = A_2;$$

$$\text{по междупутью} \quad 1. 14-17 \quad Z = S_4 + \Pi + Z_d;$$

$$2. 14' - 16' - 17' \quad Z = S_4 + \Pi + \sqrt{y_{\max}^2 + Z_d^2};$$

На рис. 8.30 $S_5(2-5)$, $S_7(6-6')$, $S_7(7-7')$; $S_4(14-15)$;

$A_1(2-3)$, $A_2(2-8)$, $A_3(2-4)$.

Аналогичны условия проектирования для накладных и других вариантов противоположных конструкций. Итерационно анализируются критические пути, определяется оптимальная ширина подушки, термопокрытия.

8.3.2. Техничко-экономические расчеты

Задача 8.24. Рассмотреть технологические схемы организации работ по устройству противодеформационных, противоположных подушек.

Решение. Противодеформационные подушки устраиваются механизированными способами

— для устройства коротких врезных подушек возможны варианты (рис. 8.31, Свердловская дорога) с использованием железнодорожного стрелового крана с грейфером, бульдозера, крана и бульдозера;

— для устройства полуврезных, накладных, комбинированных подушек возможны варианты с использованием тяжелых путевых машин: путеукладчика УК-21/18, электробалластера ЭЛБ, путевого струга, выправочно-подбивочно-отделочной машины ВПО-3000, а также бульдозеров, автогрейдеров, хоппер-дозаторных и думпкарных поездов.

На рис. 8.32 приведена технологическая схема устройства комбинированной (по материалу) подушки в выемке с размещением местного песчано-гравийного материала в откосных частях, а привозных гранулированных шлаков, асбестовых отходов — в расчетном контуре подушки [18].

На рис. 8.33 приведен исполнительный график устройства комбинированной подушки на двухпутном участке в «окно» (на Южно-Уральской дороге). Выгрузка материала подушки (граншлака и асбоотходов) производится с 1-го пути думпками.

Задача 8.25. Определить экономичность, окупаемость противопучинных, противодеформационных конструкций (подушек, покрытий).

Решение. 1. Выполняется экономический анализ стоимости исправления пути на пучинах и ремонтов с устройством противопучинных конструкций, с учетом эксплуатационных затрат на ИПП, эксплуатационных потерь от предупреждений (снижения скоростей движения поездов), капитальных затрат на устройство противопучинных конструкций.

Эксплуатационные затраты, связанные с ИПП

$$E_{\text{зипп}} = E_{\text{ис}} + E_{\text{ос}},$$

где $E_{\text{ис}}$ — расходы непосредственно на ИПП; $E_{\text{ос}}$ — убытки от ограничений скоростей движения поездов при ИПП.

$$E_{\text{ис}} = Z_{\text{м}} + Z_{\text{зп}} + E_{\text{пр}}; \quad Z_{\text{зп}} = Z_{\text{вр}} + Z_{\text{пп}}.$$

Здесь $Z_{\text{м}}$ — стоимость материалов; $Z_{\text{зп}}$ — расходы по зарплате; $E_{\text{пр}}$ — убытки от предупреждений при ИПП; $Z_{\text{вр}}$ — зарплата на выполнение объемов работ, $Z_{\text{пп}}$ — за рабочее время на пропуск поездов.

Расходы, вызываемые предупреждениями о снижении скоростей движения поездов $E_{\text{пр}}$ можно определить

— для одного поезда: с учетом затрат, связанных с механической работой локомотива $C_{\text{мл}}$, сил сопротивления $C_{\text{мс}}$, расходом топлива $C_{\text{т}}$ или электроэнергии $C_{\text{э}}$, содержанием локомотивных бригад $C_{\text{лб}}$, поездных $C_{\text{пб}}$, пассажирских вагонов $C_{\text{пв}}$

$$E_{\text{пр}} = C_{\text{мл}} + C_{\text{мс}} + C_{\text{тэ}} + C_{\text{лб}} + C_{\text{пб}} + C_{\text{пв}};$$

— для всех поездов (грузовых $N_{\text{прг}}$, пассажирских $N_{\text{прп}}$) убытки

$$E_{\text{пру}} = E_{\text{прг}} N_{\text{прг}} + E_{\text{прп}} N_{\text{прп}};$$

— по стоимости поездочаса $C_{\text{пч}}$ (при известных потерях времени Δt)

$$E_{\text{пр}} \approx C_{\text{пч}} \Sigma \Delta t; \quad E_{\text{пру}} = \Sigma t_{\text{г}} C_{\text{пчг}} N_{\text{прг}} + \Sigma t_{\text{п}} C_{\text{пчп}} N_{\text{прп}}.$$

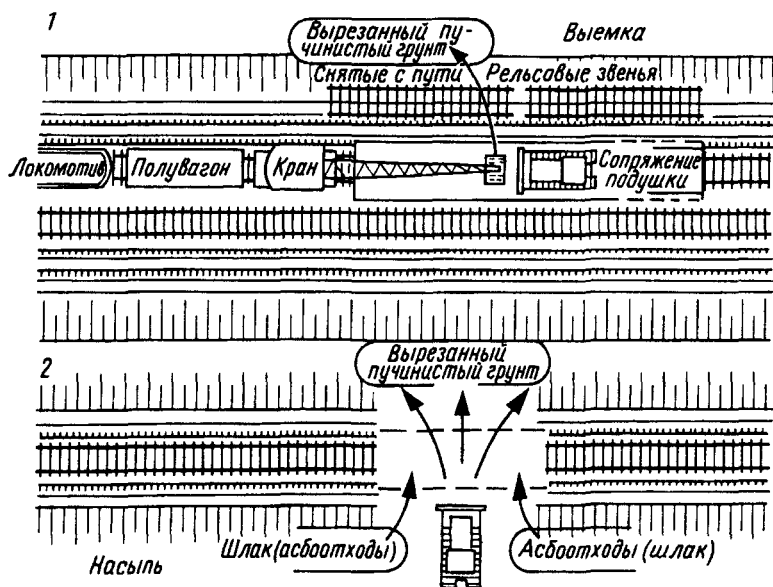


Рис 8.31. Технологические схемы устройства коротких врезных подушек, с применением 1 — грейферного железнодорожного крана и бульдозера в выемке, 2 — бульдозера на насыпи

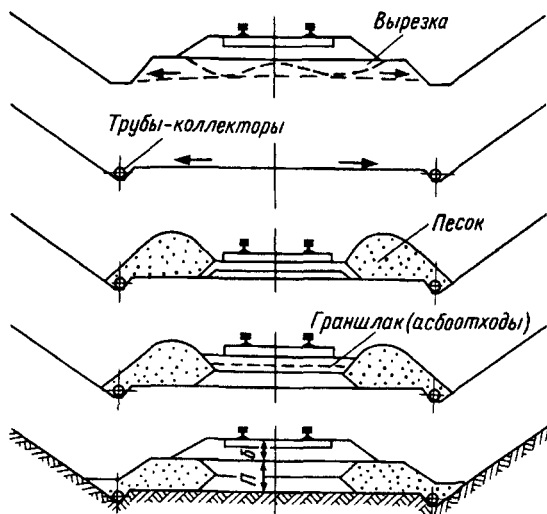


Рис. 8.32. Технологическая схема устройства противопучинной комбинированной подушки

Наименование операций	Время (ч., мин.) по плану		Почасовой график, часы						Время (ч., мин.) фактическое	
	начало	окончание	9	10	11	12	13	14	начало	окончание
	1. Закрытие перегона, снятие напряжения в сети	8-00	8-15							8-00	8-25
2. Разболчивание стыков	8-02	8-26							8-15	8-45
3. Разборка путевой решетки краном УК25	8-15	8-31							8-30	8-47
4. Вырезка балласта и грунта 1-м бульдозером	8-20	11-00							8-32	10-48
5. То же 2-м бульдозером	8-25	11-00							8-35	10-48
6. То же 3-м бульдозером	8-35	11-00							8-40	10-48
7. Выгрузка шлака из 1-го думкарного поезда	11-08	11-27							10-50	11-15
8. Разравнивание шлака путевым стругом	11-27	11-45							11-15	11-35
9. Выгрузка асбоотходов из 2-го думкарного поезда.	11-52	12-10							11-38	11-55
10. Разравнивание асбоотходов путевым стругом	12-15	12-35							12-00	12-15
11. Укладка путевой решетки краном УК25	12-40	12-58							12-23	13-20
12. Выгрузка щебня из 3-го хоппер-дозаторного поезда	13-00	13-25							13-25	13-51
13. Балластировка пути электро-балластером ЭПБ	13-27	13-40							13-38	13-48
14. Устройство конечных отводов		13-55								13-58
15. Открытие перегона		14-00								14-00

Рис. 8.33. Исполнительный график устройства комбинированной подушки на двухпутном участке

Затраты на устройство противопучинных конструкций (по i -му варианту) зависят от конструкционных особенностей, объемов выбранного материала, принятой технологии, трудоемкости, эксплуатационных потерь (от предоставления «окон», предупреждений о снижении скоростей движения поездов)

$$Z_i = (Z_{зп} + Z_{мех} + Z_{мт})(1 + K_{нр})(1 + K_{фн}) + E_{по},$$

где $Z_{зп}$ — затраты на зарплату механиков и монтеров пути; $Z_{мех}$ — расходы на содержание машин, механизмов, аренду подвижного состава, $Z_{мт}$ — на материалы; $E_{по}$ — потери, вызываемые «окнами», ограничениями скоростей движения поездов (эксплуатационные потери); $K_{нр}$, $K_{фн}$ — коэффициенты накладных расходов, фонда накопления.

2. Определяется эффективность использования средств на ремонт, усиление, ресурсосберегающие технологии по ОЗП

$$\Xi_{Ti} = \sum_1^i (P_{ди} - Z_{озпi}) \lambda_i,$$

где $P_{ди}$ — дополнительные расходы дорог, вызванные деформациями ОЗП; $Z_{озпi}$ — затраты на ремонт, усиление ОЗП; λ_i — коэффициент приведения издержек по времени t .

Полезный результат: устранение $P_{ди} = E_i + E_{вспi} + K_i$,

где E_i , K_i — текущие, единовременные затраты по подвижному составу; $E_{вспi}$ — текущие расходы на содержание в. с. п.

$$Z_{озп} = Z_{пр} + Z_p + Z_k; \quad Z_p = P_3(1 + K_{нр})(1 + K_{фн}) + E_{п},$$

$$P_3 = Z_{зп} + Z_{м} + Z_{мех},$$

где $Z_{озп}$, Z_k — затраты на разработку проекта, контроль качества работ; Z_p — стоимость ремонта, усиления ОЗП; P_3 — прямые затраты.

Пример. См. Методику технико-экономической обоснованности затрат на диагностику и усиление земляного полотна / ЦП МПС. М., 1996. 32 с.

Задача 8.26. Выполнить рациональный выбор и распределение материалов для противодеформационных (противопучинных) подушек.

Исходные данные. Стоимость, определяемая отпускной ценой (франко-карьер) и транспортными тарифами на перевозку материалов хоппер-дозаторными или думпкальными поездами.

Решение. По модели транспортной задачи.

Имеется i пунктов (карьеров, комбинатов, заводов) поставщиков с запасами материалов A_i (тонн). Эти материалы требуются для j участков (потребителей), где предусмотрено устройство противодеформационных конструкций, в количестве B_j (тонн). Количество материалов, подлежащих перевозке от i -го поставщика на j -й участок x_{ij} , стоимость транспортирования (единицы) материала c_{ij} .

Пример, по УрГАПС (УЭМИИТ). Матрица перевозок для условий Южно-Уральской железной дороги (табл. 8.7).

Таблица 8.7

**Оптимальный выбор материалов для противодеформационных подушек
(матрица транспортной задачи)**

Поставщики, материалы, станции отправления	Запас	Потребители (ПМС, ПЧ), потребность						Итого ΣB_n
		ПМС— ст. B_1	ПМС— ст. B_2	ПМС— ст. B_3	ПЧ— ст. B_4	ПЧ— ст. B_j	ПМС— Φ ст. B_{yc}	
Асбоотходы								
Ураласбест ст. Изумруд	A_1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	C_{13} X_{13}	C_{14} X_{14}	C_{1j} X_{1j}	C_{1n} X_{1n}	Σa_{1j}
Фабрика № 6 ст. Асбест	A_2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	C_{23} X_{23}	C_{24} X_{24}	C_{2j} X_{2j}	C_{2n} X_{2n}	Σa_{2j}
Кустанаясбест ст. Рудный клад	A_3	C_{31} X_{31}	C_{32} X_{32}	C_{33} X_{33}	C_{34} X_{34}	C_{3j} X_{3j}	C_{3n} X_{3n}	Σa_{3j}
Граншлаки никелевые								
ЮУНК ст. Орск	A_4	C_{41} X_{41}	C_{42} X_{42}	C_{43} X_{43}	C_{44} X_{44}	C_{4j} X_{4j}	C_{4n} X_{4n}	Σa_{4j}
УНК ст. Уфалей	A_5	C_{51} X_{51}	C_{52} X_{52}	C_{53} X_{53}	C_{54} X_{54}	C_{5j} X_{5j}	C_{5n} X_{5n}	Σa_{5j}
Граншлаки доменные								
ММК ст. Магнитогорск	A_6	C_{61} X_{61}	C_{62} X_{62}	C_{63} X_{63}	C_{64} X_{64}	C_{6j} X_{6j}	C_{6n} X_{6n}	Σa_{6j}
ЧМЗ ст. Челябинск	A_7	C_{71} X_{71}	C_{72} X_{72}	C_{73} X_{73}	C_{74} X_{74}	C_{7j} X_{7j}	C_{7n} X_{7n}	Σa_{7j}
НТМК ст. Ниж. Тагил	A_8	C_{81} X_{81}	C_{82} X_{82}	C_{83} X_{83}	C_{84} X_{84}	C_{8j} X_{8j}	C_{8n} X_{8n}	Σa_{8j}
Песч.-гравийные ст. Гумбейка	A_9	C_{91} X_{91}	C_{92} X_{92}	C_{93} X_{93}	C_{94} X_{94}	C_{9j} X_{9j}	C_{9n} X_{9n}	Σa_{9j}
Песч.-щебеночные ст. Шершни	A_{10}	C_{101} X_{101}	C_{102} X_{102}	C_{103} X_{103}	C_{104} X_{104}	C_{10j} X_{10j}	C_{10n} X_{10n}	Σa_{10j}
Щеб. завод ст. Северка	A_{11}	C_{111} X_{111}	C_{112} X_{112}	C_{113} X_{113}	C_{114} X_{114}	C_{11j} X_{11j}	C_{11n} X_{11n}	Σa_{11j}
Щеб. завод ст. Исеть	A_{12}	C_{121} X_{121}	C_{122} X_{122}	C_{123} X_{123}	C_{124} X_{124}	C_{12j} X_{12j}	C_{12n} X_{12n}	Σa_{12j}
Асбоотходы база ПМС	A_{13}	C_{131} X_{131}	C_{132} X_{132}	C_{133} X_{133}	C_{134} X_{134}	C_{13j} X_{13j}	C_{13n} X_{13n}	Σa_{13j}
Граншлаки база ПМС	A_{14}	C_{141} X_{141}	C_{142} X_{142}	C_{143} X_{143}	C_{144} X_{144}	C_{14j} X_{14j}	C_{14n} X_{14n}	Σa_{14j}
Итого	ΣA_m	Σb_{1j}	Σb_{2j}	Σb_{3j}	Σb_{4j}	Σb_{ji}	Σb_{ni}	$\sum_i^m \sum_j^n b_{ij}$

Учитывая, что запасы материалов у поставщиков, накопленные на пром-предприятиях и в отвалах превышают суммарную потребность получателей (ПМС, ПЧ и др.), выбор материалов решается по модели открытой транспортной задачи:

$$F(x) = \sum \sum c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad i \in i, m, \quad j \in j, n;$$

$$\sum x_{ij} < A_i = \sum a_i;$$

$$\sum x_{ij} = B_j = \sum b_j, \quad \forall x_{ij} \geq 0.$$

В матрице введен столбец условного потребителя (ПМС-Ф) B_{yc} с указанием объемов, учитывающих неиспользуемую часть запасов. Должно соблюдаться условие $\sum x_{ij} = A_i = B_j + B_{yc}$.

В последних строках матрицы указаны возможные промежуточные базы ПМС.

Можно предусматривать поставку на один участок двух видов материалов, например, асбоотходов и граншлаков (для комбинированных подушек и др.).

При использовании разных материалов (по свойствам) потребность их для конструкций будет неодинаковой. Поэтому в качестве единицы перевозимого материала принимаем объем V_1 на 1 п.м конструкции (подушки), рассчитанной для $K_M = 1,0$ (например, $K_M = K_{пр} = 1,0$) и учитываем вид материала соответствующим K_M ($K_{Mj} V_1$). При этом стоимость материала (на 1 п. м) равна

$$C_{Mj} = (C_{Mj} + C_{ТВ} L_{qj}/q_3) K_{Mj} V_1 \rho_{Mj}; \quad j \in i, n,$$

где C_{Mj} — отпускная цена массы 1 т (франко-вагон); $C_{ТВ}$ — тарифная ставка на вагон; q_3 — средняя загрузка вагона; L_{qj} — дальность транспортирования; ρ_{Mj} — удельная плотность (масса) материала.

Задача 8.27. Рассмотреть возможности повышения уровня механизации работ по усилению и ремонтам земляного полотна.

Решение. Усиление и ремонты ОЗП связаны с выполнением большого комплекса работ, в том числе новыми прогрессивными методами:

в подбалластной зоне — срезка балластных «шапок», вырезка балластных углублений, устройство противодеформационных подушек, защитных слоев в комплексе с армированием геотекстилем, в том числе ячеистым, геосетками, стеклотканями (рулонными материалами), с инъектированием химических реагентов;

в откосных зонах — стабилизация балластных «шлейфов» анкерными, стягивающими элементами, сваями набивными, забивными, буринъекционными; повышение устойчивости армогрунтовыми стенками, контрбанкетами; в поймах, у водотоков устройство защитных покрытий из несортированной горной массы, прислоненных, упорных берм и призм, наслойных дренажей, предотвращающих размывы, габионных и других конструкций.

Соответственно потребностям механизации работ по повышению несущей способности ОП посредством армирования рулонными материалами щелбнеочистительные машины нового поколения оснащаются навесным

оборудованием для механизированной укладки рулонных материалов в уровне ОП. Новые машины (СЧУ-800, СЧ-600, комплексы ЩОМ-6Р, ЩОМ-6Б и РМ-76 и др.) снабжены роторными, баровыми модулями, обеспечивают глубокую вырезку балласта (до 0,5 м), срезку балластных «шапок», балластных углублений, образование песчаной (защитной) подушки.

Для расчистки и нарезки водоотводных канав, кюветов служат машины СЗП-600 с ротором, плугом, контрольно-измерительной системой, МКР-1 с профильным оборудованием; МРПК-1 с фрезой и грунтометателем; машина МКО с навесным фрезерным рабочим органом, имеет оборудование бульдозера, используется на расчистке русел. Для содержания откосов служат универсальные планировщики с телескопической стрелой и навесным оборудованием. Для устройства закрытых горизонтальных траншейных дренажей используются машины-дренукладчики (ЭТЦ и др.).

Разрабатывается (ВНИИЖТом) специальная универсальная путевая машина (УПМ) со сменным оборудованием грейферным, буровым, баровым, крановым, резово-шнековым, кусторезным и др. для планировки, срезки, очистки поверхностей, уборки загрязненного грунта, срезки кустарника, устройства продольных дренажей, буровых свай и других операций. Другая машина (МОЗП) с бульдозерным отвалом, манипулятором, роторной головкой, грунтоносом, сенокосилкой предназначается для устройства поперечных дренажей (прорезей), трубчатых дренажей, буровых анкеров, инъектирования в грунт вяжущих, скашивания травы и других операций.

Некоторые машины и механизмы для содержания и ремонтов ОЗП разрабатываются специализированными ПМС по земляному полотну, механизированными колоннами. Для ремонтных работ на земляном полотне широко используются землеройные машины (экскаваторы, бульдозеры и др.), думпкарные и хоппер-дозаторные поезда («вертушки»).

Задача 8.28. Рассмотреть методики определения экономической эффективности и выбора технических проектов по усилению, реконструкции, ремонтам земляного полотна.

Решение. Оценка и выбор технических проектов усиления, реконструкции, ремонтов земляного полотна выполняются с учетом источников возможного финансирования работ по проекту: планового из бюджетных фондов или инвестиционного.

1. При плановом финансировании проекта (из бюджетных фондов) показателем экономической эффективности капитальных вложений по вариантам (согласно действующим Инструкциям) является минимум приведенных затрат Z_i :

$$Z_i = E_i + E_n K_i \rightarrow \min \text{ или } Z_i = K_i + T_n E_i \rightarrow \min,$$

где K_i — капитальные вложения по i -му варианту; E_i — текущие затраты по i -му варианту; E_n — нормативный коэффициент эффективности (0,10—0,12); T_n — нормативный срок окупаемости, $T_n = 1/E_n = (K_1 - K_i)/(E_i - E_1)$.

Совокупный экономический эффект определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_1 - \mathcal{Z}_i + \mathcal{E}_д + \mathcal{E}_р \pm \mathcal{Z}_{доп},$$

где \mathcal{Z}_1 , \mathcal{Z}_i , $\mathcal{Z}_{доп}$ — приведенные затраты соответственно по первому (эталонному) и сравниваемым i -м вариантам; дополнительным;

$\mathcal{E}_д$, $\mathcal{E}_р$ — экономический эффект от досрочного ввода объекта, от рационального распределения (рациональной динамики использования) капитальных вложений.

Затраты каждого года на усиление, ремонт (или возведение) ОЗП приводятся к году сдачи в эксплуатацию коэффициентом

$$a_{нiг} = [(1 + E_{нп})^{tг}]^{-1},$$

где $E_{нп}$ — норматив приведения разновременных затрат (0,08); $tг$ — год приведения затрат.

2. При оценке и отборе инвестиционных проектов Методическими рекомендациями [52] предусматривается определение трех видов экономического эффекта: коммерческого — результат выгодности вложений для инвестора (реципиента), подрядных, субподрядных организаций; бюджетного — выгодность для бюджета; экономического — выгодность для региона.

Эффективность оценивается по четырем показателям:

— чистый дискантированный (интегральный) доход ЧДД, определяется как сумма текущих эффектов за весь расчетный период приведения к начальному шагу (в ценах текущих, расчетных, перспективных) или как превышение интегральных результатов к интегральным затратам

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - \mathcal{Z}_t)(1 + E_d)^{-t},$$

где R_t — результат, достигаемый на t -м шаге расчета (полученный в t -й период); \mathcal{Z}_t — затраты, осуществляемые на том же шаге (в t -й период); T — горизонт расчета, равный номеру шага расчета (срок реализации проекта); t — шаг проекта (месяц, квартал, год); E_d — норма дисконта (заменяет $E_{нп}$, $E_{нп}$). Норма дисконта принимается приемлемой для инвестора ($E_d = 1/T_{ок}$, $T_{ок}$ — срок окупаемости).

При выделении капитальных затрат K_t на t -м шаге

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - \mathcal{Z}_t^+)(1 + E_d)^{-t} - \sum_{t=0}^T K_t (1 + E_d)^{-t};$$

где \mathcal{Z}_t^+ — затраты на t -м шаге при условии, что в них входят капитальные вложения.

ЧДД выражает разницу между суммой приведенных эффектов и приведенной к тому же моменту времени величиной капитальных вложений K_t ;

— индекс дискантирования ИД, представляет собой отношение сумм приведенных эффектов к величине капитальных вложений, то есть отдачу (прибыль) на единицу капитальных вложений

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (R_t - \mathcal{Z}_t^+)(1 + E_d)^{-t}}{\sum_{t=0}^T K_t (1 + E_d)^{-t}}.$$

Если $ЧДД > 1$, то $ИД > 1$; если $ИД > 1$, проект эффективен, если $ИД < 1$, проект неэффективен;

— величина дискантирования $ВНД$, при которой затраты, связанные с реализацией проекта, окупаются

$$\sum_{t=0}^T (R_t - 3_t^+) (1 + E_{ВН})^{-t} = \sum_{t=0}^T K_t (1 + E_{ВН})^{-t},$$

где $E_{ВН}$ — внутренняя норма доходности, которая представляет собой норму дисконта, при которой величина приведения эффектов равна приведенным капиталовложениям;

— срок окупаемости $T_{ок}$ — минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект становится и в дальнейшем остается неотрицательным. $T_{ок}$ определяется из уравнения (при равенстве его левой и правой частей)

$$\sum_{t=0}^T (R_t - 3_t^+) (1 + E_{ВН})^{-t} = \sum_{t=0}^T K_t (1 + E_{ВН})^{-t}.$$

Для реализации инвестиционного проекта по усилению, ремонту, реконструкции (или возведению) ОЗП возможны накопления (прибыль) от собственных вложений (по депозитному проценту на капитал) или заемный капитал (под проценты, кредит), а также возможно льготное финансирование (из бюджета).

Финансовый план с определением показателей эффективности проекта является третьим разделом бизнес—плана, представляемого инвестору.

8.4. Ремонт и усиление земляного полотна

8.4.1. Оздоровление земляного полотна

Задача 8.29. Рассмотреть варианты уширения основной площадки выемок и насыпей земляного полотна.

Решение. Уширение ОП существующей $B_{опс}$ до величины нормативной в соответствии с типом верхнего строения и категорией железнодорожной линии $B_{опс} \rightarrow B_{оп}$ в выемке возможно по вариантам, приведенным на рис. 8.34:

— двустороннее — со смещением кюветов в сторону откосов;

— одностороннее — с уширением в одну сторону, сдвижкой оси пути на величину $(B_{оп} - B_{опс})/2$, в частности, при смягчении кривой, устройством закуветной полки (полки-траншеи с нагорной стороны) и дорожного полотна на ней для нужд текущего содержания (и перемещением грунта в контрбанкеты смежных насыпей);

— двустороннее — без изменений положения откосов — при укреплении кюветов: бетонными плитками с крутизной откосов кюветов (оптимальной формы) 1:0,6 (рис. 8.34-3), прямоугольными лотками с оптимальным соотношением $h_{л} : b_{л}$ — 1:2 (рис. 8.34-4), лотками-полутрубами (оптимальные очертания, рис. 8.34-5);

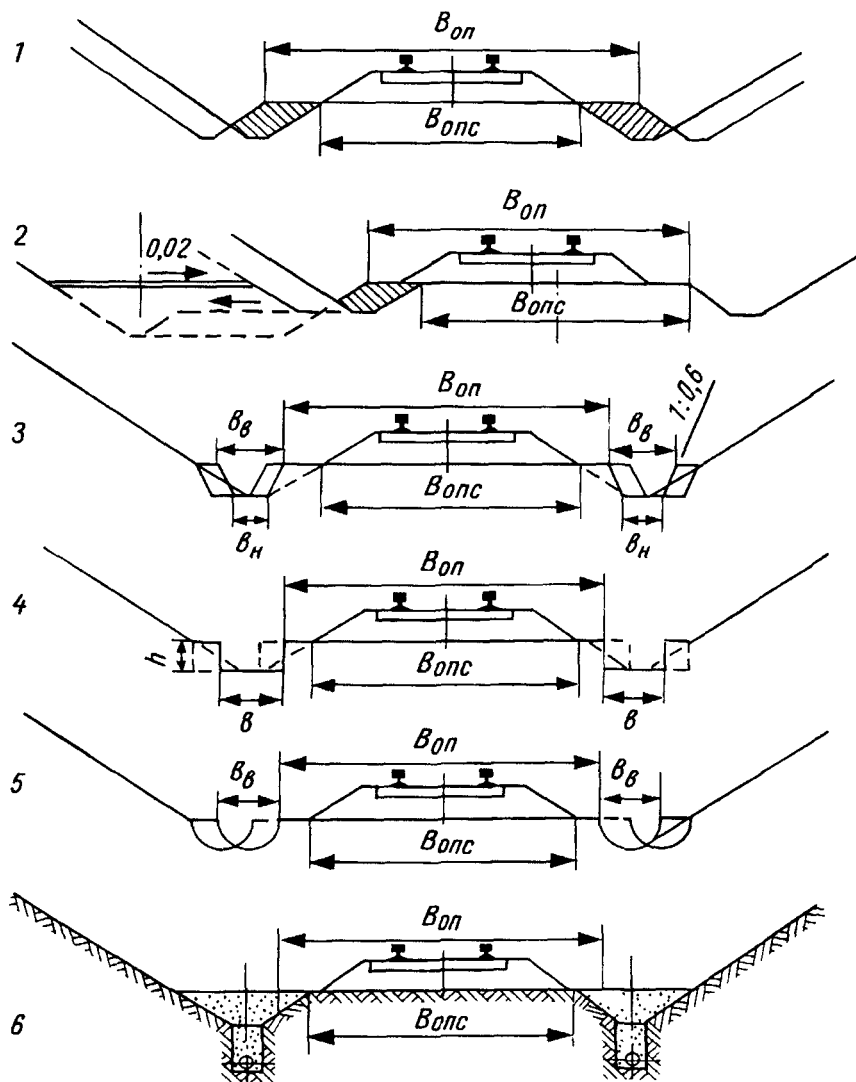


Рис. 8.34. Уширение основной площадки выемки (варианты). 1 — двустороннее, 2 — одностороннее с дорожной частью; 3 — при укреплении кюветов плитками, 4 — тоже прямоугольными лотками; 5 — тоже лотками-полутрубами; 6 — бескюветный вариант с дренажами (мелкого заложения)

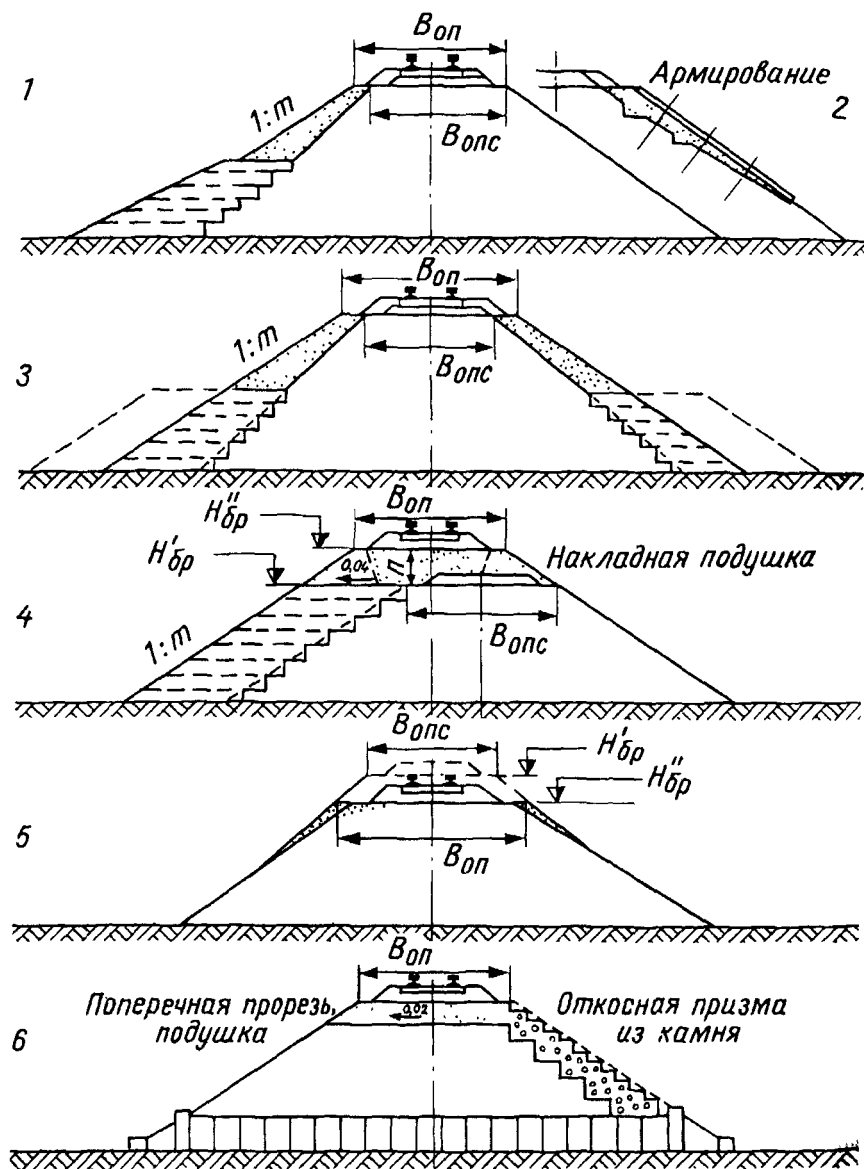


Рис 8.35. Варианты уширения насыпей: 1 — одностороннее; 2 — с армированием; 3 — двустороннее, 4 — со сдвижкой и накладной подушкой; 5 — со срезкой балластной «шапки», 6 — с оздоровлением насыпи (у трубы)

— двустороннее — при бескюветной конструкции (в условиях погребенных откосов) с трубами-коллекторами, трубофильтрами (по дну кюветов), дренажами мелкого заложения.

Уширение ОП (и соответственно) насыпей $V_{\text{опс}} \rightarrow V_{\text{оп}}$ возможно по вариантам, приведенным на рис. 8.35:

— одностороннее с уширением откоса, может быть со смещением оси пути;

— двустороннее с уширением откосов с двух сторон дренгрунтом в верхней части насыпи, где размещаются балластные шлейфы, глинистым в нижней, возможно с устройством контрбанкетов;

— двустороннее с армированным укреплением шлейфов на откосах;

— одностороннее с устройством накладной противодеформационной подушки, подъемкой отметки бровки и смещением оси пути (смягчением плана пути в кривых);

— со срезкой балластной «шапки» и понижением уровня (отметки) бровки насыпи (смягчением продольного профиля);

— с оздоровлением насыпи устройством поперечных прорезей, противодеформационной подушки, отсыпкой откосной призмы из дренгрунта или камня, армогрунтовой стенки (у водопропускной трубы), возможно с подъемкой и понижением отметки бровки и смещением оси пути.

Задача 8.30. Определить размеры вырезки для ликвидации балластных корыт (отдельно расположенных под каждой шпалой, замкнутых поперечных углублений, заполненных старым загрязненным балластом).

Исходные данные. Объект земляного полотна, глубина корыт b_k , очертания (по результатам геодиагностики), длина участка с балластными корытами l_k , Σb_{ci} , Z_p , h_p , i_d .

Расчетная схема на рис. 8.36.

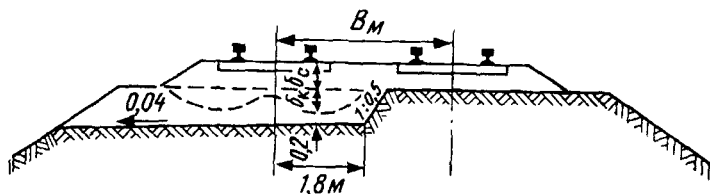


Рис. 8.36. Схема вырезки грунта для ликвидации балластных корыт

Решение. Глубина вырезки $H_{\text{вр}} = \Sigma b_{ci} + b_k + 0,2$ м.

Длина сопряжений $D_c = (h_p/i_d)(H_{\text{вр}} - \Sigma b_{ci})/(Z_p - \Sigma b_{ci})$.

Длина вырезки $D_{\text{вр}} = l_k + 2D_c$.

Поперечный отвод воды на откосы насыпи, в углубленный кювет выемки, лоток.

Ширина вырезки $B_{\text{вр}} = B_{\text{оп}}$; $\min 0,5B_{\text{вр}} = 1,8$ м.

Пример. Дано: насыпь двухпутного участка; $l_k = 65$ м; $b_k = 0,3$ м (по результатам пенетрации); $\Sigma b_{ci} = 0,6$ м; $Z_p = 1,7$ м; $h_p = 30$ мм; $i_d = 0,002$.

Расчетная схема — поперечный профиль двухпутной насыпи на рис 8.36.

Решение. Глубина вырезки $P_{вр} = 0,6 + 0,3 + 0,2 = 1,1$ м.

Длина сопряжений $D_c = (0,03/0,002)(1,1 - 0,6)/(1,7 - 0,6) = 6,82$ м; принимаем 7 м.

Длина вырезки $D_{вр} = 65 + 2 \cdot 7 = 79$ м; полуширина $0,5B_{вр} = 1,8$ м.

Задача 8.31. Определить расстояния между поперечными прорезями для ликвидации балластного ложа (удлиненного продольного углубления основной площадки).

Исходные данные (геодиагностики). Ложе заполнено загрязненным старым балластным песком, имеющим коэффициент фильтрации K_f , пористость n_p , влагоемкость (максимальную молекулярную) W_m , плотность ρ_d ; долю капиллярно-застывшей воды — α_k ; глубина ложа H_d ; величина углубления f_{yg} ; срок осушения t_{oc} .

Расчетные схемы на рис. 8.37, 8.38.

Решение. Определяются водоотдача $m_o = n_p - (1 + \alpha_k)W_m\rho_d/\rho_v$;

функции времени $\eta_1 = 1/(3H_d)$; $\eta_2 = 0,773(1/f_{yg} - 1/H_d)$.

Вычисляется расстояние между прорезями $2L_m = 2\sqrt{K_f t_{oc}/[m_o(\eta_1 + \eta_2)]}$.

В случае горизонтального дна ложа между прорезями $f_m = L_m I_d$,

где I_d — средний уклон кривой депрессии.

Пример. Дано: $K_f = 3$ м/сут; $n_p = 0,44$; $W_m = 4\%$; $\rho_d = 1,54$ т/м³; $\alpha_k = 0,6$; $H_d = 1,7$ м; $f_{yg} = 0,3$; $t_{oc} = 12$ суток.

Расчетные схемы на рис. 8.37, 8.38.

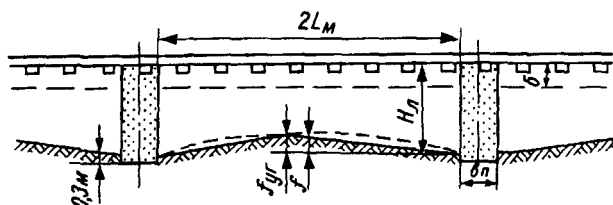


Рис. 8.37. Схема размещения поперечных прорезей для осушения балластных лож

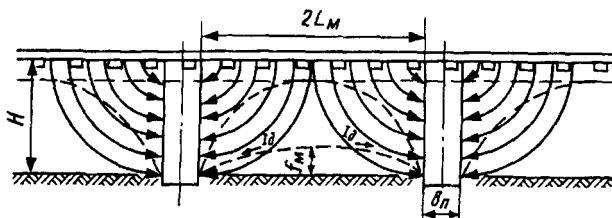


Рис. 8.38. Расчетная схема поперечных прорезей для осушения земляного полотна

Решение. Определяем $m_0 = 0,44 - (1 + 0,6)0,04 \cdot 1,54/1,0 = 0,34$;
 $\eta_1 = 1/(3 \cdot 1,7) = 0,196 \text{ м}^{-1}$; $\eta_2 = 0,773/(1/0,3 - 1/1,7) = 2,122 \text{ м}^{-1}$.

Вычисляем $L_M = \sqrt{3} \cdot 12/[0,34(0,196 + 2,122)] = 6,8 \text{ м}$.

Расстояния между прорезями $2 L_M = 13,6 \text{ м}$.

Балластные ложа можно оздоравливать трубчатыми дренажами (см. рис. 8.8), устраиваемыми с применением пневмопробойников.

Задача 8.32. Определить крутизну откоса ($1 : m_H$), обеспечивающую устойчивость выемки от проявляющихся смещений.

Исходные данные: H_B , вид грунта, его удельный вес γ_T , удельное сцепление c_T , угол внутреннего трения φ_T , необходимый коэффициент устойчивости K_3 .

Расчетная схема уположения откоса на рис. 8.39.

Решение. Графоаналитическим способом определяются минимальные значения коэффициентов устойчивости $K_{yc \text{ min}}$ при различных уклонах откоса (например, 1:2,0; 1:2,5; 1:3,0)

$$K_{yc} = [f_T \gamma_T \Sigma \omega_i \cos \beta_i + c_T \Sigma l_i + (\gamma_T \Sigma \omega_i \sin \beta_i) \text{уд}] / (\gamma_T \Sigma \omega_i \sin \beta_i) \text{сд.}$$

Вычерчивается график $K_{yci} = f(m_i)$, по которому для K_3 определяется необходимая крутизна откоса ($1 : m_H$).

Пример. Дано: $H_B = 12,0 \text{ м}$; грунт — суглинок $\gamma_T = 20,4 \text{ кН/м}^3$;
 $c_T = 11,0 \text{ кПа}$; $\varphi_T = 17^\circ$; $K_3 = 1,2$.

Расчетная схема на рис. 8.39.

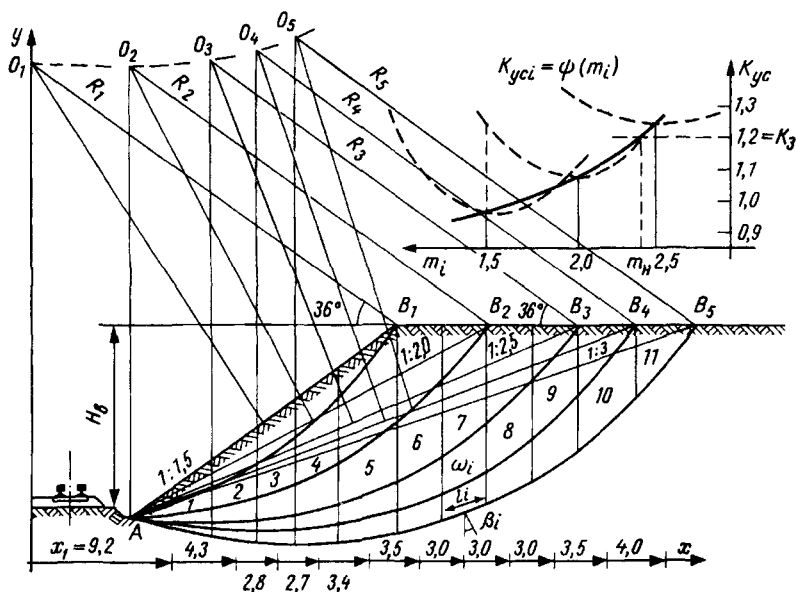


Рис. 8.39. Расчетная схема уположения откоса. (Размеры в м)

Выполняем графические построения: хорды AB_i , линии центров, вспомогательные, кривые возможного смещения, разбивку на отсеки.

Решение. Определяем $f = \operatorname{tg} 17^\circ = 0,3057$.

Вычисляем расчетные величины для крутизны откосов 1:1,5; 1:2,0 (табл. 8.8), 1:2,5.

Определяем соответственно $K_{yc \min}$.

Крутизна откоса 1:1,5. Кривая AB_1 ($R_1 = 29,6$), $K_1 = 1,23$;

AB_2 ($R_2 = 29,8$), $K_2 = 0,97$ (min);

AB_3 ($R_3 = 30,0$), $K_3 = 1,11$.

Крутизна откоса 1:2,0. Кривая AB_2 ($R_2 = 29,8$).

$K_2' = (0,3057 \cdot 20,4 \cdot 50,25 + 11,0 \cdot 28,0) / (20,4 \cdot 24,28) = 1,25$.

Кривая AB_3' ($R_3 = 30,0$).

$K_3' = (0,3057 \cdot 20,4 \cdot 117,59 + 11,0 \cdot 34,8 + 0,89 \cdot 20,4) / (20,4 \cdot 50,86) = 1,09$ (Kmin).

Кривая AB_4' ($R_4 = 31,1$).

$K_4' = (0,3057 \cdot 20,4 \cdot 182,72 + 11,0 \cdot 38,6 + 2,67 \cdot 20,4) / (20,4 \cdot 64,86) = 1,22$.

Крутизна откоса 1:2,5. Кривая AB_3 ($R_3 = 30,0$), $K_1 = 1,33$;

AB_4 ($R_4 = 31,1$), $K_2 = 1,25$ (min);

AB_5 ($R_5 = 32,6$), $K_3 = 1,27$.

Строим график $K_{yci} = \psi(m_i)$. По графику необходимая $m_H = 2,4$.

Принимаем крутизну уположения откоса для выемки 1:2,5.

Таблица 8.8

Определение K_{yc} уположенного откоса

Расчетные величины	Значения расчетных величин по отсекам										Сумма Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Кривая AB_2 ($R_2' = 29,8$ м)										
x_i , м	2,8	7,1	9,9	12,6	16,0	19,5	22,5				
$\sin \beta_i = x_i / R_2$	0,094	0,238	0,332	0,423	0,537	0,654	0,755				
$\cos \beta_i$	0,996	0,971	0,943	0,906	0,844	0,756	0,856				
h_{i-1} , м	0,0	1,8	3,4	3,6	3,6	3,2	2,0				
h_i , м	1,8	3,4	3,6	3,6	3,2	2,0	0,0				
b_i , м	5,6	3,0	2,6	2,8	4,0	3,0	3,0				
ω_i , м ²	5,04	7,80	9,10	10,08	13,60	7,80	3,0				
$\omega_i \cos \beta_i$	5,02	7,58	8,58	9,13	11,47	5,90	2,57				50,25
$\omega_i \sin \beta_i$	0,47	1,86	3,02	4,26	7,30	5,10	2,27				24,28
l_i , м	5,6	3,2	2,8	3,0	4,6	4,0	4,8				28,00
	Кривая AB_3 ($R_3' = 30,0$ м)										
$\omega_i \cos \beta_i$											117,59
$\omega_i \sin \beta_i / \text{уд}$											0,89 [*]
$\omega_i \sin \beta_i / \text{сд}$											50,86
l_i , м											34,80
	Кривая AB_4 ($R_4' = 31,1$ м)										

Задача 8.33. Определить устойчивость террасированного откоса выемки.

Исходные данные: H_B ; характеристики грунта: γ_G , c_G , φ_G ; K_3 .

Расчетная схема террасированного откоса на рис. 8.40.

Решение. Графоаналитическим способом определяются минимальные K_{yc} для нескольких вариантов террасированного откоса (варьируя уровень размещения, ширину, количество полок-террас на откосе).

Коэффициент устойчивости

$$K_{yc} = [f_G \gamma_G \Sigma \omega_i \cos \beta_i + c_G \Sigma l_i + (\gamma_G \Sigma \omega_i \sin \beta_i) u d] / (\gamma_G \Sigma \omega_i \sin \beta_i) c d.$$

Принимается вариант $K_{yc} \geq K_3$.

Пример. Дано: $H_B = 12,0$ м, грунт — суглинок, $\gamma_G = 20,4$ кН/м³; $c_G = 11,0$ кПа; $\varphi_G = 17^\circ$; $K_3 = 1,2$.

Расчетная схема на рис. 8.40.

Для принятого варианта с полкой шириной $B_{II} = 8,0$ м на уровне $H_{II} = 4,0$ м от откосной бровки принимаем несколько кривых возможного смещения AB_1 (для низовой части откоса) AB_2, AB_3, AB_4 .

Разбиваем массив на отсеки.

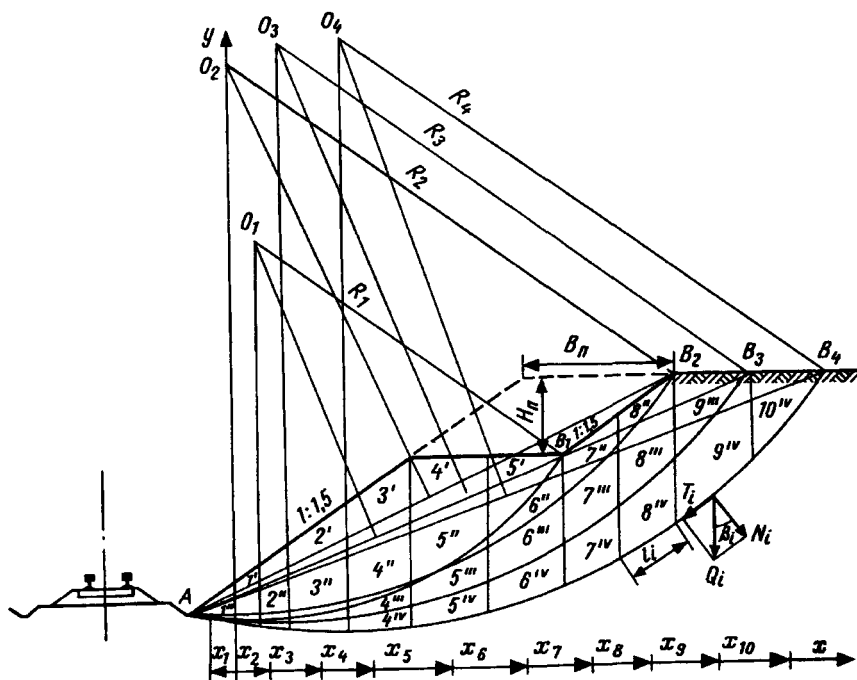


Рис. 8.40. Расчетная схема террасирования откоса

Решение. Определяем $f_r = \operatorname{tg} 17^\circ = 0,306$.

Вычисляем расчетные величины элементов для кривых возможного смещения. Определяем коэффициенты устойчивости:

Кривая AB_1 ($R_1 = 19,8$ м), табл. 8.9.

$$K_{yc1} = (0,306 \cdot 20,4 \cdot 68,35 + 11,0 \cdot 23,1 + 0,55 \cdot 20,4)/(20,4 \cdot 26,43) = 1,28 \text{ м.}$$

Кривая AB_2 ($R_2 = 28,6$ м)

$$K_{yc2} = (0,306 \cdot 20,4 \cdot 78,75 + 11,0 \cdot 29,7 + 0,07 \cdot 20,4)/(20,4 \cdot 30,33) = 1,32 \text{ м.}$$

Кривая AB_3 ($R_3 = 30,0$ м)

$$K_{yc3} = (0,306 \cdot 20,4 \cdot 128,16 + 11,0 \cdot 34,2 + 0,79 \cdot 20,4)/(20,4 \cdot 46,52) = 1,25 \text{ м.}$$

Кривая AB_4 ($R_4 = 31,0$ м)

$$K_{yc4} = (0,306 \cdot 20,4 \cdot 185,16 + 11,0 \cdot 38,9 + 2,92 \cdot 20,4)/(20,4 \cdot 60,66) = 1,33 \text{ м.}$$

Минимальный $K_{yc} = 1,25 > K_3 = 1,2$. Следовательно, принятые очертания террасированного откоса обеспечивают устойчивость выемки.

Таблица 8.9

Определение K_{yci} террасированного откоса выемки

Расчетные величины	Значения расчетных величин по отсекам										Сумма Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Кривая AB_1 ($R_1' = 19,8$ м)										
x_i , м	-1,9	2,4	6,5	10,2	14,2						
$\sin\beta_i = x_i/R_i$	0,096	0,121	0,328	0,515	0,717						
$\cos\beta_i$	0,995	0,993	0,945	0,857	0,697						
h_{i-1} , м	0,0	3,0	5,0	6,6	4,4						
h_i , м	3,0	5,0	6,6	4,4	0,0						
b_i , м	3,8	4,8	3,4	4,0	4,0						
ω_i , м ²	5,70	19,20	19,72	22,00	8,80						
$\omega_i \cos\beta_i$	5,67	19,06	18,63	18,86	6,13						68,35
$\omega_i \sin\beta_i / \text{уд}$	0,55	—	—	—	—						0,55
$\omega_i \sin\beta_i / \text{сд}$	—	2,33	6,47	11,33	6,30						26,43
l_i , м	3,9	4,9	3,7	3,7	6,0						23,10
	Кривая AB_2 ($R_2 = 28,6$ м)										

Задача 8.34. Определить сдвигающие силы (оползневое давление R на склоне для устройства противооползневого сооружения (подпорной стены).

Исходные данные. Плоскость смещения (геологически предопределенная), вид грунта, β_i , γ_r , c_r , Φ_r .

Расчетная (масштабная) схема на рис. 8.41.

Решение. Определяем размеры отсеков: h_{cpi} — среднюю толщину, l_i — длину.

Сдвигающая сила (оползневое давление) в каждом отсеке [45]

$$E_{опi} = I_i l_i h_{cpi} + E_{i-1} \cos[\beta_{i-1} - \beta_i],$$

где I_i — единичная сдвигающая сила

$$I_i = (\gamma_{ri} / \cos\Phi_i) \sin(\beta_i - \Phi_i) - c_r / h_{cpi}.$$

Пример. Дано: плоскость смещения, β_i , вид и характеристики грунта: γ_i , c_i , Φ_i . (табл. 8.10).

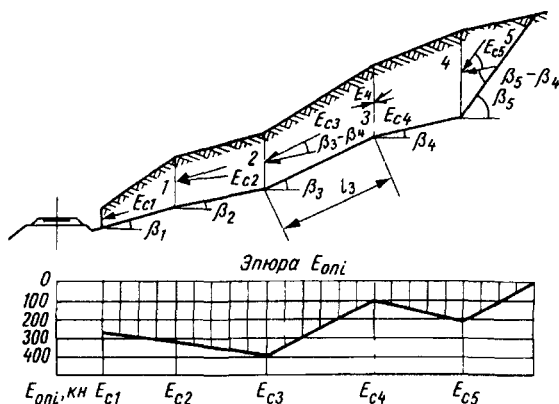


Рис 8.41. Расчетная схема для определения сдвигающих сил E_{ci} (оползневое давление)

Расчетная схема — на рис. 8.41. Разбиваем массив на отсеки в местах переломов плоскости смещения.

Решение. Определяем (графически) l_i , $h_{срi}$.

Вычисляем сдвигающую силу в конце 5-го отсека

$$I_5 = (18,0/\cos 18^\circ)\sin(44 - 18)^\circ - 9/2,8 = (18,0/0,951) \cdot 0,438 - 3,21 = 5,08 \text{ кН};$$

$$E_5 = 5,08 \cdot 14,3 \cdot 2,8 = 203,8 \text{ кН}.$$

Проекция E_5 на плоскость смещения 4-го отсека

$$E_{пр5} = 203,4\cos(44 - 17)^\circ = 203,4 \cdot 0,8910 = 181,2 \text{ кН}.$$

$$I_4 = (21,0/\cos 18^\circ)\sin(17 - 18)^\circ - 7/8,4 = (21,0/0,951) \cdot (-0,017) - 0,83 = -1,21 \text{ кН}.$$

Сдвигающая сила $E_H = -1,21 \cdot 10,1 \cdot 8,4 + 181,2 = +78,5 \text{ кН}$.

Аналогично определяются сдвигающие силы отсеков в табличной форме (табл. 8.10).

Таблица 8.10

Определение сдвигающих сил (оползневое давление) $E_{оп}$

Исходные и расчетные величины	Значения расчетных величин по отсекам				
	1	2	3	4	5
β_i , град	16	11	30	17	44
φ_i , град	10	10	17	18	18
c_i , кПа	8	8	8	7	9
γ_i , кН/м ³	19	19	21	21	18
l_i , м	8,4	10,2	13,4	10,1	14,3
$h_{срi}$, м	3,0	4,9	6,5	8,4	2,8
I_i , кН	-0,65	-1,30	3,71	-1,21	5,08
E_i , кН	-16,4	-65,0	323,1	-101,8	203,4
$|\beta_{i-1} - \beta_i|$, град	5	19	13	27	—
$E_{i-1} \cos|\beta_{i-1} - \beta_i|$, кН	311,6	377,8	76,5	181,2	—
$E_{опi}$, кН	295,2	312,8	399,6	78,5	203,4

Характеристики грунтов по слоям

$H_i = 1,2,$	$\theta_i = 0,$	$c_i = 2,70$ кПа,	$\varphi_i = 31,0,$	$\gamma_i = 18,6$ кН/м ³ ,
5,2	8	6,00	23,5	18,8
8,6	0	20,00	19,1	19,1
14,0	0	27,30	17,4	19,8

Результаты вычислений в табл 8 11

Таблица 8 11

Таблица значений оползневых давлений $E_{опi}$

Точки	Расстояния, м	$E_{оп}$, кН	Точки	Расстояния, м	$E_{оп}$, кН
1	3,0	54,53	11	13,0	259,72
2	4,0	129,54	12	14,0	237,83
3	5,0	198,67	13	15,0	210,85
4	6,0	222,08	14	16,0	179,84
5	7,0	245,60	15	17,0	144,46
6	8,0	265,12	16	18,0	107,88
7	9,0	278,34	17	19,0	70,23
8	10,0	285,36	18	20,0	35,84
9	11,0	284,40	19	21,0	5,27
10	12,0	275,57	20	22,0	-12,78

По табличным данным строят эпюру оползневых давлений

8.4.2. Расчеты противодеформационных конструкций

Задача 8.36. Рассмотреть варианты покрытий основной площадки эксплуатируемого земляного полотна

Решение В зависимости от причинной обусловленности формирования деформаций в подбалластной зоне ОЗП возможны покрытия ОП термоизолирующие, гидроизолирующие, армирующие Конструкции покрытий размещаются в уровне ОП с защитными слоями из песчаных материалов, асбоотходов толщиной до 0,1 м (рис 8 43) [18]

Термоизолирующие покрытия (ТП) устраиваются согласно требованиям Технических указаний [102, 109] из пенопластов для ликвидации пучинных деформаций, предупреждения пучинообразующих процессов в подбалластной зоне, допустимо из гидрофобных торфоплит

Гидроизолирующие покрытия (ГП) устраиваются согласно Техническим указаниям [109] из полимерных (поливинилхлоридных, полиэтиленовых и др) пленок, бризольных и других рулонных материалов для ликвидации и предупреждения пучинных деформаций и вредного влияния просадок, балластных корыт, лож и других балластных углублений

Армирующие покрытия (АП) устраиваются с учетом требований Технических указаний [101, 109] из синтетических нетканых материалов — СНМ

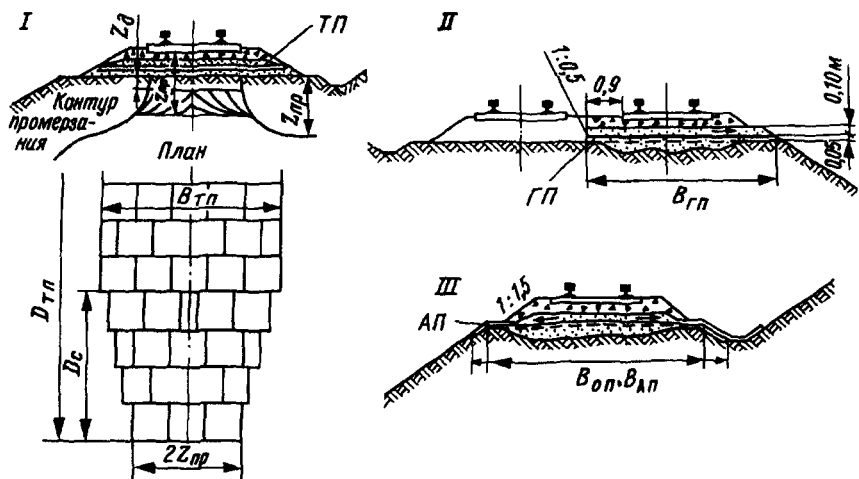


Рис. 8.43. Схемы покрытий для оздоровления ОП: I — термоизолирующее покрытие; II — гидроизолирующее покрытие (под один путь); III — армирующее покрытие (из геотекстиля)

(геотекстиля: дорнит, бедим и др), стеклопластиков, стеклотканей, сеток, возможно бетонных, асфальтобетонных плит в целях повышения несущей способности ОП и грунтов подбалластного основания.

Задача 8.37. Рассчитать вариант предупреждения возможных поверхностных сплывов откосов в верхней части насыпи покрытием откоса синтетическим нетканым материалом (СНМ) или георешетками (с посевом трав).

Решение. Покрытие принимается из нетканого материала (и при необходимости гидроизоляционной пленки), укладываемого на поверхность откоса, и слоя дренирующего грунта сверху. Нетканый материал заанкеривается в балластной призме (под рельсо-шпальной решеткой). Расчетom проверяется достаточность сцепления нетканого материала с грунтом, прочность материала на разрыв, надежность заанкеривания [101].

Коэффициент устойчивости откоса с покрытием из нетканого материала (и дренирующим грунтом сверху) определяется по формуле

$$K_{\text{устп}} = \frac{\{\Sigma[c_{ni} + f_i(N_i - G_{ni}) + (c_{ni}n_{ni} + f_{ni}N_{ni}) \cos(\theta_i - \beta_i)] \cos\varphi_i / \cos(\beta_i - \beta_{cp})\}}{\{\Sigma T_i \cos\varphi_i / \cos(\beta_i - \beta_{cp})\}}$$

где $G_{ni} = (c_{ni}n_{ni} + f_{ni}N_{ni}) \sin(\theta - \beta)_i$; $f_i = \text{tg}\varphi_i$; $f_{ni} = \text{tg}\varphi_{ni}$;

c_{ni} , φ_{ni} — удельное сцепление, угол внутреннего трения на контакте СНМ и грунта; $c_{ni} \leq 0,3c_i$;

N_{ni} — нормальная составляющая дренирующего грунта сверху,

$$N_{ni} = Q_{ni} \cos\theta_i$$

β_i , θ_i — углы наклона плоскости возможного смещения, поверхности откоса в i -м отсеке;

β_{cp} — угол, равный углу наклона плоскости возможного смещения для среднего блока (или двух блоков в середине, при четном их количестве).

Растягивающая сила $I_{пр} = \sum_1^n (c_{пi} l_{пi} + f_{пi} N_{пi}) < \sigma_{пр}$.

Надежность заанкеривания покрытия проверяется по условию

$$I_{пр} < 2 \sum_1^m (c_{пj} l_{пj} + f_{пj} N_{пj}),$$

где $l_{пj}$ — длина участка заанкеривания (защемления);

$c_{пj}, f_{пj}$ — удельное сцепление, коэффициент трения между нетканым материалом покрытия и грунтом.;

$N_{пj}$ — нормальная составляющая силы тяжести на участке защемления $l_{пj}$.

Пример (по ВНИИЖТу). Расчетная схема на рис. 8.44.

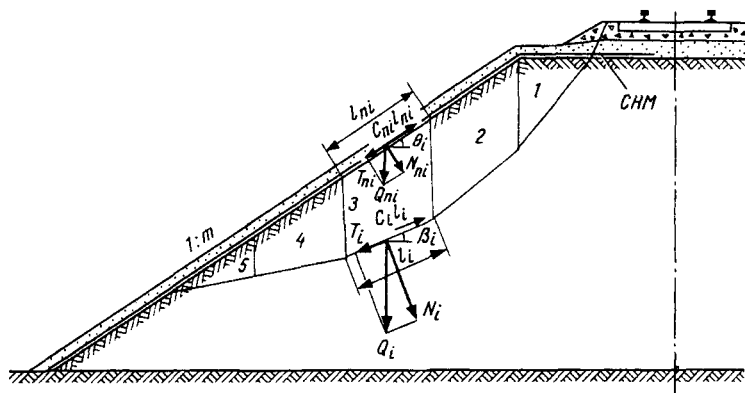


Рис. 8.44. Расчетная схема устойчивости откоса с покрытием из синтетического нетканного материала (СНМ)

Решение. Определяем размеры отсеков. При $K_y = 1,0$, соответствующим условию предельного равновесия откоса без покрытия (решая обратную задачу) определяем параметры $c_i = 7,0$ кПа, $\varphi_i = 8^\circ$ [101].

Производим расчет устойчивости откоса с покрытием, принимая $c_{пi} = 1,4$ кПа, $\varphi_{пi} = 36^\circ$, толщину слоя дренирующего грунта поверх нетканого материала $0,1$ м, угол $\beta_{ср} = 27^\circ$.

Удельный вес дренирующего грунта $\gamma_r = 20,0$ кН/м³.

Определяем параметры $G_{пi}$:

$$G_{п1} = (1,4 \cdot 1,2 + \text{tg}36^\circ \cdot 2,40) \sin(0^\circ - 51^\circ) = -2,66 \text{ кН};$$

$$G_{п2} = -0,41 \text{ кН}; \quad G_{п3} = 0,57 \text{ кН}; \quad G_{п4} = 1,45 \text{ кН}; \quad G_{п5} = 1,33 \text{ кН}.$$

При полученных расчетных параметрах коэффициент устойчивости откоса, армированного геотекстилем, равен $K_{усп} = 1,2$.

Устойчивость откоса обеспечивается.

Определяем растягивающую силу

$$I_p = (1,4 \cdot 1,2 + \text{tg}36^\circ \cdot 2,4) + (1,4 \cdot 1,8 + \text{tg}36^\circ \cdot 2,98) \cdot 4 = 22,2 \text{ кН/м}.$$

Для покрытия используется СНМ с пределом прочности на растяжение $\sigma_{рн} = 12$ кН/м.

При $I_p = 22,2$ кН/м для обеспечения устойчивости до середины неустойчивого массива откоса принимаем покрытие в два слоя, ниже один слой.

Размещение синтетического нетканого материала принимаем в песчаном слое балластной призмы на глубине 0,25 м от подошвы шпал на длине 3,5 м. Тогда $I_p' = 2(1,4 \cdot 3,5 + \text{tg}36^\circ \cdot 28) = 50,5 \text{ кН/м} > I_p = 22,2 \text{ кН/м}$.

Условие по заземлению материала обеспечивается.

Задача 8.38. Обеспечить устойчивость насыпи с учетом данных натурного обследования ОЗП.

Пример (по Гипротранспути). Поперечный профиль насыпи 1202+00 на рис. 8.45.

Решение. Для обеспечения устойчивости насыпи проектируется контрбанкет. Намечаются возможные поверхности смещения: 1—1, 11—11'—11'', 1—11. Определяются коэффициенты устойчивости для каждой кривой. Выявляется критическая — 11—11'—11''. Вычисляется $K_{ус}$ для варианта с контрбанкетом. Результаты расчета устойчивости насыпи (в табличной форме) приведены в табл. 8.12.

Таблица 8.12

Показатели устойчивости насыпи пк 1202+00

Поверхности скольжения	Грунты на контакте	Расчетные параметры		Коэффициенты $K_{ус}$	
		c_f , кПа	φ_f , град.	без контрбанкета	с контрбанкетом
1—1	Левый откос				
	Песок — 2, 3	1,0	36		
	Суглинок — 4	20,0	15	1,56	—
11—11'—11''	Правый откос				
	Песок — 2	1,0	36		
	Суглинок — 4	20,0	15		
	Суглинок — 5	16,5	14		
	Суглинок — 7	12,5	14		
	Суглинок — 7	12,5	14	1,085	1,26
1—11	Щебень, песок — 2, 3	0,3	37		
	Суглинок — 4	20,0	15		
	Суглинок — 4	20,0	15		
	Суглинок — 5	16,5	14	1,45	—

Задача 8.39. Рассчитать армогрунтовую конструкцию (АГК) для повышения устойчивости высокой насыпи.

Решение. Для обеспечения устойчивости откосов эксплуатируемых высоких насыпей можно применять армированные контрбанкеты, армогрунтовые стены [107].

Расчет выполняется по оползневому давлению.

Исходные данные: H_n , r_p , $p_{вс}$, параметр динамичности $I_{пд}$; параметры грунта насыпи и основания: I_p , I_i , γ_i , c_i , φ_i . Оползневое давление $E_{оп}$.

Принимается конструкция армогрунтовой стены с армированием геотекстилем. Расчетная схема на рис. 8.46.

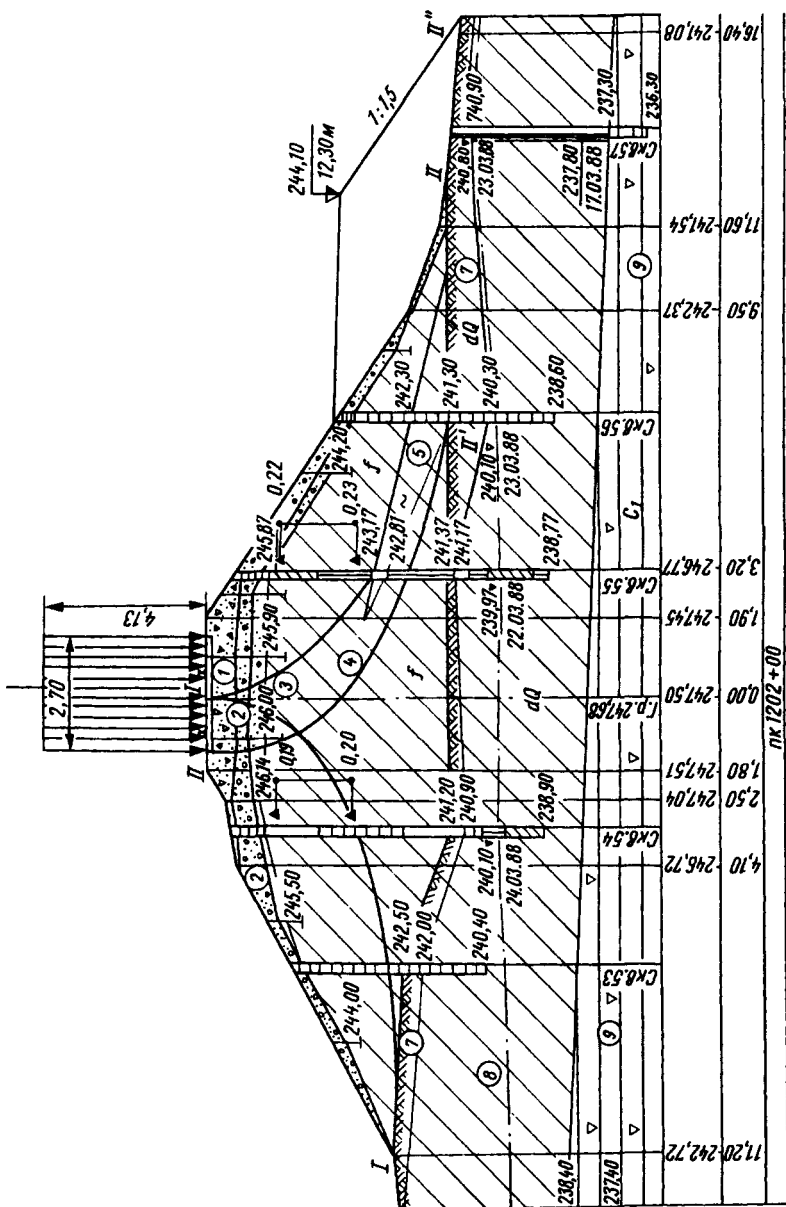


Рис. 8.45. Проектирование контрбанкета

Высота армированной стены $H_{ст} = (3,952 - 0,0385c_{г} - 7,766\varphi_{г})H_{н}^{0,642}$

Ширина стены $B_{ст} \geq 0,8H_{ст} \geq b_{мин} = 4,0$ м

При армировании металлическими сетками рассчитывается устойчивость на сдвиг, на опрокидывание. При армировании геотекстилем определяется расстояние между слоями геотекстиля

$$\Delta H = T_p / [0,65 K_a (12,5q + \gamma_{дг} H_{ст}) - B_y \gamma_{дг} \operatorname{tg} \varphi_a],$$

где T_p — допускаемое усилие на разрыв геотекстиля (для дорнита $T_p = 12-15$ кН/м), $K_a = (1 - \sin \varphi_a) / (1 + \sin \varphi_a)$ — коэффициент бокового давления (по Ренкину), q — вертикальное давление на стенку (в условиях эксплуатируемых насыпей $q = 0$), B_y — ширина уголкового блока (при прямоугольных блоках $B_y = 0$), $\gamma_{дг}$ — удельный вес дренгрунта, φ_a — угол внутреннего трения грунта с геотекстилем

Длина геотекстиля (в случае $q = 0$) $l_{гт} = 0,65 K_a H_{ст} / \operatorname{tg} \varphi_a - B_y$

Увеличение армирования (для каждого i -го слоя грунта)

$$l_{ki} = \Delta H K_6 / (2 \operatorname{tg} \varphi_a) \ln [1 + 2E_{оп} \operatorname{tg} \varphi_a / (H_{ст} \Delta H K_6^2 \sigma_{\gamma i})],$$

где $K_6 = 1 / (1 + 2 \operatorname{tg}^2 \varphi_a)$, $\sigma_{\gamma i}$ — вертикальные напряжения в середине i -го слоя, $\sigma_{\gamma i} = \gamma_{г} h_i$ кПа

Окончательные размеры стены корректируются с учетом размеров облицовочных блоков

Пример, по МГУПС (МИИТ) Исходные данные $H_{н} = 17,5$ м, грунт насыпи — суглинок легкий пылеватый, $c_{г} = 14$ кПа, $\varphi_{г} = 21^{\circ}31'$, удельный вес дренгрунта $\gamma_{дг} = 19,0$ кН/м³, $\varphi_a = 26^{\circ}$

Расчетные K_{yc} по левому откосу 0,80—1,11, по правому 0,76—0,98. Введены предупреждения о снижении скоростей движения поездов до 40 км/ч

Эквивалентная нагрузка на основную площадку $p_{пр} = 86$ кПа, максимальное оползневое давление $E_{оп} = 287$ кН, $q = 0$

Расчетная схема на рис. 8.46 (пк 596 + 00). Расчет конструкции приведен в Технических указаниях [107]. Получено

высота стены $H_{ст} = (3,952 - 0,0385 \cdot 14 - 7,766 \cdot 0,375) \cdot 17,5^{0,642} = 3,15$ м,

ширина армогрунтовой стены $B_c = 4,5 > b_{мин} = 4,0$ м,

облицовочная стена из блоков $2,40 \cdot 0,60 \cdot 0,59$ м (5 рядов),

фундамент из блоков на глубину 0,9 м $> Z_{пр}$, верхний блок оборачивается дорнитом с заведением в грунтовую среду на 2 м

Размеры геотекстильного армирования

при $T_p = 15$ кН/м расстояние между слоями геотекстиля

$$\Delta H = 15 / [0,65 \cdot 0,390 (19 \cdot 3,15) - 0] = 1,0$$
 м,

при высоте блоков 0,6 м, шаг армирования принимается 1,2 м

Длина геотекстиля $l_{гт} = 0,65 \cdot 0,390 \cdot 3,15 / 0,488 = 1,64 \approx 1,7$ м

Величины l_{ki}

для верхнего слоя $l_{ki} = 1,2 \cdot 0,672 / (2 \cdot 0,488) \cdot \ln [1 + 2 \cdot 287 \cdot 0,488 / (3,15 \cdot 1,2 \cdot 0,672^2 \cdot 19 \cdot 0,3)] = 2,80$ м,

для среднего 1,72 м, для нижнего 1,25 м

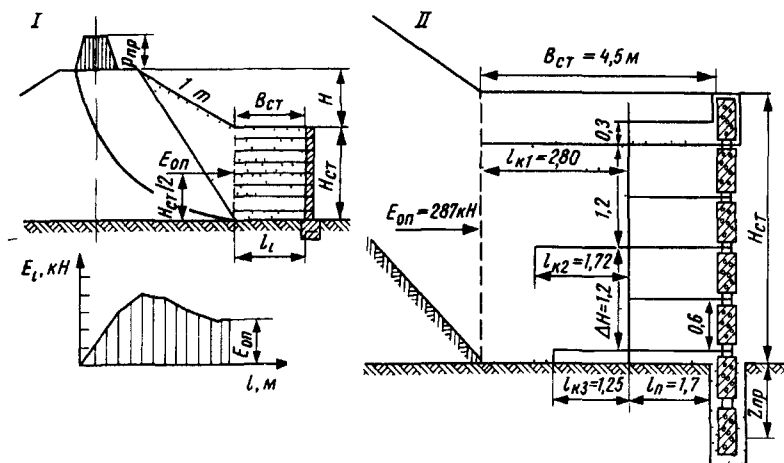


Рис 8.46 Схема проектирования армогрунтовой стены I — расчетная схема II — конструкция армогрунтовой стены (Размеры в м)

Дополнительно принимается армирование геотекстилем с шагом 0,6 м (по высоте блока) на длину 1,7 м

Облицовочными, наряду с призматическими блоками, могут быть плиты фигурные, криволинейных форм (коноиды), рифленые (типары)

Задача 8.40. Запроектировать пригрузочные бермы для обеспечения стабильности насыпи на слабом основании

Пример (по Киевгипротрансу) Расчетная схема на рис 8.47

Исходные данные Насыпь пк 1495+85, $H_H = 12,8$ м, $B_{оп} = 6,0$ м, пригрузочная берма высотой 6,0 м на длине 13,0 м и 3,0 м на длине 31,0 м

Грунт насыпи и бермы $\gamma_T = 17$ кН/м³, $\varphi_T = 30^\circ$, основания $c_{ос} = 21$ —54 кПа, $\varphi_{ос}$ около 0°

Решение — графическим способом Вес отсеков $Q_i = \gamma_T \omega_i$, реакции S_i — направление под углом φ_T к нормали, величина — по многоугольнику сил, R_i — направление под углом β_i , φ_T , радиусы r_i до направления S_i

Коэффициент устойчивости $K_{ус} = \Sigma M_{уд}/\Sigma M_{сд}$, $M_i = P_i l_i$

Результаты расчетов на рис 8.47 и в табличной форме (табл 8.13) для кривой № 1 с минимальным $K_{ус} = 1,07$

$$K_{ус1} = 43498/40469 = 1,07, \quad K_{ус2} = 59434/54068 = 1,10,$$

$$K_{ус3} = 39649/34212 = 1,16, \quad K_{ус4} = 83175/69192 = 1,20$$

Задача 8.41. Рассчитать вариант усиления насыпи с балластными шлейфами анкерными конструкциями (АК)

Решение Насыпь армируется анкерами, устанавливаемыми по нормали к откосу Размеры анкеров и их размещение рассчитываются Каждый анкер состоит из плиты (размером $a \times b \times c$) и тяги (пучка высокопрочной проволоки d_n), помещаемой в скважину (d_c , l_c), заполненную цементным раствором [108]

Таблица 8.13

Расчетные параметры по кривой смещения — № 1

Параметры	Площадь Ω_i , м ²	Сила Q_i , кН	c_i , кПа	l_{ci} , м	Сила P_i , кН	Плечо l_i , м	$M_{удr}$, кНм	$M_{сдr}$, кНм
P					200	22,0		4400
Q ₁	15,0	255			255	21,6		5508
Q ₂	28,0	476			476	18,4		8758
Q ₃	68,0	1156			1156	13,6		15722
Q ₄	56,0	952			952	6,2		5902
Q ₅	10,5	179			179	1,0		179
S ₁					310	18,8	5828	
S ₂					300	13,0	3900	
Q ₆	59,4	1010			1010	5,4	5454	
Q ₇	22,0	374			374	13,2	4947	
Q ₈	4,4	75			75	17,0	1275	
S ₃					125	9,0	1125	
C ₁ l ₁			54	5,0	270	21,0	5670	
C ₂ l ₂			24	4,8	115	21,0	2415	
C ₃ l ₃			22	10,7	236	21,0	4956	
C ₄ l ₄			21	18,0	378	21,0	7938	
Итого, ΣM_i							43498	40469

При конструировании анкерного армирования рассчитываются
— анкерное усилие натяжения

$$\Omega_p = [E_{оп}/(\cos\beta_i \operatorname{tg}\Phi_i + \sin\beta_i)] \cdot [\cos(\alpha_i - \Phi_i)/\cos\Phi_i],$$

где α_i — угол наклона поверхности смещения к горизонту; β_i — угол между анкером и нормалью к поверхности смещения шлейфа в месте установки анкера;

— общее анкерное усилие для участка длиной L_y $\Omega_{об} = \Omega_p L_y$;

— несущая способность анкера по арматуре $\Phi_a = |R_a| F_a n_\Phi$,

где $|R_a|$ — нормативная прочность арматурной стали;

F_a — площадь поперечного сечения одной проволочной тяги;

n_Φ — количество проволок диаметром d_Φ в анкерной тяге;

— несущая способность анкера по грунту

$$\Phi_r = \pi d_3 l_j \gamma_r (h_r + l_j/2) \epsilon_6 \operatorname{tg}\Phi_k \cos\beta + c_k],$$

где h_r — толщина грунта над серединой анкерной заделки;

ϵ_6 — коэффициент бокового давления $\epsilon_6 = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \Phi_k/2)$;

Φ_k, c_k — Φ и c на контакте грунта с поверхностью анкерной заделки;

d_3 — диаметр заделки инъекционного анкера; l_j — длина заделки анкера.

— площадь анкерной плиты $F_{ап}$ при фактическом усилии натяжения анкерной тяги Ω_Φ

$$F_{ап} \geq [\Omega_\Phi (\operatorname{ctg}\Phi + 0,0174\Phi - \pi/2)] : [\pi \gamma_r (b_{ап} \operatorname{tg}\Phi_r + c_r/(\gamma_r \operatorname{tg}\Phi_r))],$$

где c_r, Φ_r — сдвиговые характеристики материала шлейфа;

$b_{ап}$ — ширина анкерной плиты;

— расстояние между анкерами $l_a = \Omega_\Phi L_y/(\Omega_{об} - \Omega_\Phi)$.

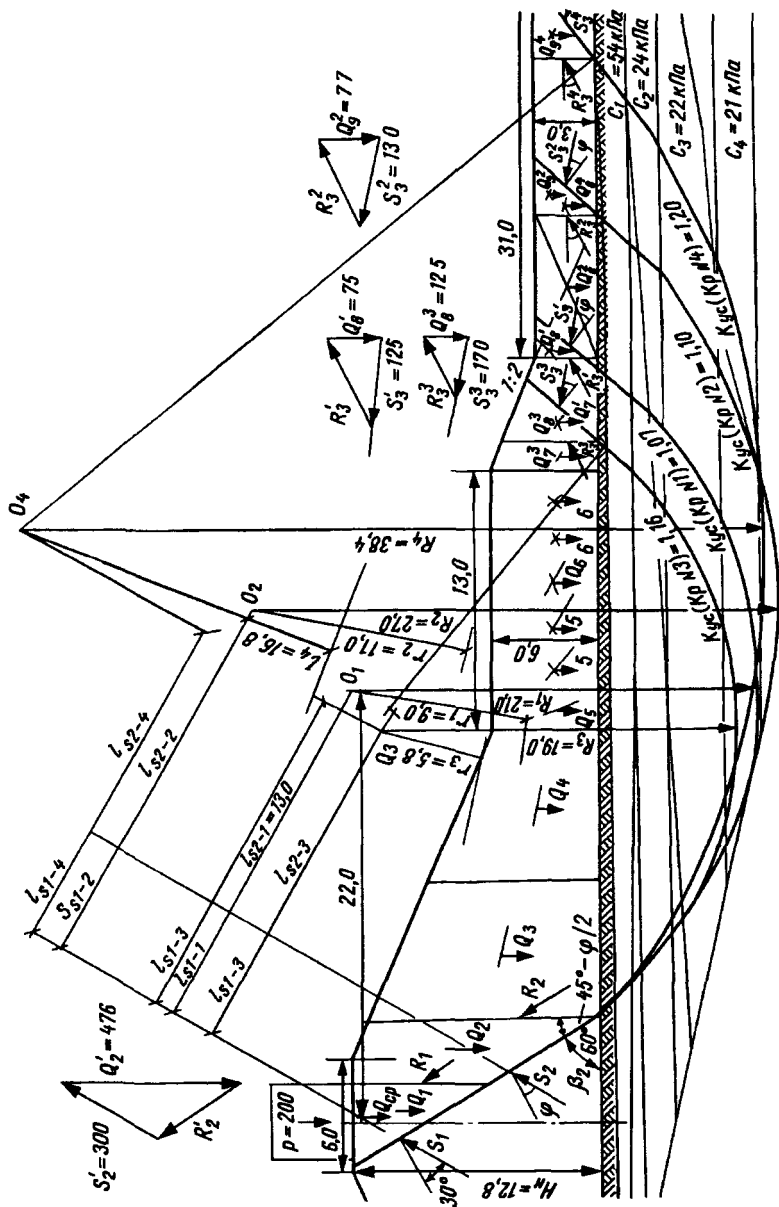


Рис. 4.47. Расчетная схема проектирования пригрузочных берм. (Размеры в м)

Эффективность анкерной конструкции определяется вычислением оползневое давления

$$E_{оп}^a = E_{оп} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} \cos \varphi_i / \cos(\alpha_i - \varphi_i); \quad S_{ij} = \Omega_{\Phi} (\cos \beta_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sin \beta_i);$$

коэффициента устойчивости

$K_{уса} = \Sigma(c_i/l_i + f_i N_i + T_{iуд} + S_{ij})(\cos \varphi_i / \cos(\alpha_i - \varphi_i)) / [\Sigma T_{сдi} \cos \varphi_i / \cos(\alpha_i - \varphi_i)]$,
где S_{ij} — дополнительная сила сопротивления смещению в месте установки одного анкера в i -м отсеке, j -м ряду.

Технологией устройства анкерной конструкции предусматривается бурение скважин в теле насыпи, нагнетание цементного раствора через инвентарную инъекционную трубу (и извлечение ее из скважины).

Пример, по МГУПС (МИИТ). Исходные данные: $H_H = 16,0$ м; толщина балластных шлейфов до 1,5 м. Поперечный профиль — расчетная схема на рис. 8.48. Числовой пример расчета приведен в Технических указаниях [108].

При фактическом усилии натяжения анкера $\Omega_{\Phi} = 60$ кН, размере плиты 1,0 x 1,0 x 0,1 м площадь анкерной плиты по расчету $F_{ап} = 0,7$ м².

Расстояние между анкерами $l_0 = 3,43$ м; количество анкеров на участке длиной $L_y = 20$ м $n_a = 20/3,43 + 1 = 7$ шт.

Эффективность анкерной конструкции оценивается по величине оползневое давления

$E_{оп}^a = 7,2 - 60(\cos 9^{\circ} \operatorname{tg} 28^{\circ} + \sin 9^{\circ}) \cos 28^{\circ} / \cos(23^{\circ} - 28^{\circ}) = -29,0$ кН/м;
величине коэффициента устойчивости $K_{yc} = 1,75$.

Согласно расчету анкерная конструкция повышает устойчивость балластных шлейфов почти в 1,5 раза.

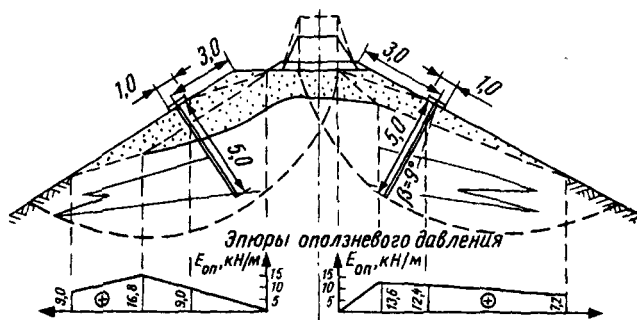


Рис. 8.48. Расчетная схема усиления насыпи анкерными конструкциями. (Размеры в м)

Задача 8.42. Рассчитать вариант усиления насыпи с балластными шлейфами буроинъекционными сваями (БИС).

Решение. Удерживающая конструкция состоит из одного или нескольких рядов буроинъекционных свай, размещаемых в балластном шлейфе, заглубляемых в тело насыпи, и располагаемых вдоль оси пути или вдоль откоса насыпи. Сваи состоят из скважины (диаметром 0,15—0,20 м), арматуры и периферийной части (с вяжущими). Расчетные схемы размещения свай

показаны на рис. 8.49. Дополнительной удерживающей силой служит суммарное сопротивление свай

$$\Sigma T_{сви} = \Sigma N_{сви} \operatorname{tg} \varphi_{св} + c_{св} \Sigma F_{сви},$$

где $N_{сви}$ — вес свай выше поверхности среза в i -м отсеке; $\varphi_{св}$, $c_{св}$ — угол внутреннего трения материала сваи, его сопротивление срезу; $F_{сви}$ — площадь поперечного сечения сваи.

При расчете конструкции определяются расстояние (шаг b_p) между осями и количество рядов свай

$$b_p = K_{фр}(1,5d_{св} + 0,5),$$

где $d_{св}$ — диаметр сваи; $K_{фр}$ — коэффициент формы (при круглом сечении $K_{фр} = 0,9$).

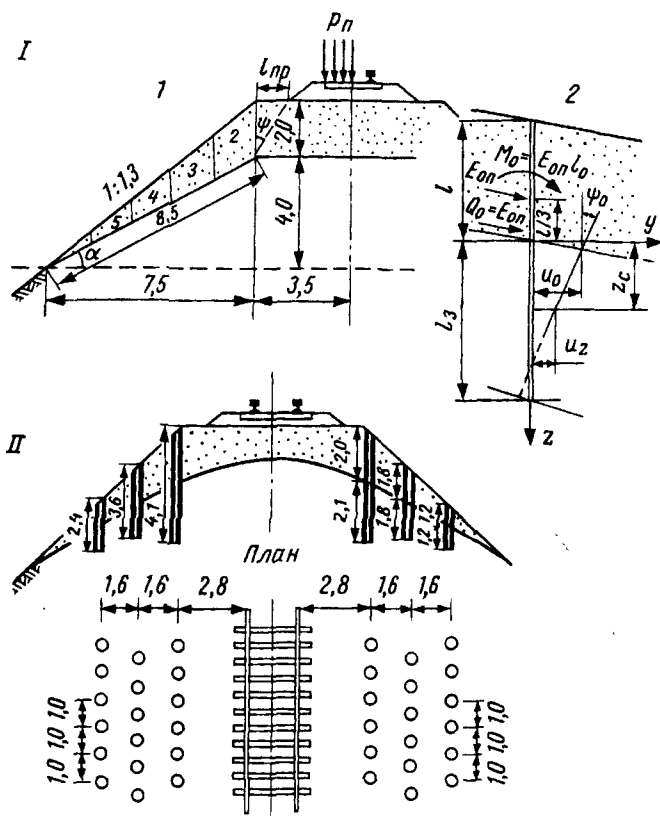


Рис. 8.49. Схемы проектирования конструкции усиления насыпи буронекционными сваями. I — расчетные схемы: 1 — устойчивости балластного «шлейфа»; 2 — буронекционной сваи; II — конструкция усиления насыпи буронекционными сваями.

(Размеры в м)

Расчет прочности свай производится по величине давления на нее. Горизонтальная составляющая активного давления на глубине Z $I_{аг} = \gamma_r Z \lambda_{ад}$, где $\lambda_{ад}$ — коэффициент активного давления

$\lambda_{ад} = \{\cos(\varphi - \xi) : [\cos \xi (1,0 + \sqrt{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \alpha) / [\cos(\xi + \delta)\cos(\xi - \alpha)]}]^2$
где ξ — угол наклона свай к вертикали ($\xi > 0,0^\circ$); α — угол крутизны балластного шлейфа; δ — угол трения грунта по контакту со свайей ($\delta \approx \varphi$).

Равнодействующая горизонтального давления $E_r = I_{аг} l_{смг}/2$,
где $l_{смг}$ — толщина смещаемого грунта.

Оползневое давление $E_{оп} = E_r b_{ш}$.

Коэффициент деформации $K_d = \sqrt[5]{K_o b_{ш} / (E_c I_c)}$,

где E_c — модуль упругости материала свай; I_c — момент инерции поперечного сечения свай, при круглом сечении $I_c = \pi d^4 / 64$;

$K_o = K_r / \gamma_c$ — коэффициент, где K_r — коэффициент пропорциональности, γ_c — коэффициент условий работы ($\gamma_c = 3,0$).

Поперечная сила, действующая на сваю (в уровне поверхности смещения) $Q_o = E_{оп}$; момент $M_o = E_{оп} l_o$; $l_o = l/3$;

горизонтальное смещение $U_c = Q_o \theta_{QQ} + M_{QM}$;

угол поворота поперечного сечения свай $\psi_o = Q_o \theta_{MQ} + M_c \theta_{MM}$;

Угол поворота рассматриваемого сечения свай

θ_{QQ} при $M_o = 1$ $\theta_{QQ} = A_o / (K_d^3 E_c I_c)$;

θ_{MQ} от силы $Q_o = 1$ $\theta_{MQ} = \theta_{QM} = B_o / (K_d^2 E_c I_c)$;

θ_{MM} $\theta_{MM} = C_o / (K_d E_c I_c)$.

Коэффициенты $A_i, B_i, C_i, \dots, D_i$ определяются по прил. 1 (табл. 1) СНиП 2.02.03-85 в зависимости от Z .

Эпюры Q_z, M_z используются при расчете прочности свай.

Давление на грунт насыпи по контуру с боковой поверхности свай

$$\sigma_z = K_o Z [U_o A_i - \psi_o B_i / K_d + M_c C_i / (K_d^2 E_c I_c) - Q_o D_i / (K_d^3 E_c I_c)].$$

Надежность заделки свай в тело насыпи обеспечивается при условии

$$\sigma_z \leq 4 \cdot (\gamma_r Z_i \operatorname{tg} \varphi_r + 0,3 c_r) \cos \varphi.$$

Проверка выполняется при величине заглубления свай $l_3 \leq 2,5$ м, в точках $Z = l_3/3$ и $Z = l_3$, где σ_z — max; при $l_3 \geq 2,5$ м в точке $Z = h_o/3$, где $h_o = 2,5/K_d$.

Пример, по ПГУПС (ЛИИЖТ). Исходные данные: $H_H = 16,0$ м; балластные шапка до 2 м, шлейф на 4 м по откосу с крутизной 1:1,3; параметры материала шлейфа и суглинка насыпи.

Расчетная схема на рис. 8.49-1.

Вариант числового расчета приведен в Технических условиях [107].

Величина заделки свай по расчету — 2,1 м.

Схема размещения свай по результатам расчетов показана на рис. 8.49-11.

Задача 8.43. Рассмотреть вариант укрепления переувлажненных грунтов в поверхностных слоях откоса выемки термоконструкциями (ТК).

Решение. Для укрепления откоса в поверхностных слоях применяются термопрорези (подоткосные) в виде керамических труб, образованных термообработкой глинистых грунтов (рис. 8.50).

Количество терморезей и их размещение на откосе определяются по условиям устойчивости (с учетом оползневой нагрузки) и дренирующего влияния на грунты.

$$K_{yc} = \Sigma F_{уд} / \Sigma F_{сд} > 1,2; \quad F_{уд} = Q_i \cos \beta_j \operatorname{tg} \Phi_i; \quad F_{сд} = Q_i \sin \beta_j \gamma_f;$$

$$Q_i = l_i h_i \gamma_i; \quad \text{оползневое давление } E_{оп} = \Sigma F_{сд} - \Sigma F_{уд}.$$

Здесь β_j — угол наклона оси терморезей; h_i — толщина слоя оползневой почвы; γ_i — удельный вес грунта; l_i — длина отсеков; $\gamma_f = 1,1-1,2$ — коэффициент надежности по нагрузке.

$$\text{Удерживающее влияние терморезей на площади } F_{ТП} = l_{ТП} d_{ТП},$$

где $l_{ТП}$ — длина терморезей; $d_{ТП}$ — средний диаметр терморезей с учетом осушенного ею грунта; $l_{ТП} = (D_c - 0,05 l_{ТП}) + 2r$,

где r — радиус дренирования естественного грунта терморезью, принимается для супесей 1,0 м, суглинков — 0,75, для глин 0,50 м; D — диаметр (в устье скважины) термоупрочненного грунта терморезей.

$$\text{Количество терморезей } N_{ТП} = F_{от} / F_{ТП},$$

где $F_{от} = L_{оп} l_{от}$ — площадь укрепляемого откоса ($L_{оп}$ — длина вдоль оси пути, $l_{от}$ — по откосу).

Расстояние между осями терморезей (шаг размещения)

$$b_{ТП} = L_{оп} / N_{ТП}.$$

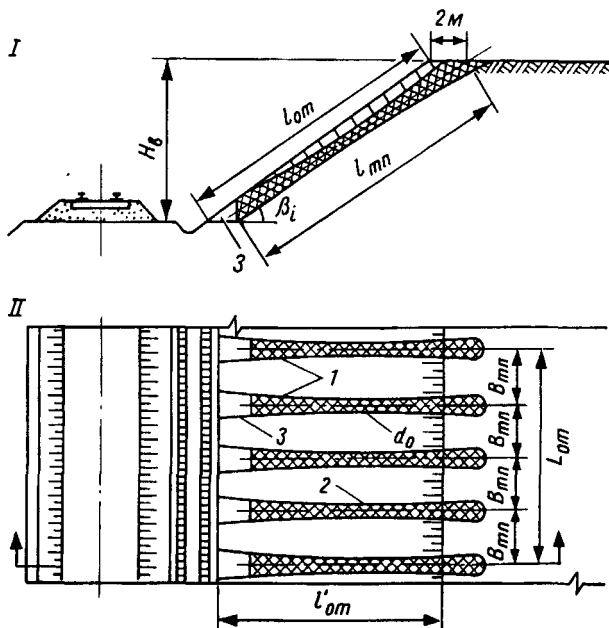


Рис. 8.50. Расчетная схема подоткосных терморезей: I — профиль терморезей; II — план размещения терморезей, 1 — терморезей; 2 — обжиговая скважина 130...150 мм; 3 — приямок 1,0 x 1,0 м

Пример, по ДВГАПС (ХабИИЖТ). Требуется укрепить откос выемки: $H_B = 8$ м; $L_{оп} = 40$ м; $l_{от} = 16$ м; крутизна откоса — 30° . Грунты верхнего слоя на глубину 1,5 м в мягкопластичном состоянии: $\rho = 1,85$ т/м³; $W_r = 0,28$; $W_L = 0,32$; $W_p = 0,20$; $\rho_s = 2,71$ т/м³; $I_L = 0,12$; $I_I = 0,67$; $n_r = 46\%$; $e = 0,85$; $c_H = 15$ кПа; $\varphi_H = 16^\circ$; расчетные значения $c_H = 15/1,5 = 10,0$ кПа; $\varphi_H = 16/1,5 = 14^\circ$.

Решение. Длину подоткосных скважин принимаем $l_{пд} = 16$ м (с учетом проходки пневопробойником ИЛ-4603). Продолжительность термообработки грунта (по опыту) 8 суток (192 ч.). Диаметр обожженного в устье скважины грунта $D_c = 1,8$ м. Средний диаметр термопрорези

$$d_{тп} = (D_c - 0,05l_{тп}) + 2r = (1,8 - 0,05 \cdot 16) + 2 \cdot 0,75 = 2,5 \text{ м.}$$

Площадь полосы упрочненного грунта

$$F_{тп} = l_{тп} d_{тп} = 16 \cdot 2,5 = 40 \text{ м}^2.$$

Количество термопрорезей на откосе

$$N_{тп} = F_{от}/F_{тп} = L_{оп} l_{от}/F_{тп} = 40 \cdot 16/40 = 16.$$

Шаг размещения термопрорезей на откосе

$$b_{тп} = L_{оп}/N_{тп} = 40/16 = 2,5 \text{ м.}$$

Устойчивость оползневого откоса после укрепления термопрорезями (по расчетам K_{yc}) обеспечивается.

Задача 8.44. Рассмотреть вариант усиления однопутной насыпи с балластными шлейфами на откосе (у водопропускной трубы) армирующими стягивающими элементами (СЭ).

Решение. Усиление обеспечивается горизонтальными (или наклонными) сквозными скважинами с арматурой в них и натяжным устройством, закрепляющим железобетонные плиты на откосах.

Проектирование конструкции с определением размерных параметров и размещения выполняется по величине оползневого давления $E_{оп}$, усилия на стягивающий элемент — $P_{сэ}$

$$E_{оп} = P_{сэ} = P_{нт} + P_{ср} \cos\varphi_i / \cos(\beta_i - \varphi_i),$$

где $P_{нт}$, $P_{ср}$ — усилия натяжения арматуры, срезное;

$$P_{нт} = P_{бз} F_{пл} / \sin\alpha_i,$$

где $P_{бз}$ — безопасное давление на грунт, по условиям предупреждения пластических деформаций

$$P_{бз} = \pi c / [\text{tg}\varphi (\text{ctg}\varphi + \varphi - \pi/2)];$$

$F_{пл}$ — площадь опирания плиты на грунт;

α — угол наклона (крутизна) откоса насыпи ($\text{ctg}\alpha = m_{от}$).

Пример по МГУПС (МИИТ). Исходные данные: насыпь $H_H = 10,11$ м, балластные шлейфы до 1,5 м. K_{yc} до укрепления насыпи 0,92—0,98.

Решение. Расчетная схема и конструкция укрепления насыпи показаны на рис. 8.51 в поперечном и продольном профилях.

Усиление выполнено с учетом оползневого давления. $P_{нт}$ принято 60 кН. Числовой пример приведен в Методических указаниях [63].

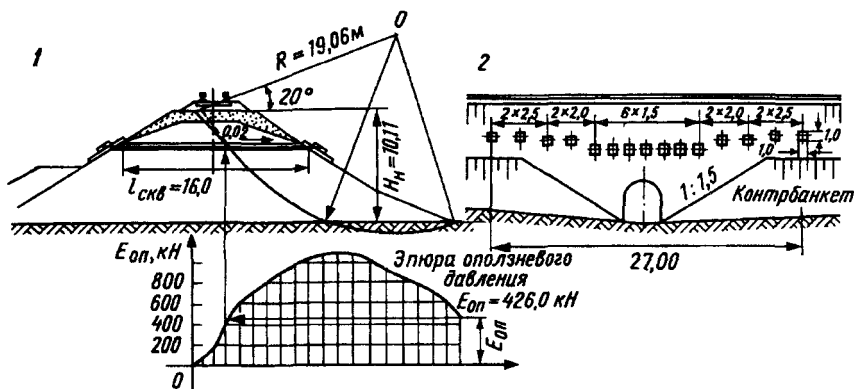


Рис. 8.51. Усиление насыпи стягивающими элементами (СЭ): 1 — расчетная схема; 2 — размещение стягивающих элементов (СЭ)

Задача 8.45. Рассмотреть варианты повышения устойчивости откоса насыпи забивными сваями (ЗС).

Исходные данные: показатели устойчивости откоса (K_{yc}); характеристики грунта γ_r , c_r , Φ_r .

Решение, по РГОТУПС (ВЗИИТ). Свайные, свайно-балочные укрепления рассчитываются на оползневое давление

$$E_{оп} = K_c T_{сд} = K_c \Sigma (T_{сдi} - f_i N_i - c_i l_i) - T_{удi},$$

где $T_{сд}$ — сдвигающая сила; $K_c > 1,0$.

Равнодействующая оползневое давления учитывается на уровне возможной поверхности скольжения. Расчет свай на горизонтальную нагрузку выполняется согласно СНиП 2.02.03-85. Усилия прорезания грунта свай P_{hc} можно определить на основе решения упруго-пластической задачи [120].

$$\sigma_1 = (p_c / \pi) (\alpha_B + \sin \alpha_B) + \gamma_r h;$$

$$\sigma_2 = (p_c / \pi) (\alpha_B - \sin \alpha_B) + \gamma_r h,$$

где α_B — угол видимости.

Условие предельного равновесия

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2 \sin \Phi_r [(\sigma_1 + \sigma_2) / 2 + c_r \operatorname{ctg} \Phi_r].$$

Усилие для прорезания грунта свай

$$P_{hc} = N_c c_r + [\gamma_r (0,5 h_1 + h_2) / (h_1 + h_2)] (N_\Phi + 1),$$

где $h_1 \leq 10 d_c$; $h_2 = h - 10 d_c$; $h = h_1 + h_2$; d_c — диаметр свай.

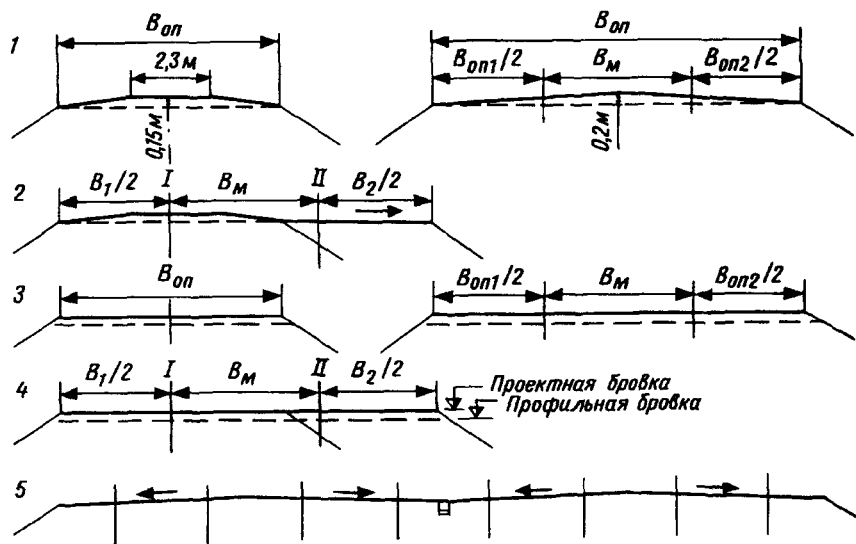
$$N_c = \pi \cos \Phi_r (\sin \alpha_B - \alpha_B \sin \Phi_r); \quad N_\Phi = \pi \sin \alpha_B (\sin \alpha_B - \alpha_B \sin \Phi_r)$$

Сваи устанавливаются рядами, в шахматном порядке (с шагом 1,2—1,5 м); свайное поле должно перекрывать неустойчивую зону между вероятными кривыми смещения на глубину не менее $\geq 10 d_c$.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

Формы основной площадки земляного полотна



1,2 — при глинистых грунтах, мелких недреннующих и пылеватых песках (на одно, двухпутных линиях), 3,4 — при скальных, крупнообломочных, песчаных дренирующих грунтах, 5 — на станционных площадках

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.2

Ширина основной площадки однопутных линий

Таблица 1.2.1

Минимальная ширина основной площадки однопутных линий [115]

Виды грунтов	Новые железнодорожные линии категорий				Эксплуатируемые железные дороги
	I	II	III	IV	
Скальные, крупнообломочные, песчаные, дренирующие	6,0	5,8	5,2	5,0	5,0
Глинистые и недренирующие пески мелкие и пылеватые	7,0	6,5	6,0	6,0	5,5

Таблица 1.2.2

Ширина основной площадки земляного полотна (на прямых)

Категория железнодорожной линии	Число главных путей	Ширина основной площадки земляного полотна на прямых участках пути, м при использовании грунтов	
		глинистых, крупнообломочных с глинистым заполнителем, скальных легковыветриваю- щихся, влагоморозостойких, песков недренирующих, мел- ких и пылеватых	скальных слабовывет- ривающихся, крупно- обломочных с песчаным заполнителем и песков дренирующих (кроме мелких, пылеватых)
Скоростные и особогрузонапря- женные, I	2		10,7
I и II	1	11,7	6,6
III	1	7,3	6,4
IV	1	7,1	6,2

Примечания. 1. К дренирующим по условиям работы ОЗП относятся грунты, имеющие при максимальной стандартной плотности коэффициент фильтрации $K_f \geq 0,5$ м/сут. и содержание менее 10% частиц размером менее 0,1 мм.

2. Ширина междупутья — не менее 4,1 м, с уширением в кривых. Ширина обочин — не менее 0,5 м.

3. На ВСМ ширина ОП $B_{оп} = 13,0$ м, $B_m = 4,5$ м, ширина обочины 0,9 м.

4. См. [71,84], Железные дороги колеи 1520 мм (СТН Ц-01-95). МПС. М., 1995, СНиП 32-01-95.

Таблица 1 2 3

Величина уширения земляного полотна в кривых

Радиусы кривых, м	Уширение ОП, м
3000 и более	0,20
2500—1800	0,30
1500—700	0,40
600 и менее	0,50

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 3

**Параметры погонных нагрузок
на основную площадку земляного полотна**

Наименование параметров погонных нагрузок	Значения параметров при типах верхнего строения					
	тяжелом		среднем		легком	
	шпалы					
	деревянные	железобетонные	деревянные	железобетонные	деревянные	железобетонные
1 Толщина балластного слоя, b , м	0,70	0,75	0,65	0,70	0,60	0,65
2 Интенсивность нагрузки верхнего строения, $p_{вс}$, кПа	16,0	17,0	15,0	16,0	15,0	16,0
3 Ширина нагрузки балластного слоя прямоугольной формы на участках						
однопутном, $b_{вс1}$, м	4,81	4,87	4,53	4,60	4,25	4,33
двухпутном, $b_{вс2}$, м	8,97	9,01	8,68	8,75	8,39	8,45
трапецидальной формы на участках однопутном						
по верху, $b_{всв1}$, м	3,60	3,60	3,40	3,40	3,20	3,20
по низу, $b_{всн1}$, м	6,02	6,14	5,60	5,80	5,30	5,46
двухпутном						
по верху, $b_{всв2}$, м	7,70	7,70	7,50	7,50	7,30	7,30
по низу, $b_{всн2}$, м	10,24	10,32	9,86	10,00	9,48	9,60
4 Размерные параметры трапецидальной поездной нагрузки						
по верху, a_v , м	1,94	1,83	2,00	1,89	2,06	1,95
по низу, a_n , м	3,56	3,57	3,50	3,51	3,44	3,45

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 4

Таблица значений $I_p(x/b, y/b)$ для прямоугольной полосовой нагрузки

y_i/b_j	Значения I_i при x_i/b_j равном											
	0,00	0,05	0,1	0,15	0,25	0,35	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
0,10	0,998	0,996	0,996	0,996	0,989	0,961	0,499	0,010	0,003	0,000	0,000	0,000
0,15	0,993	0,993	0,987	0,981	0,966	0,910	0,498	0,030	0,005	0,001	0,000	0,000
0,25	0,960	0,960	0,954	0,942	0,907	0,808	0,496	0,090	0,019	0,002	0,001	0,000
0,35	0,906	0,901	0,900	0,887	0,830	0,732	0,489	0,148	0,042	0,005	0,004	0,001
0,50	0,822	0,820	0,815	0,807	0,728	0,651	0,479	0,218	0,084	0,017	0,005	0,003
0,75	0,670	0,666	0,661	0,647	0,607	0,532	0,449	0,262	0,145	0,050	0,015	0,007
1,00	0,540	0,540	0,543	0,535	0,531	0,475	0,409	0,288	0,185	0,071	0,029	0,018
1,50	0,397	0,395	0,395	0,389	0,379	0,354	0,334	0,273	0,211	0,114	0,059	0,032
2,00	0,306	0,305	0,304	0,303	0,242	0,291	0,275	0,243	0,205	0,134	0,083	0,051
2,50	0,242	0,242	0,242	0,241	0,239	0,237	0,231	0,215	0,188	0,140	0,094	0,065
3,00	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,200	0,200	0,200	0,170	0,130	0,100	0,090
4,00	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,150	0,150	0,150	0,140	0,120	0,100	0,090
5,00	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,120	0,120	0,120	0,120	0,110	0,090	0,080
6,00	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,090	0,080

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.5

Таблица значений $I_p(x/b, y/b)$ для треугольной полосовой нагрузки

y_i/b_j	Значения I_i при x_i/b_j равном										
	-1,5	-1,0	-0,5	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,500	0,750	0,500	0,000	0,000	0,000
0,25	—	—	0,001	0,075	0,256	0,480	0,643	0,424	0,015	0,003	—
0,50	0,002	0,003	0,023	0,127	0,263	0,410	0,477	0,353	0,056	0,017	0,003
0,75	0,006	0,016	0,042	0,153	0,248	0,335	0,361	0,293	0,108	0,024	0,009
1,00	0,014	0,025	0,061	0,159	0,223	0,275	0,279	0,241	0,129	0,045	0,013
1,50	0,020	0,048	0,096	0,145	0,178	0,200	0,202	0,185	0,124	0,062	0,041
2,00	0,033	0,061	0,092	0,127	0,146	0,155	0,163	0,153	0,108	0,069	0,050
3,00	0,050	0,064	0,080	0,096	0,103	0,104	0,108	0,104	0,090	0,071	0,050
4,00	0,051	0,060	0,067	0,075	0,078	0,085	0,082	0,075	0,073	0,060	0,047
5,00	0,047	0,052	0,057	0,059	0,062	0,063	0,069	0,065	0,061	0,051	0,049
6,00	0,041	0,041	0,050	0,51	0,052	0,053	0,053	0,053	0,053	0,050	0,045

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 6

F-распределение (для уровня значимости $\alpha = 0,05$)

$k_2 \backslash k_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,76
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,93
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,70
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,31
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,82
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,72
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,56
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,45
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,31
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,22
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,16	2,12
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,07	2,04
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,98
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,14	2,07	2,01	1,97	1,93
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,88
200	3,89	3,04	2,65	2,41	2,26	2,14	2,05	1,98	1,92	1,87	1,83
400	3,86	3,02	2,62	2,39	2,23	2,12	2,03	1,96	1,90	1,85	1,81
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	2,01	1,94	1,88	1,83	1,79

$k_2 \backslash k_1$	12	13	16	20	30	40	50	75	100	200	500	∞
1	244	245	246	248	250	251	252	253	253	254	254	254
2	19,41	19,42	19,43	19,44	19,46	19,47	19,47	19,48	19,49	19,49	19,50	19,50
3	8,74	8,71	8,69	8,66	8,62	8,60	8,58	8,57	8,56	8,54	8,54	8,54
4	5,91	5,87	5,84	5,80	5,74	5,71	5,70	5,68	5,66	5,65	5,64	5,63
5	4,68	4,64	4,60	4,56	4,50	4,46	4,44	4,42	4,40	4,38	4,38	4,36
6	4,00	3,96	3,92	3,87	3,81	3,77	3,75	3,72	3,71	3,69	3,68	3,67
7	3,57	3,52	3,49	3,44	3,38	3,34	3,32	3,29	3,28	3,25	3,24	3,23
8	3,28	3,23	3,20	3,15	3,08	3,05	3,03	3,00	2,98	2,96	2,94	2,93
9	3,07	3,02	2,98	2,93	2,86	2,82	2,80	2,77	2,76	2,73	2,72	2,71
10	2,91	2,86	2,82	2,77	2,70	2,67	2,64	2,61	2,59	2,56	2,55	2,54
11	2,79	2,74	2,70	2,65	2,57	2,53	2,50	2,47	2,45	2,42	2,41	2,40
12	2,69	2,64	2,60	2,54	2,46	2,42	2,40	2,36	2,35	2,32	2,31	2,30
14	2,53	2,48	2,44	2,39	2,31	2,27	2,24	2,21	2,19	2,16	2,14	2,13
16	2,42	2,37	2,33	2,28	2,20	2,16	2,13	2,09	2,07	2,04	2,02	2,01
20	2,28	2,23	2,18	2,12	2,04	1,99	1,96	1,92	1,90	1,87	1,85	1,84
24	2,18	2,13	2,09	2,02	1,94	1,89	1,86	1,82	1,80	1,76	1,74	1,73
30	2,09	2,04	1,99	1,93	1,84	1,79	1,76	1,72	1,69	1,66	1,64	1,62
40	2,00	1,95	1,90	1,84	1,74	1,69	1,66	1,61	1,59	1,55	1,53	1,51
50	1,95	1,90	1,85	1,78	1,69	1,63	1,60	1,55	1,52	1,48	1,46	1,44
70	1,89	1,84	1,79	1,72	1,62	1,56	1,53	1,47	1,45	1,40	1,37	1,35
100	1,85	1,79	1,75	1,68	1,57	1,51	1,48	1,42	1,39	1,34	1,30	1,28
200	1,80	1,74	1,69	1,62	1,52	1,45	1,42	1,35	1,32	1,26	1,22	1,19
400	1,78	1,72	1,67	1,60	1,49	1,42	1,38	1,32	1,28	1,22	1,16	1,13
∞	1,75	1,69	1,64	1,57	1,46	1,40	1,35	1,28	1,24	1,17	1,11	1,00

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 7

Параметры эмпирических кривых обеспеченности

Значения m	Значения вероятности превышения (обеспеченности) p_3 при n (числе членов ряда), %										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	14,28	12,50	11,11	10,00	9,09	8,33	7,69	7,14	6,67	6,25	5,88
2	28,57	25,00	22,22	20,00	18,18	16,67	15,38	14,29	13,33	12,50	11,76
3	42,86	37,50	33,33	30,00	27,27	25,00	23,08	21,43	20,00	18,75	17,65
4	57,14	50,00	44,44	40,00	36,36	33,33	30,77	28,57	26,66	25,00	23,53
5	71,43	62,50	55,55	50,00	45,45	41,67	38,46	35,71	33,33	31,25	29,41
6	85,71	75,00	66,67	60,00	54,55	50,00	46,15	42,86	40,00	37,50	35,29
7	—	87,50	77,78	70,00	63,64	58,33	53,85	50,00	46,67	43,75	41,18
8	—	—	88,89	80,00	72,73	66,67	61,54	57,14	53,33	50,00	47,06
9	—	—	—	90,00	81,82	75,00	69,23	64,29	60,00	56,25	52,94
10	—	—	—	—	90,91	83,33	76,92	71,43	66,67	62,50	58,82
11	—	—	—	—	—	91,67	84,62	78,57	73,33	68,75	64,71
12	—	—	—	—	—	—	92,31	85,71	80,00	75,00	70,59
13	—	—	—	—	—	—	—	92,86	86,67	81,25	76,47
14	—	—	—	—	—	—	—	—	93,93	87,50	82,35
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	93,75	88,24
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	94,12

Примечание Эмпирическая обеспеченность по С Н Крицкому и М Ф Менкелю $p_3 = 100m/(n + 1)$ Железняков Г В Гидравлика и гидрология М Транспорт, 1989

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 8

Таблица коэффициентов Φ_p (ординат кривых обеспеченности)

C_s	Вероятность превышения (обеспеченность) p , %															
	99,9	99	97	90	50	20	10	4	3	2	1	0,33	0,2	0,1	0,02	0,01
	- Φ							+ Φ								
0,0	3,1	2,3	1,9	1,3	0,0	0,8	1,3	1,8	1,9	2,0	2,3	2,7	2,9	3,1	3,5	3,7
0,1	2,9	2,2	1,8	1,3	0,0	0,8	1,3	1,8	1,9	2,1	2,4	2,8	3,0	3,2	3,7	3,9
0,2	2,8	2,2	1,8	1,2	0,0	0,8	1,3	1,8	2,0	2,1	2,5	2,9	3,1	3,4	3,8	4,2
0,3	2,8	2,1	1,7	1,2	0,0	0,8	1,3	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,2	3,5	3,9	4,4
0,4	2,5	2,0	1,6	1,2	0,1	0,8	1,3	1,8	2,0	2,2	2,6	3,1	3,3	3,7	4,1	4,6
0,5	2,4	1,9	1,6	1,2	0,1	0,8	1,3	1,9	2,0	2,3	2,7	3,3	3,5	3,8	4,3	4,8
0,6	2,3	1,9	1,5	1,2	0,1	0,8	1,3	1,9	2,1	2,3	2,8	3,3	3,6	4,0	4,5	5,0
0,7	2,1	1,7	1,5	1,2	0,1	0,8	1,3	1,9	2,1	2,4	2,8	3,4	3,7	4,1	4,7	5,3
0,8	2,0	1,7	1,5	1,2	0,1	0,8	1,3	2,0	2,2	2,4	2,9	3,5	3,8	4,2	4,8	5,5
0,9	1,9	1,7	1,4	1,1	0,1	0,8	1,3	2,0	2,2	2,4	3,0	3,7	3,9	4,4	4,9	5,7
1,0	1,8	1,6	1,4	1,1	0,2	0,8	1,3	2,0	2,2	2,5	3,0	3,7	4,1	4,5	5,2	6,0
1,1	1,7	1,5	1,3	1,1	0,2	0,7	1,3	2,0	2,3	2,5	3,1	3,8	4,2	4,7	5,3	6,2
1,2	1,6	1,4	1,3	1,1	0,2	0,7	1,3	2,1	2,3	2,6	3,1	3,9	4,3	4,8	5,5	6,4
1,3	1,5	1,4	1,2	1,1	0,2	0,7	1,3	2,1	2,3	2,6	3,2	4,0	4,4	5,0	5,8	6,6
1,4	1,4	1,3	1,2	1,0	0,2	0,7	1,3	2,1	2,4	2,7	3,3	4,1	4,6	5,1	6,0	6,9
1,5	1,3	1,2	1,2	1,0	0,2	0,7	1,3	2,1	2,4	2,7	3,3	4,2	4,7	5,2	6,2	7,1
1,6	1,2	1,2	1,1	1,0	0,2	0,7	1,3	2,1	2,4	2,8	3,4	4,3	4,8	5,4	6,5	7,3
1,7	1,2	1,1	1,1	1,0	0,3	0,7	1,3	2,2	2,4	2,8	3,4	4,4	4,9	5,5	6,6	7,5
1,8	1,1	1,1	1,1	1,0	0,3	0,6	1,3	2,2	2,4	2,8	3,5	4,5	5,0	5,5	6,8	7,8
1,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,3	0,6	1,3	2,2	2,4	2,8	3,5	4,5	5,1	5,8	7,0	8,0
2,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,3	0,6	1,3	2,2	2,5	2,9	3,6	4,6	5,2	5,9	7,3	8,2
2,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,3	0,6	1,3	2,2	2,5	2,9	3,6	4,8	5,3	6,1	7,5	8,4
2,2	0,9	0,9	0,9	0,8	0,3	0,6	1,3	2,2	2,5	2,9	3,7	4,9	5,4	6,2	7,7	8,7
2,3	0,8	0,9	0,9	0,8	0,3	0,6	1,3	2,2	2,6	2,9	3,7	4,9	5,5	6,4	8,0	8,9
2,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,5	1,2	2,2	2,6	3,0	3,8	5,0	5,7	6,5	8,2	9,1
2,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,5	1,2	2,2	2,6	3,0	3,8	5,0	5,8	6,6	8,4	9,4
2,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,4	0,5	1,2	2,2	2,6	3,0	3,9	5,1	5,8	6,7	8,6	9,6
2,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	0,5	1,2	2,2	2,6	3,0	3,9	5,2	5,9	6,9	8,8	9,8
2,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	0,5	1,2	2,2	2,6	3,0	3,9	5,3	6,0	7,0	9,0	9,9
2,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	0,5	1,2	2,2	2,6	3,1	4,0	5,4	6,1	7,1	9,2	10
3,0	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4	1,2	2,2	2,6	3,1	4,0	5,4	6,3	7,3	9,5	11
3,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	1,1	2,3	2,6	3,1	4,1	5,5	6,5	7,5	9,9	11
3,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,3	1,1	2,3	2,6	3,2	4,2	5,8	6,8	7,9	11	12

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.9

Значение функции $\Phi(U) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-t^2/2} dt$ (интеграл вероятности Лапласа)

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0080	0,0160	0,0239	0,0319	0,0399	0,0478	0,0558	0,0638	0,0717
0,1	0797	0876	0955	1034	1113	1192	1271	1350	1428	1507
0,2	1585	1663	1741	1819	1897	1974	2051	2128	2205	2282
0,3	2358	2434	2510	2586	2661	2737	2812	2886	2960	3035
0,4	3108	3182	3255	3328	3401	3473	3545	3616	3688	3759
0,5	3829	3899	3969	4039	4108	4177	4245	4313	4381	4448
0,6	4515	4581	4647	4713	4778	4843	4907	4971	5035	5098
0,7	5161	5223	5285	5346	5407	5467	5527	5587	5646	5705
0,8	5763	5821	5878	5935	5991	6047	6102	6157	6211	6265
0,9	6319	6372	6424	6476	6528	6579	6629	6679	6729	6778
1,0	0,6827	0,6875	0,6923	0,6970	0,7017	0,7063	0,7109	0,7154	0,7199	0,7243
1,1	7287	7330	7373	7415	7457	7499	7540	7580	7620	7660
1,2	7699	7737	7775	7813	7850	7887	7923	7959	7994	8039
1,3	8064	8098	8132	8165	8198	8230	8262	8293	8324	8333
1,4	8385	8415	8444	8473	8501	8529	8557	8584	8611	8638
1,5	8664	8690	8715	8740	8764	8789	8812	8836	8859	8882
1,6	8904	8926	8948	8969	8990	9011	9031	9051	9070	9090
1,7	9109	9127	9146	9164	9181	9199	9216	9233	9249	9265
1,8	9281	9297	9312	9327	9342	9357	9371	9385	9399	9412
1,9	9426	9439	9451	9464	9476	9488	9500	9512	9523	9534
2,0	0,9545	0,9556	0,9566	0,9576	0,9586	0,9596	0,9606	0,9616	0,9625	0,9634
2,1	9643	9651	9660	9668	9676	9684	9692	9700	9707	9715
2,2	9722	9729	9736	9743	9749	9756	9762	9768	9774	9780
2,3	9786	9791	9797	9802	9807	9812	9817	9822	9827	9832
2,4	9836	9841	9845	9849	9853	9857	9861	9865	9869	9872
2,5	9876	9879	9883	9886	9889	9892	9895	9898	9901	9904
2,6	9907	9910	9912	9915	9917	9920	9922	9924	9926	9928
2,7	9931	9933	9935	9937	9939	9940	9942	9944	9946	9947
2,8	9949	9951	9952	9953	9955	9956	9958	9959	9960	9961
2,9	9963	9964	9965	9966	9967	9968	9969	9970	9971	9972
3,0	0,9973	0,9974	0,9975	0,9976	0,9976	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.10

Функция (нормального) распределения для закона Гаусса

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\xi^2/2} d\xi$$

x	F(x)	x	F(x)	x	F(x)	x	F(x)	x	F(x)
-3,00	0,001	-1,18	0,119	-0,38	0,352	0,42	0,663	1,22	0,888
-2,90	0,002	-1,16	0,123	-0,36	0,359	0,44	0,670	1,24	0,892
-2,80	0,003	-1,14	0,127	-0,34	0,367	0,46	0,677	1,26	0,896
-2,70	0,003	-1,12	0,131	-0,32	0,374	0,48	0,684	1,28	0,900
-2,60	0,005	-1,10	0,136	-0,30	0,382	0,50	0,691	1,30	0,903
-2,50	0,006	-1,08	0,140	-0,28	0,390	0,52	0,698	1,32	0,907
-2,40	0,008	-1,06	0,145	-0,26	0,397	0,54	0,705	1,34	0,910
-2,30	0,011	-1,04	0,149	-0,24	0,405	0,56	0,712	1,36	0,913
-2,25	0,012	-1,02	0,154	-0,22	0,413	0,58	0,719	1,38	0,916
-2,20	0,014	-1,00	0,159	-0,20	0,421	0,60	0,726	1,40	0,919
-2,15	0,016	-0,98	0,164	-0,18	0,429	0,62	0,732	1,42	0,922
-2,10	0,018	-0,96	0,169	-0,16	0,436	0,64	0,739	1,44	0,925
-2,05	0,020	-0,94	0,174	-0,14	0,444	0,66	0,745	1,46	0,928
-2,00	0,023	-0,92	0,179	-0,12	0,452	0,68	0,752	1,47	0,930
-1,95	0,026	-0,90	0,184	-0,10	0,460	0,70	0,758	1,50	0,933
-1,90	0,029	-0,88	0,189	-0,08	0,468	0,72	0,764	1,54	0,938
-1,85	0,032	-0,86	0,195	-0,08	0,476	0,74	0,770	1,58	0,943
-1,80	0,036	-0,84	0,200	-0,04	0,484	0,76	0,776	1,62	0,947
-1,75	0,040	-0,82	0,206	-0,02	0,492	0,78	0,782	1,66	0,952
-1,70	0,045	-0,80	0,212	0	0,500	0,80	0,788	1,70	0,955
-1,66	0,048	-0,78	0,218	0,02	0,508	0,82	0,794	1,75	0,960
-1,62	0,053	-0,76	0,224	0,04	0,516	0,84	0,800	1,80	0,964
-1,58	0,057	-0,74	0,230	0,06	0,524	0,86	0,805	1,85	0,968
-1,54	0,062	-0,72	0,236	0,08	0,532	0,88	0,811	1,90	0,971
-1,50	0,067	-0,70	0,242	0,10	0,540	0,90	0,816	1,95	0,974
-1,48	0,069	-0,68	0,248	0,12	0,548	0,92	0,821	2,00	0,977
-1,46	0,072	-0,66	0,255	0,14	0,556	0,94	0,826	2,05	0,980
-1,44	0,075	-0,64	0,261	0,16	0,564	0,96	0,831	2,10	0,982
-1,42	0,078	-0,62	0,268	0,18	0,571	0,98	0,836	2,15	0,984
-1,40	0,081	-0,60	0,274	0,20	0,579	1,00	0,841	2,20	0,986
-1,38	0,084	-0,58	0,281	0,22	0,587	1,02	0,846	2,25	0,988
-1,36	0,087	-0,56	0,288	0,24	0,595	1,04	0,851	2,30	0,989
-1,34	0,089	-0,54	0,295	0,26	0,603	1,06	0,855	2,40	0,992
-1,32	0,093	-0,52	0,302	0,28	0,610	1,08	0,860	2,50	0,994
-1,30	0,097	-0,50	0,309	0,30	0,618	1,10	0,864	2,60	0,995
-1,28	0,100	-0,48	0,316	0,32	0,626	1,12	0,869	2,70	0,997
-1,26	0,104	-0,46	0,323	0,34	0,633	1,14	0,873	2,80	0,997
-1,24	0,107	-0,44	0,330	0,36	0,641	1,16	0,877	2,90	0,998
-1,22	0,111	-0,42	0,337	0,38	0,648	1,18	0,881	3,00	0,999
-1,20	0,115	-0,40	0,345	0,40	0,655	1,20	0,885		

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 11

Значения χ^2 в зависимости от вероятности p ($\alpha^2 > \chi_{\alpha^2}$)
и числа степеней свободы k

Число степеней свободы k	Вероятность p												
	0,99	0,98	0,95	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	0,05	0,01	0,005	0,002	0,001
1	0,00016	0,0006	0,0039	0,016	0,148	0,455	1,07	2,7	3,8	6,6	7,9	9,5	10,83
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,713	1,386	2,41	4,6	6,0	9,2	11,6	12,4	13,8
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,424	2,366	3,66	6,3	7,8	11,3	12,8	14,8	16,3
4	0,30	0,43	0,71	1,06	2,19	3,36	4,9	7,8	9,5	13,3	14,9	16,9	18,5
5	0,55	0,75	1,14	1,61	3,00	4,35	6,1	9,2	11,1	15,1	16,3	18,9	20,5
6	0,187	1,13	1,63	2,20	3,83	5,35	7,2	10,6	12,6	16,8	18,6	20,7	22,5
7	1,24	1,56	2,17	2,83	4,67	6,34	8,4	12,0	14,1	18,5	20,3	22,6	24,4
8	1,65	2,03	2,73	3,49	5,53	7,34	9,5	13,4	15,5	20,1	21,9	24,3	21,6
9	2,09	2,53	3,32	4,17	6,39	8,35	10,7	14,7	16,9	21,7	23,6	26,1	27,9
10	2,56	3,06	3,94	4,86	7,27	9,34	11,8	16,0	18,3	23,2	25,2	27,7	29,6
11	3,1	3,6	4,6	5,6	8,1	10,3	12,9	17,3	19,7	24,7	26,8	29,4	31,3
12	3,6	4,2	5,2	6,3	9,0	11,3	14,0	18,5	21,0	26,2	28,3	31,0	32,9
13	4,1	4,8	5,9	7,0	9,9	12,3	15,1	19,8	22,4	27,7	29,8	32,5	34,5
14	4,7	5,4	6,6	7,8	10,8	13,3	16,2	21,1	23,7	29,1	31,0	34,0	36,1
15	5,2	6,0	7,3	8,5	11,7	14,3	17,3	22,3	25,0	30,6	32,5	35,5	37,7
16	5,8	6,6	8,0	9,3	12,6	15,3	18,4	23,5	26,3	32,0	34,0	37,0	39,2
17	6,4	7,3	8,7	10,1	13,5	16,3	19,5	24,8	27,6	33,4	35,5	38,5	40,8
18	7,0	7,9	9,4	10,9	14,4	17,3	20,6	26,0	28,9	34,8	37,0	40,0	42,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 1

Классификация грунтов [115]

1 По содержанию частиц

Вид грунта	Размеры камней, частиц, мм	Содержание от общего веса сухого грунта, %
Крупнообломочные		
Грунт глыбовый (при преобладании окатанных камней — валунный)	крупнее 200	более 50%
Грунт щебенистый (при преобладании окатанных частиц — галечниковый)	крупнее 10	более 50%
Грунт дресвяный (при преобладании окатанных частиц — гравийный)	крупнее 2	более 50%
Песчаные		
Песок гравелистый	крупнее 2	более 25%
Песок крупный	крупнее 0,5	более 50%
Песок средней крупности	крупнее 0,25	более 50%
Песок мелкий	крупнее 0,1	более 75%
Песок пылеватый	крупнее 0,1	более 75%

2 По зерновому составу и числу пластичности

Вид грунта	Разновидности грунтов	Содержание песчаных частиц размером от 2 до 0,05 мм в % по весу	Число пластичности
Супесь	легкая крупная	более 50	$1 \leq I_p \leq 7$
	легкая пылеватая	более 50	
	тяжелая пылеватая	20—50	
	тяжелая пылеватая	менее 20	
Суглинок	легкий	более 40	$7 < I_p \leq 12$
	легкий пылеватый	менее 40	
	тяжелый	более 40	$12 < I_p \leq 17$
	тяжелый пылеватый	менее 40	
Глина	песчанистая	более 40	$17 < I_p \leq 27$
	пылеватая	меньше, чем пылеватых размером 0,05—0,005 мм	
	жирная	не нормируется	$I_p > 27$

Примечание Для супесей легких крупных учитывается содержание частиц размером 2—0,25 мм

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.2

Классификация глинистых грунтов

Классификация по числу пластичности I_p		
Вид грунта	Число пластичности $I_p, \%$	
Супесь	$1 < I_p \leq 7$	
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$	
Глина	$I_p > 17$	
Классификация по показателю текучести (консистенции) I_L		
Вид грунта	Состояние (пластичность)	Показатель текучести I_L
Супесь	твердое	$I_L < 0,00$
	пластичное	$0,00 < I_L \leq 1,00$
	текучее	$I_L > 1,00$
Суглинок, глина	твердое	$I_L \leq 0,00$
	полутвердое	$0,00 < I_L \leq 0,25$
	тугопластичное	$0,25 < I_L \leq 0,50$
	мягкопластичной	$0,50 < I_L \leq 0,75$
	текучепластичное	$0,75 < I_L \leq 1,00$
	текучее	$I_L > 1,00$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.3

Показатели состояния песчаных грунтов

Вид песка	Состояние по плотности сложения (по коэффициенту пористости e)		
	плотное	средней плотности	рыхлое
Гравелистый, крупный, средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 \leq e < 0,70$	$e > 0,70$
Мелкий	$e < 0,60$	$0,60 \leq e < 0,75$	$e > 0,75$
Пылеватый	$e < 0,60$	$0,60 \leq e < 0,80$	$e > 0,80$
Состояние песка по степени влажности	Показатель степени влажности S_r		
Маловлажное	$0,0 < S_r \leq 0,5$		
Влажное	$0,5 < S_r \leq 0,8$		
Водонасыщенное	$0,8 < S_r \leq 1,0$		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.4

Нормативные значения удельного сцепления c , кПа,
углов внутреннего трения φ , град, модуля деформации E , МПа
(согласно СНиП 2.02.01-83)

Виды, наименование грунтов	Характеристики грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном							Показатели текучести I_L
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	
Пески гравелистые и крупные	c	2	1	—	—	—	—	—	
	φ	43	40	38	—	—	—	—	
	E	50	40	30	—	—	—	—	
Пески средней крупности	c	3	2	1	—	—	—	—	
	φ	40	38	35	—	—	—	—	
	E	50	40	30	—	—	—	—	
Пески мелкие	c	6	4	2	—	—	—	—	
	φ	38	36	32	28	—	—	—	
	E	48	38	28	18	—	—	—	
Пески пылеватые	c	8	6	4	2	—	—	—	
	φ	36	34	30	26	—	—	—	
	E	38	28	18	11	—	—	—	
Супеси	c	21	17	15	13	—	—	—	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	φ	30	29	27	24	—	—	—	
Суглинки	c	19	15	13	11	9	—	—	$0,25 \leq I_L \leq 0,75$
	φ	28	26	24	21	18	—	—	
	c	47	37	31	25	22	19	—	$0 < I_L \leq 0,25$
	φ	26	25	24	23	22	20	—	
	c	39	34	28	23	18	15	—	$0,25 < I_L \leq 0,50$
	φ	24	23	22	21	19	17	—	
c	—	—	25	20	16	14	12	$0,5 < I_L \leq 0,75$	
φ	—	—	19	18	16	14	12		
Глины	c	—	81	68	54	47	41	36	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	φ	—	21	20	19	18	16	14	
	c	—	—	57	50	43	37	32	$0,25 < I_L \leq 0,50$
	φ	—	—	18	17	16	14	11	
	c	—	—	45	41	36	33	29	$0,5 < I_L \leq 0,75$
	φ	—	—	15	14	12	10	7	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.5

**Наименование величин для характеристики физических свойств грунтов
(по определению Международной ассоциации по механике грунтов
и фундаментостроению — МАМГИФ)**

Величины, обозначающие отношение массы грунта к занимаемому им объему (единицы: $\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{г}/\text{см}^3$, $\text{г}/\text{м}^3$ и т. п.):

— плотность грунта, ρ — отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему;

— плотность сухого грунта ρ_d — отношение массы сухого грунта, исключая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему (включая имеющиеся в этом грунте поры);

— плотность частиц грунта ρ_s — отношение массы сухого грунта, исключая массу воды в его порах, к объему твердой части этого грунта.

Плотность сложения грунта оценивается коэффициентом пористости, плотностью сухого грунта и т. п.

Величины, обозначающие отношение веса грунта к занимаемому им объему (единицы: $\text{Н}/\text{м}^3$, $\text{кН}/\text{м}^3$, $\text{МН}/\text{м}^3$ и т. п.):

удельный вес грунта γ — отношение веса грунта, включая вес воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему (включая поры);

удельный вес сухого грунта γ_d — отношение веса сухого грунта ко всему занимаемому этим грунтом объему;

удельный вес частиц грунта γ_s — отношение веса сухого грунта к объему твердой части этого грунта.

Понятие «масса» применяется во всех случаях, когда имеется ввиду свойство тела или вещества, характеризующее их инерционность и способность создавать гравитационное поле (скалярная величина);

понятие «вес» — в случаях, когда имеется ввиду сила, возникающая вследствие взаимодействия с гравитационным полем (векторная величина).

Масса не зависит от ускорения свободного падения, а вес пропорционален этому ускорению (равен mg).

Масса выражается в килограммах (граммах, мегаграммах, миллиграммах, тоннах и т. д.), а вес, как любая сила — в ньютонах (килоньютонах, меганьютонах, деканьютонах и т. д.).

В качестве характеристики материалов, изделий и конструкций в стандартах, спецификациях, на чертежах приводится их масса, а вес указывается в случаях, когда речь идет о силе воздействия под действием земного притяжения (для объектов, расположенных на Земле).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.6

Параметры грунтов (бытового состояния)

Виды грунтов $\rho_s, \text{т/м}^3$ $W_p, \%$	Значения параметров грунтов				
	Коэффициент пористости e_r	Влажность $W_r, \%$	Удельный вес $\gamma_r, \text{кН/м}^3$	Удельное сцепление $c_r, \text{МПа}$	Угол внутреннего трения $\varphi_r, \text{град. (рад.)}$
1	2	3	4	5	6
Песчаные крупные $\rho_s = 2,65 \text{ т/м}^3$	0,4—0,5	15—18	20,5	0,002	42 (0,73)
	0,5—0,6	19—22	19,5	0,001	40 (0,69)
	0,6—0,7	23—25	19,0	0,000	38 (0,66)
средней крупности $\rho_s = 2,66 \text{ т/м}^3$	0,4—0,5	15—18	20,5	0,003	40 (0,69)
	0,5—0,6	19—22	19,5	0,002	38 (0,66)
	0,6—0,7	23—25	19,0	0,001	35 (0,61)
мелкие	0,4—0,5	15—18	20,5	0,006	38 (0,66)
	0,5—0,6	19—11	19,5	0,004	36 (0,63)
	0,6—0,7	23—25	19,0	0,002	32 (0,59)
пылеватые	0,5—0,6	15—18	21,0	0,008	36 (0,63)
	0,6—0,7	19—22	20,0	0,006	34 (0,59)
	0,7—0,8	23—25	19,5	0,004	28 (0,49)
Глинистые: супеси $\rho_s = 2,68 \text{ т/м}^3$ $W_p < 9,5 \%$	0,4—0,5	15—18	21,0	0,010	30 (0,52)
	0,5—0,6	19—22	20,0	0,007	28 (0,49)
	0,6—0,7	23—25	19,5	0,005	27 (0,47)
суглинки $\rho_s = 2,70 \text{ т/м}^3$ $W_p = 9,5...12,4 \%$	0,4—0,5	15—18	21,0	0,012	25 (0,44)
	0,5—0,6	19—11	20,0	0,008	24 (0,42)
	0,6—0,7	23—25	19,5	0,006	23 (0,40)
$W_p = 12,5...15,4 \%$	0,4—0,5	15—18	21,9	0,042	24 (0,42)
	0,5—0,6	19—22	20,0	0,021	23 (0,40)
	0,6—0,7	23—25	19,5	0,014	22 (0,38)
	0,7—0,8	26—29	19,0	0,007	21 (0,37)
$W_p = 15,5...18,4 \%$	0,5—0,6	19—22	20,0	0,050	22 (0,38)
	0,6—0,7	23—25	19,5	0,025	21 (0,37)
	0,7—0,8	26—29	19,0	0,019	20 (0,35)
	0,8—0,9	30—34	18,5	0,011	19 (0,33)
	0,9—1,0	35—40	18,0	0,008	18 (0,31)
$W_p = 18,5...22,4 \%$	0,6—0,7	23—25	19,5	0,068	20 (0,35)
	0,7—0,8	26—29	19,0	0,034	19 (0,33)
	0,8—0,9	30—34	18,5	0,028	18 (0,31)
	0,9—1,0	35—40	18,0	0,019	17 (0,30)
Глины $\rho_s = 2,74 \text{ т/м}^3$ $W_p = 22,5...26,4 \%$	0,7—0,8	26—29	19,0	0,082	18 (0,31)
	0,8—0,9	30—34	18,5	0,041	17 (0,30)
	0,9—1,1	35—40	17,5	0,036	16 (0,28)
$W_p \geq 26,5 \%$	0,8—0,9	30—34	18,5	0,094	16 (0,28)
	0,9—1,1	35—40	17,5	0,047	15 (0,26)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.7

Характеристики глинистых грунтов по влажности

Степень влажности грунтов	Граница категории, групп по влажности	Коэффициенты увлажнения $K_{увл}$ на границе грунтов		
		несвязных пески, супеси легкие и пылеватые	связных	
			супеси пылеватые и тяжелые, суглинки легкие	суглинки тяжелые, глины
Допустимая	Оптимальная влажность	1,0	1,0	1,0
Средняя	Допустимая влажность	1,25	1,15	1,10
Высокая	Максимальное водонасыщение	1,40	1,45	1,50
Избыточная	Граница текучести	1,55	1,80	2,05

Примечание. Коэффициент увлажнения $K_{увл} = W_e/W_{оп}$, где W_e — влажность естественная, $W_{оп}$ — оптимальная, при стандартном уплотнении.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.8

Коэффициент t_p для определения показателя точности оценки среднего значения характеристик грунта

Число степеней свободы ($n-1$) для R_c и γ , ($n-2$) для s и ϕ	Коэффициент t_p при односторонней доверительной вероятности p_p , равной				
	0,85	0,9	0,95	0,98	0,99
2	1,34	1,89	2,92	4,87	6,96
3	1,25	1,64	2,35	3,45	4,54
4	1,19	1,53	2,13	3,02	3,75
5	1,16	1,48	2,01	2,74	3,36
6	1,13	1,44	1,94	2,63	3,14
7	1,12	1,41	1,90	2,54	3,00
8	1,11	1,40	1,86	2,49	2,90
9	1,10	1,38	1,83	2,44	2,82
10	1,10	1,37	1,81	2,40	2,76
11	1,09	1,36	1,80	2,36	2,72
12	1,08	1,36	1,78	2,33	2,68
13	1,08	1,35	1,77	2,30	2,65
14	1,08	1,34	1,76	2,28	2,62
15	1,07	1,34	1,75	2,27	2,60
16	1,07	1,34	1,75	2,26	2,58
17	1,07	1,33	1,74	2,25	2,57
18	1,07	1,33	1,73	2,24	2,55
19	1,07	1,33	1,73	2,23	2,54
20	1,06	1,32	1,72	2,22	2,53
25	1,06	1,32	1,71	2,19	2,49
30	1,05	1,31	1,70	2,17	2,46
40	1,05	1,30	1,68	2,14	2,42
60	1,05	1,30	1,67	2,12	2,39

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.9

Степень морозной пучинистости грунтов

Наименование грунта по степени морозной пучинистости	Пределы положения z , м уровня грунтовых вод ниже расчетной глубины промерзания грунта					Показатель текучести (консистенции) глинистого грунта I_L	Коэффициент пучения $K_{пч}$
	песок мелкий	песок пылеватый	супесь	суглинок	глина		
Сильнопучинистый	—	—	$z \leq 0,5$	$z \leq 1$	$z \leq 1,5$	$I_L > 0,5$	$K_{пч} \geq 0,05$
Среднепучинистый	—	$z \leq 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2$	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$0,03 \leq K_{пч} < 0,05$
Слабопучинистый	$z \leq 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2,5$	$2 < z \leq 3$	$0 < I_L \leq 0,25$	$0,01 \leq K_{пч} < 0,03$
Практически непучинистый	$z > 0,5$	$z > 1$	$z > 1,5$	$z > 2,5$	$z > 3$	$I_L \leq 0$	$K_{пч} < 0,01$

Примечания. 1 Консистенция глинистых грунтов I_L должна приниматься по их природной влажности, соответствующей периоду начала промерзания (до миграции влаги в результате действия отрицательных температур)

2. Уровень грунтовых вод должен приниматься с учетом прогноза его изменения во времени

3. Крупнообломочные крунты с глинистым заполнителем, содержащим в своем составе более 30% по весу частиц размером менее 0,1 мм, при положении уровня грунтовых вод ниже расчетной глубины промерзания более чем на 1 м должны относиться к среднепучинистым грунтам, а менее 1 м должны относиться к сильнопучинистым.

4 Коэффициент пучения $K_{пч} = h_{пч}/Z_{пр}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.10

Теплофизические характеристики грунтов [78]

Удельный вес γ_r , кН/м ³	Влажность W_r , %	Коэффициент теплопроводности λ_T Вт/(м·К)						Удельная теплоемкость грунтов c_T , Дж/(кг·К)	
		Пески		Супеси		Суглинки и глины			
		талые	мерзлые	талые	мерзлые	талые	мерзлые	талых	мерзлых
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11,77	5	0,46	0,60	—	—	—	—	994,3	907,1
11,77	10	0,72	0,92	0,44	0,52	—	—	1116,5	950,3
13,73	5	0,66	0,80	—	—	—	—	986,8	897,2
13,73	10	1,01	1,26	0,60	0,80	0,51	0,79	1106,0	942,0
13,73	15	1,16	1,45	0,83	1,02	0,65	0,98	1226,1	986,8
13,73	20	—	—	0,98	1,22	0,76	1,09	1345,7	1031,7
13,73	25	—	—	1,07	1,35	0,84	1,16	1465,3	1076,6

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 2.10

15,70	5	0,87	1,06	—	—	—	—	994,3	889,6
15,70	10	1,22	1,57	—	—	—	—	1125,8	942,0
15,70	15	1,45	1,86	1,08	1,28	0,84	1,14	1229,8	968,1
15,70	20	1,58	2,01	1,22	1,50	1,02	1,30	1360,7	1033,6
15,70	25	1,64	2,12	1,35	1,67	1,12	1,44	1478,4	1072,8
15,70	30	—	2,24	1,40	1,80	1,16	1,51	1569,2	1125,2
15,70	35	—	—	1,51	1,92	1,22	1,57	1700,8	1170,7
15,70	40	—	—	—	2,00	1,28	1,64	1831,7	1216,7
15,70	60	—	—	—	—	—	1,70	—	1308,3
17,66	10	1,51	1,86	—	—	—	—	1116,5	930,4
17,66	15	1,80	2,21	1,38	1,52	1,16	1,43	1232,7	976,9
17,66	20	1,92	2,44	1,56	1,77	1,30	1,60	1349,0	1023,4
17,66	25	2,04	2,59	1,66	1,98	1,44	1,78	1488,6	1070,0
17,66	30	—	2,70	1,72	2,12	1,49	1,87	1604,9	1116,5
17,66	35	—	—	1,76	2,24	1,55	1,93	1721,2	1163,0
17,66	40	—	—	—	2,33	1,63	2,00	1843,6	1209,5
17,66	60	—	—	—	—	—	2,09	—	1302,6
19,62	15	2,05	2,56	1,63	1,74	—	—	1235,1	938,8
19,62	20	2,33	2,81	1,81	2,04	1,44	1,74	1360,7	1025,8
19,62	25	2,63	3,16	2,01	2,24	1,57	1,92	1475,8	1067,6
19,62	30	—	—	2,09	2,44	2,67	2,04	1611,0	1109,5
19,62	35	—	—	—	—	2,78	2,16	1716,6	1161,8

Примечание $\rho_T = \gamma_T/g$, в табл. 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 т/м³.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

Комплексная классификация деформаций земляного полотна
железнодорожного пути

Тип, класс, место проявления	Виды деформаций	Начальные формы, сопутствующие деформации	Причины, условия образования
1	2	3	4
1. Пучения, пучины В подбалластных зонах насыпей, выемок	Горбы морозные верховые	Балластные углубления	Глинистые грунты Переувлажнение неождевыми водами
	Полной зоны промерзания	Горбы, впадины, просадки	Неоднородность по простиранию
	Низовые	Впадины, горбы, просадки	Неоднородность по глубине
	Коренные	Горбы, просадки разжижения	Переувлажнение грунтовыми водами
	Наледные бугры	Горбы пучинные, гидроакколиты	Переувлажнение ключевыми, грунтовыми водами
	Бугры набухания	Микротрещины, отдельности	Переувлажнение набухающих грунтов
	Песчаные	Горбы, перекосы, впадины	Накопление песка под постелями шпал

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

1	2	3	4
2. Оседания В подбалластных зонах насыпей, выемок	Просадки	Разжижения, выплески	Переувлажнение дождевыми, тальными водами
	Балластные углубления (ложа, мешки)	Балластные корыта	Уплотнение, выдавливание переувлажненных грунтов
В опорных зонах насыпей	Осадки	Просадки	Уплотнение слабых, увлажненных (лессовых) грунтов
	Осадки с выпирием	Просадки, бугры выпирания	Грунты слабые, заторфованные
3. Смещения В откосных зонах насыпей, выемок	Сплывы вязко-пластические	Оплывины, оплывы, разжижения	Переувлажнение дождевыми водами
	Оползни скольжения, вращения	Трещинообразования, бугры, чаши, смещения, выпор откосов	Крутизна откосов, переувлажнение грунтов
В опорных зонах насыпей	Сдвиги	Трещины, подвижки, смещения	Уклоны основания, водоносные слои, засоленные грунты
	Сползание (с основанием)	Выпор (основания)	Неустойчивые косягоры, грунто-вые воды
4. Разрушения В откосных зонах насыпей	Выдувания грунта	Развевание бровок, дефляция	Ветровая эрозия песчаных, пылеватых грунтов
	Размывы, смывы	Струйчатые промоины	Водная эрозия, суффрозия, абляция
	Подмывы	Вымывание грунта, нарушение покрытий	Абразия речная, озерная, морская
В заоткосных зонах насыпей	Оврагообразование	Размоины, размывы водоотводов, резервов	Большие расходы воды, скорости течения
В опорных зонах насыпей	Расползания	Выпоры откосов, оседания, сколы	Болота, ил, недоуплотненные грунты насыпей
	Развалы	Трещинные блоки, разломы, сколы	Карсты, термокарсты, горные выработки
В подбалластных зонах выемок	Провалы	Осадки, воронки (внезапное проявление)	Карсты, горные выработки, погребенные льды
В подгорных зонах насыпей, выемок	Нарушения удерживающих, регуляционных сооружений	Оседания, подвижки, трещины, размывы	Неблагоприятные гидрогеологические условия, паводковые воды, волновая абразия

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

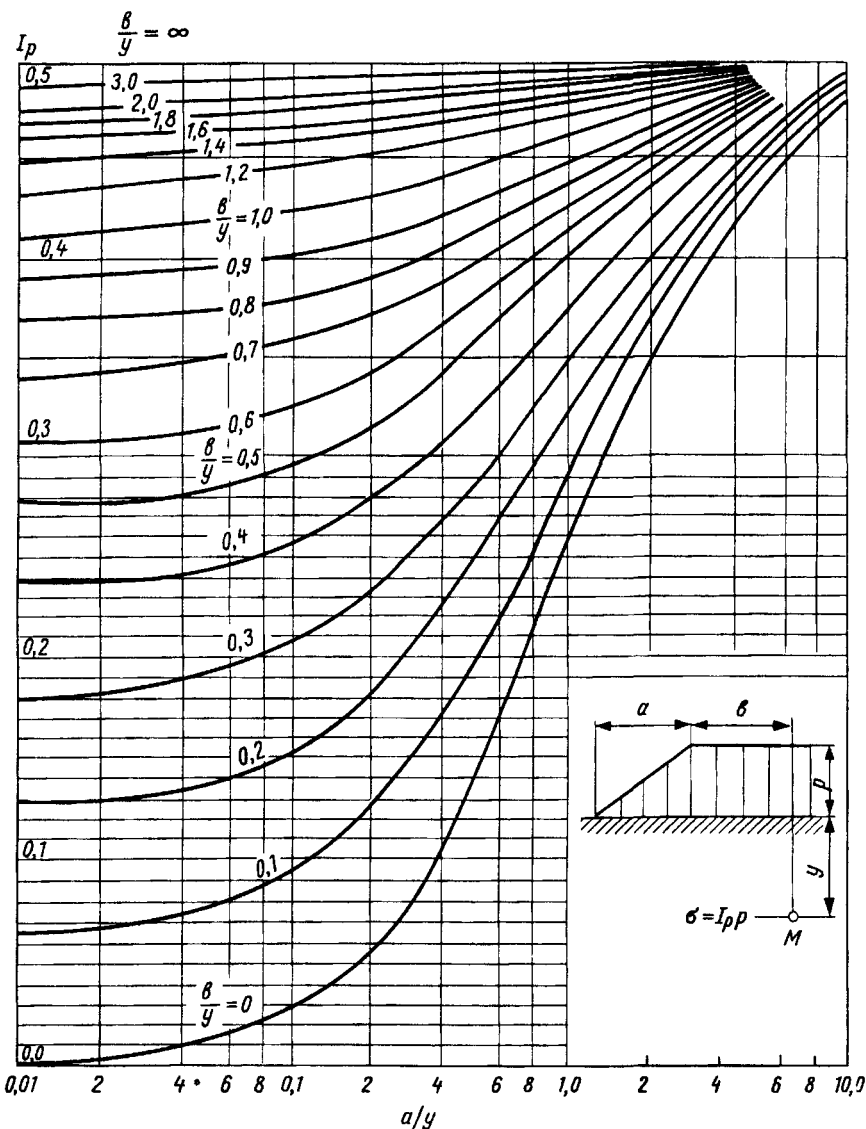
1	2	3	4
5. Загромождения В подбалластных зонах выемок, низких насыпей	Заносы песком, пылью	Наносы песка, пыли	Ветровая эрозия, пыльные бури
	Наледи	Льдообразования	Замерзание грунтовых, ключевых вод
В откосных зонах выемок	Вывалы глыбовые	Трещины дробления, отдельности, камнепады	Горное выветривание (денудация), сейсмика
	Обрушения, завалы	Осыпи, осывы, осыпание	Выветривание аргилитов, других пород
	Оползни откосов	Трещины, бугры, смещения грунтовой массы на ОП	Переувлажнение грунтовыми водами
В нагорных зонах выемок, низких насыпей	Обвалы	Накопление выветрелых пород в логах, на склонах	Избыточное накопление выветрелых пород, сейсмика
	Лавины каменные	Накопление горных пород на склонах, уступах, курумы	Избыточное накопление горных пород, сейсмика
	Лавины снежные	Накопление снега в нагорных логах, на склонах	Избыточное накопление снега, метели, оттепели
	Оползни склонов	Трещины, чаши смещения, выпор, солифлюкция	Неблагоприятные геологические условия, структурные
	Селевые потоки	Накопление пород выветривания в логах	Ливневое увлажнение пород выветривания в логах

Типы пучин [18]

<p style="text-align: center;">Верховые (I типа)</p>	<p>Пучинообразующий ($S_{НП}$) слой в верхней части зоны промерзания, деформации основной площадки. Увлажнение атмосферными водами.</p>
<p style="text-align: center;">Срединные</p>	<p>Пучинообразующий слой в средней части зоны промерзания. Увлажнение атмосферными водами.</p>
<p style="text-align: center;">Полной зоны промерзания (II типа)</p>	<p>Пучинообразующий слой во всей зоне промерзания. Увлажнение атмосферными водами. $Z_{НП}$, $Z_{КП}$ — глубины начала, конца пучинообразования.</p>
<p style="text-align: center;">Коренные</p>	<p>Увлажнение грунтовыми водами.</p>
<p style="text-align: center;">Низовые (III типа)</p>	<p>Пучинообразующий слой в нижней части зоны промерзания. Увлажнение атмосферными (и грунтовыми) водами.</p>
<p style="text-align: center;">Смешанные</p>	<p>Пучинообразующие два слоя, один (под ОП) в верхней, другой в нижней части зоны промерзания. Увлажнение атмосферными (и грунтовыми) водами.</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.3

График $I_p(a/y; b/y)$ для определения напряжений в земляном полотне
(график Остерберга)



ПРИЛОЖЕНИЕ 4.1

Нормативные показатели уплотнения грунтов

Таблица 4.1.1.

Значения минимальных коэффициентов уплотнения грунтов [71, 84]

Вид ОЗП	Глубина расположения слоя от ОП, м, для линий		Коэффициент K_y для линий	
	I—III категорий и дополнительных главных путей	IV категории	I—III категорий и дополнительных главных путей	IV категории
Насыпь				
верхняя часть	до 1,0	до 0,5	0,98/0,95	0,95/0,90
нижняя часть	более 1,0	более 0,5	0,95/0,92	0,95/0,90
основание	0—0,5	0—0,5	0,98/0,95	0,95/0,90
(H_n до 0,5 м)				
Выемка	0—0,5	0—0,5	0,98/0,95	0,95/0,90

Примечания. 1. В знаменателе — для насыпей из однородных песков.

2. Для скоростных (ВСМ) и особогрузонапряженных линий в слое 0,5 м от ОП $K_y = 1,00 \dots 1,02$, для нижележащих слоев 0,98...1,00.

3. Для подъездных путей $K_y = 0,90$.

Таблица 4.1.2

Нормативный запас на осадку насыпи [115]

Характеристики условий	Величина запаса $K_{з0}$ в % от проектной высоты насыпи
1. Насыпи из скальных и крупнообломочных грунтов при послойном возведении насыпи с применением уплотняющих машин	1,0...3,0
2. Насыпи из песчаных и глинистых грунтов, возводимые с коэффициентом уплотнения. $K_y = 0,90$ $K_y = 0,95$	1,0...2,5 0,5...1,0
3. Насыпи из глинистых переувлажненных грунтов	2,0...3,0

Таблица 4.1.3

Коэффициенты, учитывающие влияние крупных частиц при стандартном уплотнении грунтов [115]

Содержание частиц крупнее 5 мм, %	5	10	15	20	25	30	40
K_p	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,13	1,15
K_w	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65

Примечание. K_r — коэффициент, учитывающий влияние крупных частиц на плотность грунта ρ_{dmax} ; K_w — то же, на влажность грунта $W_{оп}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.2

Крутизна откосов насыпей

Виды используемых грунтов	Крутизна откосов при высоте насыпи, м		
	до 6 м	до 12 м	
		в верхней части высотой 6 м	в нижней части 6—12 м
Раздробленные скальные слабыветривающиеся и выветривающиеся крупнообломочные с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности, металлургические шлаки	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Пески мелкие, глинистые грунты (в том числе лессовидные) твердой и полутвердой консистенции, крупнообломочные с глинистым заполнителем такой же консистенции, раздробленные скальные легковыветривающиеся	1:1,5	1:1,5	1:1,75
Глинистые грунты тугопластичной консистенции и крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем такой же консистенции	1:2	По индивидуальному проекту (определяется расчетом)	
Глинистые и пылеватые грунты (в том числе лессовидные) в районах избыточного увлажнения, а также пески однородные и пески пылеватые	1:1,75	1:1,75	1:2
Пески мелкие барханные в районах с засушливым климатом	1:2	1:2	1:2

Примечание. К районам избыточного увлажнения относятся территории, где среднегодовое количество выпадающих осадков значительно превышает испаряемость с поверхности суши, к районам с засушливым климатом — территории, где количество осадков значительно меньше возможной испаряемости (по абсолютной величине меньше 300 мм).

Крутизна откосов выемок

Виды грунтов	Высота откосов, м	Крутизна откосов
Скальные слабыветривающиеся	12	1:0,2
Скальные выветривающиеся	12	1:0,5 — 1:1
Скальные легковыветривающиеся	12	1:1,5
Крупнообломочные, песчаные, глинистые (в том числе лессовидные) твердой, полутвердой, тугопластичной консистенции	12	1:1,5
Глинистые и пылеватые грунты в районах избыточного увлажнения	6	1:2
Пески мелкие (барханные) в засушливых районах	12	1:1,75 — 1:2
Лессы на неорошаемых участках в районах с засушливым климатом	12	1:0,1 — 1:0,5
Лессы вне районов с засушливым климатом	12	1:0,5 — 1:1,5

Примечания. 1. В благоприятных инженерно-геологический условиях в слабыветривающихся грунтах допускаются вертикальные откосы выемок.

2. В скальных выемках в пределах поверхностного (делювиально-элювиального), слоя крутизна откосов принимается с учетом толщины слоя и его прочности

3. У подошвы откосов в скальных легковыветривающихся грунтах предусматривается устройство кювет-траншей шириной 4 м и глубиной 0,6 м; в слабыветривающихся и выветривающихся скальных грунтах при сильной дислоцированности и неблагоприятном расположении поверхностей ослабления предусматриваются улавливающие траншеи с размерными параметрами по расчету.

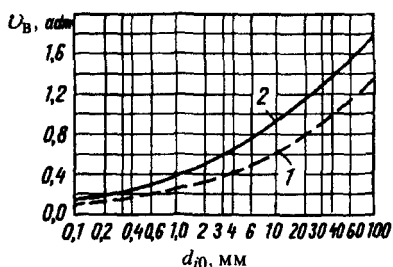
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.1

Допустимые скорости течения воды (средние)

Наименование грунтов, типы покрытий	Средние глубины потока, м					
	0,4	1,0	2,0	3,0		
1	2	3	4	5		
Граниты, базальты, кварциты	15,0	18,0	20,0	20,0		
Песчаник доломитовый, известняк кремнистый, плотный	4,0	5,0	6,0	6,5		
Песчаник известковый, известняк доломитовый, пористый	3,0	3,5	4,0	4,5		
Конгломерат, мергель, сланцы	2,0	2,5	3,0	3,5		
Булыжник	крупный	3,0	3,5	4,0	4,5	
	средний	2,5	3,0	3,5	4,0	
	мелкий	2,0	2,5	3,0	3,5	
Галька	крупная	1,7	2,1	2,4	2,7	
	средняя	1,4	1,6	1,8	2,0	
	мелкая	1,1	1,3	1,5	1,7	
Гравий	крупный	1,0	1,1	1,3	1,4	
	средний	0,8	0,9	1,1	1,2	
	мелкий	0,7	0,8	0,9	1,0	
Песок	крупный	0,5	0,6	0,7	0,8	
	средний	0,4	0,5	0,6	0,7	
	мелкий	0,2	0,3	0,4	0,5	
Глины, суглинки	малоплотные $\rho_d = 1,20 \text{ т/м}^3$	0,35	0,40	0,45	0,50	
	среднеплотные 1,20—1,66	0,65	0,80	0,90	1,00	
	плотные 1,66—2,04	0,95	1,20	1,40	1,50	
	очень плотные 2,04—2,14	1,40	1,70	1,90	2,10	
Травяной покров	отличный	0,8	1,0	1,2	1,5	
	удовлетворительный	0,6	0,8	0,9	1,0	
Одерновка	плашмя	0,9	1,2	1,3	1,4	
	в стенку	1,5	1,8	2,0	2,2	
Мощение камнем	одиночное при размере камня	0,15 м	2,5	3,0	3,5	4,0
		0,20 м	3,0	3,5	4,0	4,5
		0,25 м	3,5	4,0	4,5	5,0
	двойное		3,5	4,0	5,0	5,5
Габионы		4,0	5,0	5,5	6,0	
Каменная наброска	1 слой	3,5	3,8	4,2	4,5	
	2 слоя	4,0	4,2	4,5	5,0	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.3

График допускаемых значений
неразрывающихся донных скоростей $V_{в, adm} = f(d_{ю})$



Кривые 1 — начальных скоростей трогания частиц грунта, 2 — сплошного перемещения грунта

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.4

Коэффициенты гидравлической шероховатости $K_{ш}$

Характер поверхности русла	Состояние поверхности			
	очень хорошее	хорошее	обычное	плохое
Лотки и трубы				
Деревянные лотки	0,010	0,011	0,012	0,014
Шпальные лотки	—	0,013	0,016	0,018
Гладкая бетонная поверхность (бетонные плитки)	0,012	0,014	0,015	0,016
Шероховатая бетонная поверхность	—	0,014	0,016	0,018
Бетонировка цемент-пешкой	0,016	0,019	0,021	—
Бутовая кладка, грубая бетонировка	0,017	0,020	0,025	0,030
Грубая бутовая кладка	0,020	0,025	0,027	0,030
Сухая кладка	0,025	0,030	0,035	0,038
Канавы и искусственные русла				
Грунтовые канавы правильной формы в плотном лессе или мелком гравии (с илистым слоем)	—	0,017	0,018	—
То же в лессе или гравии (с илистой пленкой)	0,017	0,020	0,020	0,025
То же с замощенным контуром: мощение обычным булыжным камнем (одиночное или двойное)	—	0,020	0,022	0,027
То же мощение из крупного камня	0,017	0,022	0,023	0,030
То же габионная кладка	—	0,025	0,027	0,029
Канавы в галечнике	0,025	0,027	0,030	0,033
Грунтовые канавы неправильной формы, заросшие	—	0,027	0,030	0,035
Канавы с грунтовым дном и одернованными откосами	0,028	0,030	0,033	0,035
Канавы с одернованными откосами и мощеным дном	0,025	0,030	0,035	0,040
Покрытия откосов				
Каменная наброска или мощение из рваного камня и щебня	—	0,025	0,030	0,035
Плитные покрытия				
Цементобетонными плитами	0,012	0,014	0,016	0,018
Асфальтобетонными плитами	0,011	0,012	0,013	0,015

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.5

Значения коэффициентов затопления $K_{зт}(h_{п}/H_{ю})$

$\frac{h_{п}}{H_{ю}}$	$K_{зт}$	$\frac{h_{п}}{H_{ю}}$	$K_{зт}$	$\frac{h_{п}}{H_{ю}}$	$K_{зт}$
0,050	0,991	0,640	0,888	0,890	0,644
0,100	0,995	0,660	0,879	0,900	0,621
0,150	0,990	0,680	0,868	0,905	0,609
0,200	0,985	0,700	0,856	0,910	0,596
0,250	0,980	0,710	0,850	0,915	0,583
0,300	0,972	0,720	0,844	0,920	0,570
0,320	0,970	0,730	0,838	0,925	0,555
0,340	0,967	0,740	0,831	0,930	0,540
0,360	0,964	0,750	0,823	0,935	0,524
0,380	0,961	0,760	0,814	0,940	0,500
0,400	0,957	0,770	0,805	0,945	0,488
0,420	0,953	0,780	0,796	0,950	0,470
0,440	0,949	0,790	0,786	0,955	0,446
0,460	0,945	0,800	0,776	0,960	0,421
0,480	0,940	0,810	0,762	0,965	0,395
0,500	0,935	0,820	0,750	0,970	0,357
0,520	0,930	0,830	0,737	0,975	0,319
0,540	0,925	0,840	0,724	0,980	0,274
0,560	0,919	0,850	0,710	0,985	0,229
0,580	0,913	0,860	0,695	0,990	0,170
0,600	0,906	0,870	0,680	0,995	0,100
0,620	0,891	0,880	0,663	1,000	0,000

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.6

Характеристики бетонных, железобетонных, асфальтобетонных плит [4]

Размер плит в плане, м	Толщина плиты, м	Допускаемая скор. течения воды, м/с	Допускаемая высота волны, м	Объем одной плиты, м ³	Масса металла одной плиты, кг	Масса плиты, кг
Бетонные плиты						
1,00 x 1,00	0,16	до 3,0	до 0,7	0,16	0,23	0,400
1,00 x 1,00	0,20			0,20	0,23	0,500
Железобетонные плиты						
2,50 x 3,00	0,15	до 1,0	до 1,5	1,10	70,1	2,750
2,50 x 3,00	0,20			1,48	78,4	3,700
Плиты из обычного железобетона, омоноличенные по контуру						
2,50 x 3,00	0,10	до 6,0	1,0	0,72	66,5/22,4	1,800
2,50 x 3,00	0,12		1,5	0,85	78,3/32,4	2,100
2,50 x 3,00	0,15		2,0	1,07	78,8/38,0	2,700
2,50 x 3,00	0,2		2,5	1,44	93,1/46,4	3,600
2,50 x 1,50	0,10		1,0	0,37	32,4/18,4	0,900
2,50 x 1,50	0,12		1,5	0,45	38,1/28,4	1,100
2,50 x 1,50	0,15		2,0	0,56	38,3/34,0	1,400
2,50 x 1,50	0,20		2,5	0,75	45,2/42,4	1,900
Плиты из предварительно напряженного железобетона, омоноличенные по контуру						
2,50 x 3,00	0,10	до 6,0	1,5	0,72	63,5/33,0	1,800
2,50 x 3,00	0,15		2,0	1,05	95,8/53,0	2,600
2,50 x 3,00	0,17		2,5	1,22	109,7/65,0	3,000
2,50 x 3,00	0,20		3,0	1,44	128,9/65,0	3,600
2,50 x 1,50	0,10		1,5	0,35	34,1/31,2	0,880
2,50 x 1,50	0,15		2,0	0,52	48,2/12,9	1,300
2,50 x 1,50	0,17		2,5	0,62	85,2/14,7	1,600
2,50 x 1,50	0,20		3,0	0,73	64,6/17,2	1,800
Монолитные железобетонные плиты						
5,00 x 5,00	0,15	до 8,0	1,0	3,49	136,7	8,700
5,00 x 5,00	0,20		1,5	4,73	209,7	11,800
5,00 x 5,00	0,25		2,0	6,00	258,0	15,000
6,00 x 6,00	0,15		1,5	5,13	244,6	12,800
6,00 x 6,00	0,25		2,0	8,74	379,7	21,800
7,00 x 7,00	0,15		1,5	7,05	367,2	17,600
7,00 x 7,00	0,20		2,0	9,47	443,4	23,700
7,00 x 7,00	0,30		2,5	14,25	624,0	35,600
8,00 x 8,00	0,15		1,5	9,24	452,3	23,100
8,00 x 8,00	0,20		2,0	12,43	546,2	31,100
8,00 x 8,00	0,30		2,5	18,66	766,4	46,600
10,00 x 10,00	0,15		1,5	14,47	725,6	36,200
10,00 x 10,00	0,20		2,0	19,45	859,8	48,600
10,00 x 10,00	0,25		2,5	24,27	1024,2	60,700
10,00 x 10,00	0,30		3,0	29,23	1436,6	73,100
Асфальтобетонные плиты						
1,00 x 1,00	0,06	до 2,0	0,5	0,060	1,4	0,132
1,00 x 0,60	0,06		0,4	0,036	0,9	0,079
1,00 x 0,40	0,06		0,3	0,024	0,7	0,053
3,90 x 2,90	0,10	до 3,0	0,7	1,130	42,9	2,500
3,90 x 1,40	0,10		0,7	0,550	21,5	1,200

Примечание. В знаменателе — масса закладных деталей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.7

Размеры трубофильтров (конструкции ВНИИЖТа), мм

Форма труб	Диаметр внутренний	Толщина стенок	Длина
Гладкие	50 ± 3	25 ± 3	500 ⁺⁸ ₋₄
	100 ± 3	35 ± 3	500 ⁺⁸ ₋₄
Круглые фальцевые	150 ± 5	50 ± 5	1000 ⁺¹⁰ ₋₅
	200 ± 5	60 ± 5	1000 ⁺¹⁰ ₋₅
С плоской подошвой	150 ± 5	50 ± 5	825 ⁺¹⁰ ₋₅
	200 ± 5	60 ± 5	625 ⁺¹⁰ ₋₅

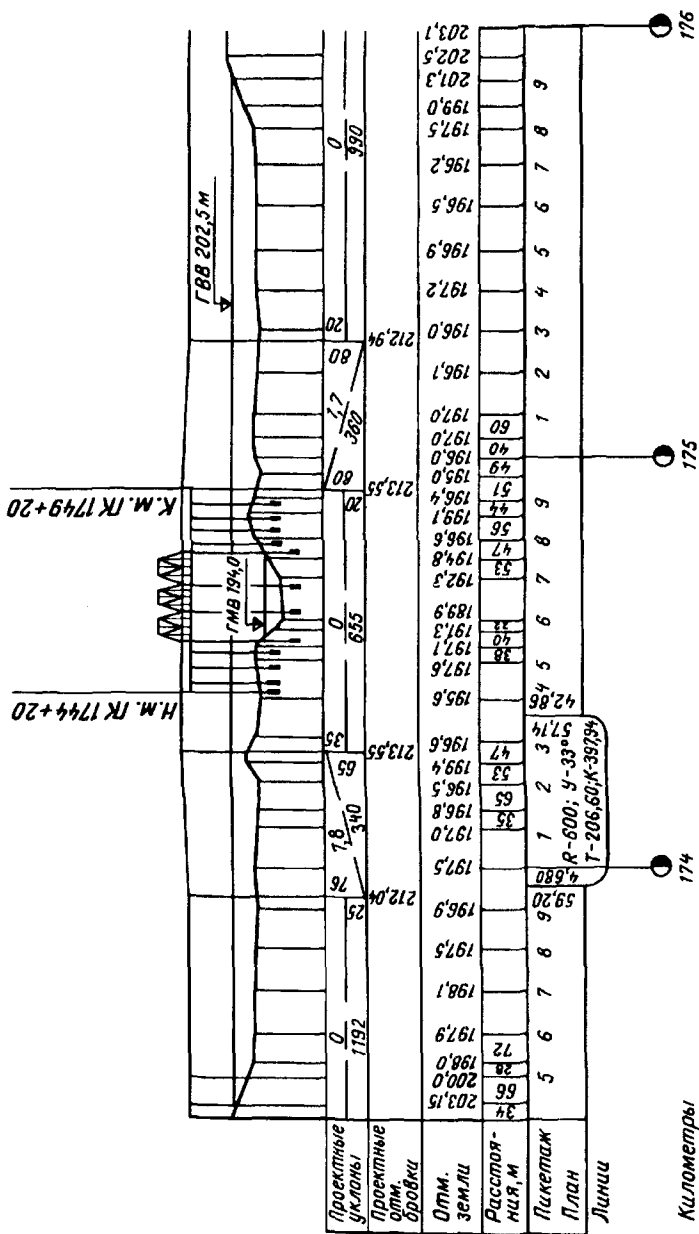
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.8

Характеристики элементов смотровых железобетонных колодцев

Наименование элементов	Условное обозначение элементов	Размеры элементов, мм				Масса, кг
		Диаметр		Высота	Толщина стенки	
		внутренний	наружный			
		$D_{в}$	$D_{н}$	$H_{к}$	$\delta_{ст}$	
Кольцо опорное	КО7-1	580	840	—	70	50
Кольцо стеновое	КС7-1	700	840	290	70	130
	КС7-2	700	840	890	70	
	КС10-1	1000	1160	590	80	380
	КС10-2	1000	1160	890	80	400
	КС15-1	1500	1680	590	90	610
	КС15-2	1500	1680	890	90	670
	КС20-1	2000	2200	590	100	1000
	КС20-2	2000	2200	890	100	980
	КС20-3	2000	2200	1190	100	1470
Плита перекрытия	ПП10-1	700	1160	—	150	250
	ПП15-1	700	1680	—	150	680
	ПП15-2	700	1680	—	150	680
	ПП20-1	700	2200	—	150	1230
	ПП20-2	700	2200	—	150	1230
Плита днища	ПД10-1	—	1500	—	100	440
	ПД15-1	—	2000	—	120	940
	ПД20-1	—	2500	—	130	1470

Примечание. Обозначение элементов согласно ГОСТ 8020-86.

Продольный профиль пойменной насыпи



Километры

ПРИЛОЖЕНИЕ 6.2

Параметры фильтрующих насыпей

Таблица 6.2.1

Значения коэффициента устойчивости основания K_{y0}

Вид грунта	Основание	
	без обратного фильтра	с обратным фильтром
Ил	8	12
Песок мелкий	6	9—10
средний, крупный	5—4	8
Лессовидный	4—3,5	8—7
Глинистый	3,5—3	7—6
Торф	8—5	7—12
Гравелистый	4—3,5	7
Галечниковый	3	6

Таблица 6.2.2

Значения коэффициента фильтрации каменной наброски $K_{фн}$, м/с

Средний размер камней d_{cp} , м	Форма поверхности камней (пористость n)		
	округлая $n = 40\%$	смешанная $n = 45\%$	остроугольная $n = 50\%$
0,05	0,15	0,17	0,19
0,10	0,23	0,26	0,29
0,15	0,30	0,33	0,37
0,20	0,35	0,39	0,43
0,25	0,39	0,44	0,49
0,30	0,43	0,48	0,53
0,35	0,46	0,52	0,58
0,40	0,50	0,56	0,62
0,45	0,53	0,60	0,66
0,50	0,56	0,63	0,70

Таблица 6.2.3

Значения функции $A(\eta_B)$ для прямоугольного сечения

η_B	$A(\eta_B)$	η_B	$A(\eta_B)$	η_B	$A(\eta_B)$
0,15	0,0073	0,71	0,2496	0,905	0,6565
0,20	0,0135	0,72	0,2605	0,910	0,6786
0,25	0,0216	0,73	0,2723	0,915	0,7040
0,30	0,0317	0,74	0,2838	0,920	0,7272
0,35	0,0440	0,75	0,2873	0,925	0,7542
0,40	0,0590	0,76	0,3108	0,930	0,7827
0,45	0,0771	0,77	0,3248	0,935	0,8147
0,50	0,0986	0,78	0,3402	0,940	0,8489
0,55	0,1251	0,79	0,3563	0,945	0,8866
0,60	0,1552	0,80	0,3730	0,950	0,9282
0,61	0,1621	0,81	0,3918	0,955	0,9745
0,62	0,1693	0,82	0,4107	0,960	1,0269
0,63	0,1762	0,83	0,4315	0,965	1,0869
0,64	0,1843	0,84	0,4538	0,970	1,1673
0,65	0,1923	0,85	0,4776	0,975	1,2407
0,66	0,2005	0,86	0,5038	0,980	1,3439
0,67	0,2100	0,87	0,5323	0,985	1,4795
0,68	0,2191	0,88	0,5634	0,990	1,6247
0,69	0,2279	0,89	0,5976	0,995	2,0100
0,70	0,2390	0,90	0,6358	1,000	0,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 7.1

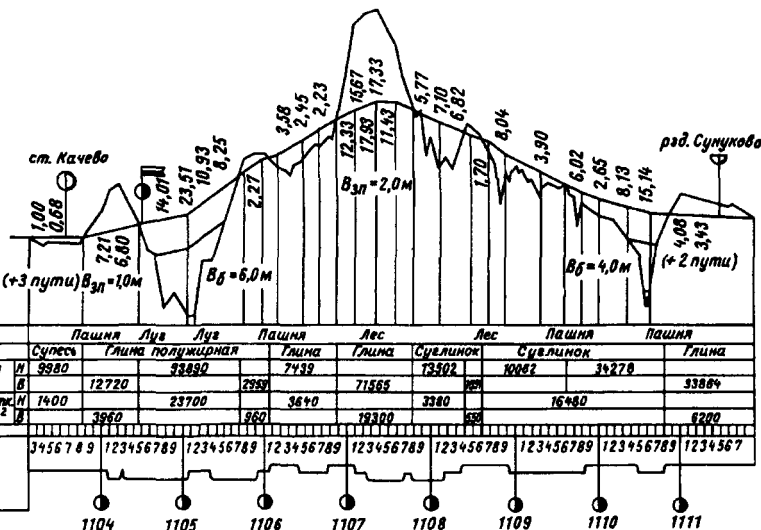
Объемы земляных работ (по типовым поперечным профилям)

Средняя высота насыпи или глубина выемки, $H_{\text{ср}}$, м	Объемы земляных работ V_i (м ³ /п. м) при ширине основной площадки $B_{\text{оп}}$, м					
	6,0		6,5		7,0	
	насыпь	выемка	насыпь	выемка	насыпь	выемка
0,25	2,2	3,6	2,4	3,7	2,5	3,8
0,50	4,0	6,5	4,3	6,7	4,6	6,9
0,75	6,0	9,6	6,4	9,9	6,8	10,3
1,00	8,1	12,8	8,7	13,3	9,2	13,8
1,25	10,5	16,3	11,1	16,9	11,8	17,5
1,50	13,0	19,9	13,8	20,6	14,6	21,3
1,75	15,7	23,7	16,6	24,6	17,5	25,4
2,00	18,6	27,7	19,7	28,7	20,7	29,7
2,50	25,0	36,3	26,3	37,5	27,6	38,7
3,00	32,1	45,6	33,7	47,1	35,2	48,6
3,50	40,0	55,7	41,8	56,6	43,6	59,1
4,00	48,6	66,5	50,7	68,5	52,7	70,5
4,50	58,0	78,1	60,3	80,3	62,6	82,5
5,00	68,1	90,4	70,7	92,9	73,3	95,4
5,50	79,0	103,5	81,8	106,2	84,6	108,9
6,00	90,6	117,3	93,7	120,3	96,7	123,3
6,50	103,0	131,9	106,3	135,1	109,6	138,3
7,00	116,4	147,2	119,9	150,7	123,4	154,1
7,50	130,6	163,3	134,4	167,0	138,1	170,7
8,00	145,6	180,1	149,6	184,1	153,7	188,1
8,50	161,6	197,7	165,9	201,9	170,1	206,1
9,00	178,4	216,0	182,9	220,5	187,4	225,0
9,50	196,1	235,1	200,9	239,8	205,6	244,5
10,00	214,6	254,9	219,7	259,9	224,7	264,9
11,00	254,4	296,8	259,9	302,3	265,4	307,8
12,00	297,6	341,7	303,7	347,7	309,7	353,7
13,00	344,6	389,6	351,2	396,1	357,7	402,6
14,00	395,6	440,5	402,7	447,5	409,7	454,5
15,00	450,6	494,4	458,2	501,9	465,7	509,4

Примечание. Объемы V_i в таблице для ПП на прямых при отсутствии косогорности, при крутизне откосов насыпей высотой до 6 м — 1:1,5, от 6 до 12 — 1:1,75; более 12 м — 1:2,0; для выемок — 1:1,5.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7.2

Продольный профиль земляного полотна (вторые пути)



ПРИЛОЖЕНИЕ 7.3

Технические характеристики машин для земляных работ

Характеристики экскаваторов в соответствии с буквенно-цифровым обозначением их марки [73]

Первые буквенные обозначения:

ЭО — экскаваторы одноковшовые универсальные;

ЭТР — экскаваторы траншейные и канавокопатели роторные, шнекороторные и фрезерные,

ЭТЦ — экскаваторы траншейные цепные;

ЭР — экскаваторы роторные универсальные;

ЭМ — экскаваторы непрерывного действия поперечного копания;

1-я цифра — номер размерной группы. Номера размерной группы 4, 5, 6, 7 и 8 соответствуют экскаваторам с ковшом вместимостью ковша 0,65; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0 м³.

2-я цифра — номер типа ходового устройства;

1 — гусеничный ход (нормальный);

2 — гусеничный ход (уширенный);

3 — пневмоколесный ход;

4 — специальные шасси автомобильного типа;

5 — шасси грузовых автомобилей;

6 — навесной на автомобиль или трактор;

7 — прицепной.

3-я цифра — тип привода рабочего оборудования:

1 — механическое;

2 — гидравлическое;

3 — телескопическое.

4-я цифра — номер модели;

А, Б — буквенные обозначения очередной модификации;

ХЛ (с), Т — буквенные обозначения климатического исполнения.

Таблица 7 3 1 а

Технические и экономические характеристики экскаваторов

Марка, тип привода	Вместимость ковша, м ³ (основной ковш)	Мощность двигателя, кВт	Ходовое оборудование	Скорость передвижения, км/ч	Наибольшая глубина копания, м	Наибольшая высота выгрузки, м	Масса, т
ЭО-2621 В-2 Гидравлический	0,25	44	На базе трактора	19	3,5	2,5	6,1
ЭО-2624 Гидравлический	0,25	58,8	То же	19	4	3	7,25
ЭО-3211-Д Механический	0,45	37	Гусеничное	1,15 2,92	5,02	5,6	12,7
ЭО-3322 Е Гидравлический	0,5	55	Пневмоколесное	19,5	4,4	4,9	12,45
ЭО-3323 Гидравлический	0,63	55	То же	19,4	4,5	4,7	14
ЭО-3333 Гидравлический	0,63	59	»	19,2	4,5	4,7	14
ЭО-4112 Механический	0,65	55 60	Гусеничное	3,15	7,9	5,6	20,45
ЭО-4121 Б Гидравлический	1,0	95,7	То же	2,5	5,8	5	23,5
ЭО-4125 Гидравлический	1,0	95,7	»	2,5	6,7	5,5	25
ЭО-4321 Б Гидравлический	0,8	73,6	Пневмоколесное	20	5,5	—	19,5
ЭО-5124 Гидравлический	1,6	125	Гусеничное	2,25	6,55	5,1	38,7
ЭО-5123 ХЛ Гидравлический	1,6	110	То же	2,2	6,2	5,1	38,9
ЭО-2503 В Электрический	2,5	160	»	1,23	10	7	94
ЭО-2502 БХЛ-2 Электрический	2,5	220	»	1,23	10	—	94
ЭО-6122 А Гидравлический	2,5	2 x 75	»	1,5	10,7	5,3	56,2

Таблица 7 3 1 б

**Технические и экономические характеристики экскаваторов
непрерывного действия**

Модель	Базовый двигатель	Мощность двигателя, кВт	Размеры траншеи, м		Рабочая скорость, м/ч	Масса, т	Число часов работы, ч/год
			глубина	ширина			
Экскаваторы траншейные цепные							
ЭТЦ-165А	МТЗ-82	58	1,6	0,2	20 8000	5,8	1375
ЭТЦ-252	ТТ-4	81	2,5	2,8	5 150	18,6	1650
ЭТЦ-208В	Т-130МГ	118	2,0	0,6	125 340	24,2	2400
Экскаваторы траншейные роторные							
ЭТР-134	ТТ-4	81	1,3	0,28	10 640	18,3	1650
ЭТР-224А	Т-130МГ	118	2,2	1,75	10 300	31,5	1650
ЭТР-253А	ДЭТ-250М	243	2,5	3,2	20 350	61,8	3075

Таблица 7 3 2

Характеристики автогрейдеров и грейдер-элеваторов

Показатели	Автогрейдеры				Грейдер-элеватор
	ДЗ-122А	ДЗ-143	ДЗ-140	ДЗ-98А	ДЗ-507А
Мощность, кВт	99	100	184—220	184	121
Отвал, м					
длина	3,72	3,74	4,8	4,25	—
высота	0,62	0,62	0,8	0,72	—
опускание	0,25	0,25	0,45	0,5	—
Угол резания, град	30—70	30—70	30—70	30—70	—
Скорость, км/ч	43	43	40	47	20
Масса, т	14,37	13,5	26,6	19,5	6,5 (без трактора)

Таблица 7 3 3

Характеристики автосамосвалов

Показатели	ЗИЛ ММЗ 4502	МАЗ 5549	КамАЗ 5511	КрАЗ 256Б1	БелАЗ 540А	Татра 14851М	Магirus 290Д
Грузоподъемность, т	5,8	8	10	12	27	15	16,6
Масса, т	4,8	7,2	9	10,9	21	10,7	7,7
Вместимость кузова, м ³	3,8	5,1	7,2	6,0	15	9	9,5
Наибольшая скорость, км/ч	90	75	80	65	55	70	73
Длина, м	5,5	5,8	7,1	8,1	7,2	7,2	7,7
Ширина, м	3,3	3,4	2,8	4,1	3,6	2,7	2,8
Мощность, кВт	110	132	154	177	265	157	229

Таблица 7.3.4

Характеристики скреперов

Показатели	Прицепные				Самоходные		
	ДЗ-79	ДЗ-77А-1	ДЗ-149-5	ДЗ-172.1	ДЗ-357г	ДЗ-87-1А	ДЗ-13Б ¹
Вместимость ковша, м ³	15	8,8	8,8	8,8	9	4,5	16
Трактор	Т-330	Т-130МН-2	К-701	Т-170.00.2	МоАЗ-546П	Т-150К	БелАЗ-531М
Ширина резания, м	3,02	2,6	2,85	2,75	2,82	2,43	3,43
Заглубление, м	0,31	0,35	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2
Грузоподъемность, т	29	16	16,5	16	16,4	9,8	30
Толщина отсыпаемого слоя, м	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,15—0,51
Скорость движения, км/ч	16,4	10,5	33,8	10,5	30	30	50
Масса, т	18,6	9,8 (без трактора)	22,7	23,41	19,6	12,3	36
Производительность эксплуатационная среднечасовая, м ³ /ч	<u>53,3</u> 31,3	<u>29,8</u> 16,8	<u>41,8</u> 24,2	<u>29,8</u> 16,8	<u>30,7</u> 24,3	<u>18,9</u> 15,4	<u>67,1</u> 54,7

¹ С системой «Копир-Стабилоплан — 10Л».

Таблица 7.3.5

Характеристики бульдозеров

Показатели	ДЗ-171.1	ДЗ-42	ДЗ-110В	ДЗ-109Б	ДЗ-171.5 ¹	ДЗ-132-1	ДЗ-101А	ДЗ-141ХЛ	ДЗ-133 ²
Трактор	Т-170	ДТ-75	Т-130МГ	Т-130МГ	Т-170	ДЭТ-250М	Т-4АП	Т-500	МТЗ-80
Мощность, кВт	125	66	118	118	125	243	96	368	55
Заглубление отвала, м	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	0,2
Габаритные размеры, м:									
длина	5,6	5	5,5	5,7	5,6	7,5	5,03	9,5	5,23
ширина	3,24	2,52	3,3	4,1	3,24	4,55	2,56	4,8	2,15
высота	3,15	2,33	3,3	3,1	3,15	3,22	2,86	4,3	2,85
Отвал:									
длина, м	3,22	2,52	3,22	4,12	3,22	1,55	2,8	4,8	2,1
высота, м	1,3	0,8	1,3	1	1,3	1,7	1,1	2	0,65
Скорость, км/ч	10,1	11,2	10,3	12,5	10,1	15,7	9,3	13	33
Масса, т	15,6	7	16,6	16,3	16	33,7	9,9	61,3	4,4

¹ Оборудован автоматической системой «Копир-Стабилоплан».

² Бульдозер-погрузчик грузоподъемностью 0,75 т, 6 сменных рабочих органов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7.4

**Значения нормально распределенных (нормированных)
случайных чисел (НРСЧ)[37]**

-0,202	-1,303	-0,671	-0,140	-0,018	1,565	-0,284	-0,622	2,073	0,481
0,420	-1,103	0,176	1,099	-0,092	-0,482	0,543	-0,218	-1,683	2,836
2,417	1,181	-0,168	-0,238	0,560	-1,847	-0,061	0,578	0,513	2,014
0,260	-0,580	0,539	0,955	-1,128	0,730	0,979	1,812	0,195	1,322
-0,353	-0,151	-1,592	-1,213	0,189	-1,014	-0,678	-0,412	0,165	0,101
-2,555	-0,712	0,567	-0,085	1,792	0,116	0,252	-1,676	0,121	-0,346
0,666	-0,149	1,359	-0,760	0,214	0,446	0,682	0,584	-0,126	0,662
0,077	0,526	-0,783	-1,950	0,854	0,084	0,552	-0,757	-1,108	0,578
-1,365	-0,027	-0,251	-0,273	0,494	-0,022	0,383	-1,253	-0,728	0,194
1,833	-0,154	1,804	-0,414	0,103	0,759	0,054	-0,504	0,066	1,647
0,308	2,537	1,220	-1,250	-0,371	-1,210	0,906	-0,604	-1,361	-0,519
0,768	0,132	1,464	-0,428	0,182	-1,792	0,864	0,483	-1,799	-0,349
-0,957	0,265	0,724	0,055	0,885	-0,379	0,694	-1,448	-0,672	0,209
-0,094	-0,957	-0,373	-0,792	0,086	-0,134	1,493	-0,210	1,830	-0,109
0,148	-0,539	0,397	0,362	-0,245	1,194	-0,746	0,242	0,197	1,375
-0,661	-0,654	-0,379	-0,759	0,804	0,282	-1,317	-0,219	-0,318	-0,580
1,231	-0,337	-0,125	-1,373	-0,535	0,119	0,776	-0,254	0,598	1,200
-1,117	-0,871	-0,187	-0,543	0,421	0,311	0,493	0,574	-0,145	-2,232
0,551	0,335	-1,746	0,235	1,455	0,251	1,024	0,062	0,009	0,676
0,743	1,076	0,766	-0,052	1,194	0,517	-0,401	1,292	-0,280	0,540
-0,329	0,277	1,736	0,175	-0,401	0,665	0,479	1,322	0,072	-0,867
-1,264	0,970	-0,639	-0,761	-0,502	-1,559	0,249	0,119	-0,065	-0,812
-2,092	1,610	-1,432	-1,071	0,642	-0,759	-2,276	0,133	-0,976	1,506
-1,447	-0,154	1,468	0,032	-0,107	0,327	-0,378	0,055	-0,521	-1,400
0,018	0,533	0,557	0,593	-0,737	0,189	-1,876	-0,140	-1,380	-0,303
-1,445	1,357	-1,657	-0,837	-1,417	0,548	-0,423	0,398	0,167	0,147
0,002	1,537	0,113	-1,008	1,080	-0,772	-0,368	-0,290	2,146	-0,539
0,576	-1,201	-0,108	0,334	0,659	1,192	0,119	1,861	0,856	-0,018
0,108	-0,386	0,228	0,166	-1,169	1,099	-0,914	-0,462	1,132	-0,266
0,233	-1,043	0,852	-0,746	0,046	0,395	0,735	-1,526	1,065	1,450

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Теплофизические характеристики материалов

Таблица 8.1

Коэффициенты промерзаемости материалов (подушек, покрытий, балласта)

Материалы		Значения $K_{пр} = K_m$ при грунтах земляного полотна		
		супеси, пылеватые пески, легкие суглинки	тяжелые суглинки, глины	
Песок, средний, крупный,	$M_k = 3-4$	1,10—1,15	1,05—1,10	
Песчано-гравийные смеси,	$M_k = 4-5$	1,20—1,25	1,15—1,20	
Карьерный гравий, щебень,	$M_k = 5-6$	1,35—1,50	1,25—1,35	
	$M_k = 6-7$	1,60—1,70	1,50—1,60	
Асбестовые отходы ($W = 9-11\%$, $\gamma = 17-19 \text{ кН/м}^3$),	$M_k = 2,5-3,5$	0,95—1,00	0,90—0,95	
	$M_k = 3,5-5,0$	1,00—1,05	0,95—1,00	
Шлаки:				
котельные, топочные (в т. ч. электростанций), ($W = 12-18\%$, $\gamma = 10-12 \text{ кН/м}^3$), M_k до 4,0		0,80—0,85	0,75—0,80	
металлургические (гранулированные) черной металлургии, доменные ($W = 20-25\%$, $\gamma = 14-17 \text{ кН/м}^3$), $M_k = 3,5-4,5$		0,75—0,80	0,70—0,75	
цветной металлургии, доменные ($W = 8-10\%$, $\gamma = 18-20 \text{ кН/м}^3$), $M_k = 3,5-4,5$		0,70—0,75	0,65—0,70	
Грунты при $W_r, \%$	15—20	1,00	0,95	
	20—25	1,05	1,00	
	25—30	1,10	1,05	
Пенопласты [102] при $\lambda_t, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Толщина покрытия $l_{пп}, \text{ м}$			
	0,05	0,10	0,15	0,20
0,040	0,070	0,090	0,110	0,120
0,045	0,075	0,095	0,115	0,130
0,050	0,085	0,110	0,125	0,150
0,055	0,090	0,115	0,135	0,160
Торфоплиты гидрофобные				
0,065	0,130	0,150	0,170	0,200

Примечание. При W асбоотходов, шлаков на 5—8% меньше указанной, K_m снижается на 0,05. M_k — модуль крупности

Таблица 8.2

Характеристики материалов для термопокрытий

Марка пенопласта [102]	Удельный вес σ , МПа	Предел прочности на сжатие γ , кН/м ³	Коэффициент λ_T , Вт/(м·К) при сроке службы	
			10 лет	25 лет
ПС-1-100	1,00 + 0,20	0,80	0,042	0,052
ПС-1-70	0,70 + 0,20	0,30	0,037	0,046
ПС-4-60	0,60 + 0,20	0,30	0,036	0,045
ПХВ-1-115	1,15 + 0,15	0,70	0,045	0,057
ПХВ-1-85	0,85 + 0,15	0,40	0,043	0,053
ПСБС-25	0,25 + 0,05	0,20	0,031	0,038
Торфоплиты	0,20 + 0,02	0,4—0,6	0,064	—

Примечание. Размеры пенопластовых плит от 0,85 x 0,85—1,00 x 1,00 до 2,00 x 1,20—2,00 x 1,60 м, толщина от 0,05 до 0,10 м, торфоплит гидрофобных (водостойких) 1,00 x 1,00 м, толщина от 0,03 до 0,09 м (ГОСТ 4861-74)

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Единицы физических величин СИ

Таблица 9.1

Единицы физических величин (согласно СН 528-80)

Величина		Единицы СИ		
наименование	размерность	наименование	обозначение	соотношение единиц
1	2	3	4	5
Длина l, L	L	метр	м	1 км = 1000 м = 10 ³ м 1 см = 10 ⁻² м 1 мм = 10 ⁻³ м
Площадь F	L^2	квадратный метр	м ²	1 км ² = 10 ⁶ м ² 1 га = 10 ⁴ м ²
Объем V	L^3	кубический метр	м ³	1 л = 10 ⁻³ м ³ 1 см ³ = 10 ⁻⁶ м ³
Плоский угол α	—	радиан	рад	1° = 1,745329 · 10 ⁻² рад 1' = 2,908882 · 10 ⁻⁴ рад 1" = 4,848137 · 10 ⁻⁶ рад
Время t, T	T	секунда	с	1 мин = 60 с 1 ч = 3600 с 1 сут = 86400 с
Скорость V	LT^{-1}	метр в секунду	м/с	1 км/ч = 0,278 м/с 1 м/с = 3600 м/ч = 3,6 км/ч
Ускорение a	LT^{-2}	метр в секунду в квадрате	м/с ²	1 см/с ² = 0,01 м/с ²
Масса m, M	M	килограмм	кг	1 т = 1000 кг = 10 ³ кг 1 кг = 10 ⁻³ т

Таблица 9.1. (продолжение)

1	2	3	4	5
Плотность ρ (плотность массы) плотность грунта ρ_{Γ} сухого грунта ρ_d частиц грунта ρ_s	$L^{-3}M$	килограмм на кубический метр	кг/м ³	1 т/м ³ = 1000 кг/м ³ = 10 ³ кг/м ³
Линейная плотность ρ_l	$L^{-1}M$	килограмм на метр	кг/м	1 т/м = 1000 кг/м = 10 ³ кг/м 1 кг/см = 100 кг/м = 10 ² кг/м
Поверхностная плотность ρ_n	$L^{-2}M$	килограмм на квадратный метр	кг/м ²	1 т/м ² = 10 ³ кг/м ² 1 кг/см ² = 10 ⁴ кг/м ²
Сила P, Q нагрузка вес	LMT^{-2}	ньютон	Н, кН, МН	1 тс = 9,81 · 10 ³ Н ≈ 1,0 кН 1 кгс = 9,81 Н ≈ 10 Н
Линейная нагрузка ρ_l	MT^{-1}	ньютон на метр	Н/м кН/м,	1 тс/м = 9,81 · 10 ³ Н/м ≈ 1,0 кН/м 1 кгс · м = 9,81 Н/м ≈ 10 Н/м
Поверхностная нагрузка ρ_n	$L^{-1}MT^{-2}$	ньютон на квадратный метр	Н/м ² , кН/м ² , МН/м ²	1 тс/м ² = 9,81 · 10 ³ Н/м ² ≈ 1,0 кН/м ² 1 кгс/см ² = 9,81 · 10 ⁴ Н/м ² ≈ ≈ 100 кН/м ² ≈ 0,1 МН/м ²
Удельный вес грунта γ_{Γ} сухого γ_d частиц γ_s	$L^{-2}MT^{-2}$	ньютон на кубический метр	Н/м ³ , МН/м ³ , кН/м ³	1 тс/м ³ = 9,81 · 10 ³ Н/м ³ ≈ 10 кН/м ³ 1 кгс/м ³ = 9,81 Н/м ³ ≈ 10 Н/м ³ 1 гс/см ³ = 9,81 · 10 ³ Н/м ³ ≈ 10 кН/м ³
Момент силы M_c	L^2MT^2	ньютон-метр	Н · м, кН · м	1 тс · м = 9,81 · 10 ³ Нм ≈ 10 кНм 1 кгс · м = 9,81 Нм ≈ 10 Нм
Давление p Напряжение σ (механическое) Модуль упругости, Сцепление c	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па, кПа, МПа	1 тс/м ² = 9,81 · 10 ³ Па ≈ 10 кПа 1 кгс/м ² = 9,81 Па ≈ 10 Па 1 кгс/см ² = 9,81 · 10 ⁴ Па ≈ ≈ 100 кПа ≈ 0,1 МПа 1 гс/см ² = 9,81 · 10 Па ≈ 100 Па
Энергия A Работа	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж, кДж	1 тс · м = 9,81 · 10 ³ Дж ≈ 10 кДж 1 кгс · м = 9,81 Дж ≈ 10 Дж
Мощность P	L^2MT^{-1}	ватт	Вт, МВт, кВт	1 тс · м/с = 9,81 · 10 ³ Вт ≈ 10 кВт 1 кгс · м/с = 9,81 Вт ≈ 10 Вт 1 л. с. = 735,5 Вт 1 ккал/ч = 1,16 Вт 1 кал/с = 4,2 Вт
Массовый расход q_T	MT^{-1}	килограмм в секунду	кг/с	1 кг/ч = 0,278 · 10 ⁻³ кг/с 1 кг/с = 3600 кг/ч
Объемный расход q_v	L^3T^{-1}	кубический метр в секунду	м ³ /с	1 м ³ /ч = 0,278 · 10 ⁻³ м ³ /с 1 м ³ /сут = 0,0116 · 10 ⁻³ м ³ /с
Коэффициент фильтра- ции K_{Φ}	LT^{-1}	метр в секунду	м/с	1 м/сут = 0,0116 · 10 ⁻³ м/с 1 м/с = 86,4 · 10 ⁻³ м/сут
Градиент давления	$L^{-2}MT^{-2}$	паскаль на метр	Па/м	
Модуль стока	LT^{-1}	метр в секунду	м/с	1 л/(м ² · с) = 10 ⁻³ м/с 1 л/(км ² · с) = 10 ⁻⁹ м/с
Количество теплоты Q_T	L^3MT^{-3}	джоуль	Дж, кДж	1 кал = 4,187 Дж 1 ккал = 4,2 кДж

Таблица 9.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
Термодинамическая температура	θ	кельвин	К	
Теплоемкость c_T	L^3MT^{-1}	джоуль на кельвин	Дж/К кДж/К	1 Дж/°C = 1 Дж/К; 1°C = 1К
Удельная теплоемкость c_y	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	1 Дж/кг °C = 1 Дж/(кг·К) 1 кал/(г·°C) = 4,2 · 10 ³ Дж/(кг·К) 1 ккал/(кг·°C) = 4,2 · 10 ³ Дж/(кг·К)
Теплопроводность λ_T	$LMT^{-3}\theta^{-1}$	ватт на метр-кельвин	Вт/(м·К)	1 Вт/(м °C) = 1 Вт/(м·К) 1 кал/(см·с·°C) = 420 Вт/(м·К) 1 ккал/(м·ч·°C) = 1,16 Вт/(м·К)
Температуропроводность a_m	L^2T^{-1}	квадратный метр на секунду	м ² /с	

Таблица 9.2

Перечень множителей и приставок для образования кратных и дольных единиц

Множители		Наименование приставок	Обозначения
больше 0	меньше 0		
10 ¹²	—	тера	Т
10 ⁹	—	гига	Г
10 ⁶	—	мега	М
10 ³	—	кило	к
10 ²	—	гекто	г
10	—	дека	да
—	10 ⁻¹	деци	д
—	10 ⁻²	санти	с
—	10 ⁻³	милли	м
—	10 ⁻⁶	микро	мк
—	10 ⁻⁹	нано	н
—	10 ⁻¹²	пико	п

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация расчетов транспортных сооружений / А.С. Городецкий, В.И. Заворицкий, А.И. Ланух-Ляшенко и др. М.: Транспорт, 1989. 232 с.
2. Автоматизированное проектирование организации строительства железных дорог / С.П. Першин, М.И. Иванов, А.Ф. Акуратов и др. М.: Транспорт, 1991. 261 с.
3. Альбом водоотводных устройств на железных и автомобильных дорогах общей сети Союза ССР. N 819./ Главтранспроект, М., 1971. Ч. 1. 134 с., ч. 2. 259 с.
4. Альбом конструкций креплений откосов земляного полотна железных дорог общей сети Союза ССР N 750 / Мосгипротранс М.: Главтранспроект, 1970. 197 с.
5. Басин Е.В., Луцкий С. Я., Тайц В.Г. Организация строительства железнодорожного пути в сложных природных условиях / Под ред. С.Я. Луцкого. М.: Транспорт, 1992. 288 с.
6. Борьба с пучинами на железных дорогах / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1965. 215 с.
7. Борьба с оползнями, обвалами и размывами на железных дорогах Кавказа / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1961. 168 с.
8. Бредюк Г.П., Палькин Ю.С. Проектирование земляного полотна на вечномёрзлых грунтах: Уч. пособие / НИИЖТ. Новосибирск, 1986. 88 с.
9. Вопросы сооружения и эксплуатации насыпей на болотах / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1965. 160 с.
10. Временные методические указания по расчету устойчивости эксплуатируемых насыпей и проектированию контрбанкетов. / ЦП МПС. М.: Транспорт, 1979. 32 с.
11. Геотехника в транспортном строительстве: Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. Днепропетровск, 1988. 93 с.
12. Гольдштейн М.Н., Царьков А.А., Черкасов И.И. Механика грунтов, основания и фундаменты.: Учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1981. 320 с.

13. Грицык В.И. Проектирование пойменной насыпи, оздоровления выемки: Метод. пособие / ВЗИИТ. М., 1983. Ч. 1—43 с., ч. 2—37 с.
14. Грицык В.И. Алгоритмы итеративной оптимизации в проектировании объектов земляного полотна // Вестник ВНИИЖТа, 1992. № 5. С. 5—9.
15. Грицык В.И. Классификация деформаций земляного полотна // Путь и путевое хозяйство. 1991. № 1. С. 31—32.
16. Грицык В.И. Метод расчета противопучинных конструкций / Повышение уровня использования и надежности железнодорожного пути // Межвуз. сб. науч. тр. М.: МИИТ, 1988. Вып. 796. С.42—51.
17. Грицык В.И. Параметрический анализ устойчивости откосов при оптимальном проектировании объектов земляного полотна / Повышение надежности железнодорожного пути // Межвуз. сб. науч. тр. М.: МИИТ, 1992. Вып. 844. С. 34—45.
18. Грицык В.И. Проектирование и расчеты противопучинных конструкций: Уч. пособие./ УЭМИИТ, Свердловск: 1975. 103 с.
19. Грицык В.И. Устройство для разбивки и съемки земляного полотна. А.с. № 1770749 (СССР). Бюл. ГКИ. 1992, № 39.
20. Грицык В.И., Харламов Ю.Т., Карманов В.В. Противопучинная подушка. А.с. № 347386 (СССР). Бюл. ГКИ. 1972, № 24
21. Грицык В.И., Цвелодуб Б.И. Механизированное укрепление земляного полотна травосеянием. М.: Транспорт, 1972. 128 с.
22. Джоунс. К. Д. Сооружения из армированного грунта / Пер. с англ., В. С. Забавина. М.:Стройиздат, 1989. 280 с.
23. Дойл У. Табличный процессор Суперкалк для персонального компьютера / Пер. с англ. Под ред. Э.Б. Ершова. М.: Финансы и статистика, 1987. 320 с.
24. Дренажные сооружения железнодорожного земляного полотна /ЦП МПС. М.: Транспорт, 1976. 88 с.
25. ЕНиР. Сборник 2. Земляные работы. Вып. 1. Механизированные и ручные земляные работы / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1988. 224 с.
26. Железнодорожное строительство. Организация и планирование. Учеб. для вузов / Жинкин Г.Н., Прокудин И. В., Спиридонов Э. С., Грачев И. А.; Под ред. Г. Н. Жинкина и И. В. Прокудина. М.: Транспорт, 1995. 287 с.
27. Железнодорожное строительство. Технология и механизация: Учеб. для вузов./Першин С. П., Зензинов Н. А., Фищуков М. А., Щадрин Г. Н. М.: Транспорт, 1982. 407 с.
28. Железные дороги в таежно-болотистой местности /Под. ред. Г. С. Переселенкова. М : Транспорт, 1982. 290 с.
29. Жинкин Г.Н., Луцкий С. Я., Спиридонов Э. С. Строительство железных дорог: Учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1995. 208с.
30. Жинкин Г. Н., Бабич В. В. Применение математических методов в планировании железнодорожного строительства М.: Транспорт, 1973. 168 с.
31. Закиров Р.С. Железные дороги в песчаных пустынях. М.: Транспорт, 1980. 221 с.

32. Защита земляного полотна от горных рек / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1975. 142 с.
33. Защита земляного полотна от размывов, обвалов и оползней / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1970. 121 с.
34. Земляное полотно в районах распространения легковыветривающихся скальных пород. Стабильность высоких насыпей. / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1977. 142 с.
35. Земляное полотно вторых путей / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1974. 136 с.
36. Земляные работы. Справочник строителя / Под ред. Л. В. Гриншпуна. М.: Стройиздат, 1992. 352 с.
37. Золотарь И. А. Экономико-математические методы в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1974. 248 с.
38. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты (ВСН 61—89). М.: Транспорт, 1990. 208 с.
39. Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути / ЦП МПС 3511, М.: Транспорт, 1979. 81 с.
40. Инструкция по содержанию земляного полотна на вечномерзлых грунтах / Мосгипротранс. Тында: БАМ, 1993. 82 с.
41. Инструкция по исправлению железнодорожного пути на пучинах / ЦП МПС. М.: Транспорт, 1969.
42. Инструктивные указания по применению асбестовых отходов для оздоровления земляного полотна / ЦП МПС, М.: Транспорт, 1970. 41 с.
43. Коган И. Б., Соловьев А. В. Программы для решения проектно-изыскательских задач на микрокалькуляторах: Справочник. М.: Транспорт, 1991. 125 с.
44. Конструкции противопучинных подушек / ЦП МПС, ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1978. 48 с.
45. Корольков Н. М., Еремин В. Л. Путь и сооружения на горных железных дорогах. М.: Транспорт, 1968. 336 с.
46. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики: Уч. пособие. М.: Энергия, 1980. 424 с.
47. Лагойский А.И. Горизонтальные траншейные дренажи на железных дорогах. М.: Транспорт, 1974. 152 с.
48. Лехно И.Б. Применение математических методов в планировании путевых работ. М.: Транспорт, 1972. 134 с.
49. Маковски Е. Анализ моделей расчета устойчивости откосов земляного полотна железных дорог // Железные дороги мира. 1984. № 3. С. 66—78.
50. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М.: Высш. шк., 1982. 511 с.
51. Математическая статистика: Учебник / Иванова В.М., Калинина., Нешумова Л. А. и др. М.: Высш. шк., 1981. 371 с.
52. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. М.: Информэлектро, 1995. 80 с.

53. Методические рекомендации по проектированию земляного полотна железных дорог на пучинных грунтах в суровых климатических условиях. М.: ВНИИ транс. стр-ва, 1986. 76 с.

54. Методические рекомендации по проектированию и строительству гибких железобетонных покрытий откосов транспортных сооружений. М.: ВНИИ транс. стр-ва, 1984. 55 с.

55. Методические рекомендации по проектированию насыпей на болотах по условию допустимых упругих осадок /ВНИИ транс. стр-ва. М., 1981. 40 с.

56. Методические указания по вибрационной диагностике насыпей при воздействии поездной нагрузки /ЦП МПС, ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1985. 52 с.

57. Методические указания по определению свойств грунтов эксплуатируемого земляного полотна / ВНИИЖТ. М., 1970. 60 с.

58. Методические указания по проектированию земляного полотна (выемок) в легковыветривающихся скальных породах /ВНИИ транс. стр-ва. М., 1974. 78.

59. Методические указания по проектированию уширения основной площадки земляного полотна / ЦП МПС, ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1978. 24 с.

60. Методические указания по разбивочным работам при сооружении земляного полотна /Грицык В. И., М.: Оргтрансстрой, 1966. 213 с.

61. Методические указания по способам сейсмического контроля эксплуатационного состояния железнодорожного земляного полотна /ЦП МПС, ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1985. 48 с.

62. Методические указания по укреплению откосов земляного полотна гидропосевам трав / ВНИИ транс. стр-ва. М., 1984. 56с.

63. Методические указания по усилению насыпей в зонах расположения водопропускных труб стягивающими элементами /ЦП МПС, МИИТ. М.: ЦНИИТЭИ, 1990. 73 с.

64. Наставление по сооружению земляного полотна и верхнего строения пути (для БАМ). Ч. 1. Земляное полотно. М.: Оргтрансстрой, 1976. 233 с.

65. Обеспечение эксплуатационной надежности земляного полотна /Материалы Всесоюзн. науч-техн. конфер. / ЛИИЖТ, С-Пб., 1991. 92 с.

66. Орлов В.О., Дубнов Ю.Д., Меренков Н.Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. Л.: Стройиздат, 1977. 184 с.

67. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути /Яковлева Т. Г., Шульга В. Я., Амелин В. С. и др. М.: Транспорт, 1990. 367 с.

68. Писарев Ю. В. Эксплуатационная гидравлично-гидрологическая надежность водопропускных сооружений железных дорог /Уч. пособие. М.: МИИТ, 1988. 68 с.

69. Повышение прочности, устойчивости и надежности земляного полотна в условиях Урала и Западной Сибири: Тр. /УЭМИИТ. Вып. 43 / Под ред. В. И. Грицыка. Свердловск, 1974. 216 с.

70. Поперечные профили земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. Новые железные дороги. N 1223. М.: Мосгипротранс, 1979. 52 с.
71. Пособие по проектированию земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм (к СНиП 32-01-95) / Переселенков Г.С., Яковлева Е.А. и др. ВНИИ транс. стр-ва. М, 1985. 233 с.
72. Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплового режима верхней части земляного полотна (к СНиП 2.05.07-85) / СоюздорНИИ. М.: Стройиздат, 1989. 97 с.
73. Пособие по технологии сооружения земляного полотна железных дорог (в развитие СНиП 3.06.02-86). М.: Корпорация «Трансстрой». 1993. 267 с.
74. Пособие строительному мастеру и производителю работ по сооружению земляного полотна / Под ред. В.П. Чернавского. М.: Транспорт, 1977. 256 с.
75. Правила технической эксплуатации железных дорог /МПС РФ. ЦП 4345. М.: Транспорт, 1993. 160 с.
76. Примеры гидравлических расчетов: Уч. пособие /Н.М. Константинов, Н. А. Петров, В. А. Александров и др. М.: Транспорт. 1987. 440 с.
77. Программное обеспечение исследований по механике грунтов и фундаментостроению / Дж. У. Э. Миллиган, Дж. Т. Хоулсби, Ю. Ониси и др.; Под ред. В. М. Лиховцева. М.: Стройиздат, 1991. 528 с.
78. Проектирование железнодорожного пути: Уч. пособие / Под ред. Г. М. Шахунянца. М.: Транспорт, 1972. 320 с.
79. Проектирование, строительство и реконструкция железных дорог. Уч. пособие / В. А. Бучкин, Ю. А. Быков, В. А. Копыленко, Б. В. Яковлев. М.: Транспорт.: 1989. 263 с.
80. Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна в карстовых районах / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1968. 288 с.
81. Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна линии Тюмень-Сургут / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1978. 88 с.
82. Путь и путевое хозяйство железных дорог США: Справочник / Под ред. С. И. Финицкого, И. А. Недорезова. М.: Транспорт, 1983. 216 с.
83. Растрингин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Сов. радио, 1980. 232 с.
84. Рекомендации по проектированию железных дорог колеи 1520 мм. М.; Корпорация «Трансстрой». 1993. 190 с.
85. Рекомендации по проектированию железных дорог в сложных инженерно-геологических условиях. / ВНИИ трас. стр-ва. М., 1974. 260 с.
86. Ройнишвили Н. М. Защита железнодорожного пути от горных обвалов и осыпей. М.: Транспорт, 1973. 304 с.
87. Руководство по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых основаниях / Минтрансстрой СССР. М.: Транспорт, 1978. 140 с.
88. Руководство по проектированию противооползневых и противообвальных защитных сооружений / ВНИИ транс. стр-ва. М., 1984. 153 с.

89. Руководство по топографо-геодезическим работам на транспортном строительстве. М.: Транспорт, 1985. 112 с.
90. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982. 38 с.
91. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1985. 40 с.
92. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982. 38 с.
93. Сооружение земляного полотна Байкало-Амурской магистрали / В. П. Чернавский, Б. И. Цвелодуб, В. Г. Тайц и др. / Под ред. В. П. Чернавского. М.: Транспорт, 1987. 205 с.
94. Сооружение и эксплуатация земляного полотна в районах распространения засоленных грунтов и подвижных песков / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1966. 282 с.
95. Сооружение земляного полотна железной дороги Новокузнецк-Абакан-Тайшет / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1970. 184 с.
96. Сооружение и эксплуатация земляного полотна из пылеватых грунтов / Комитет по зем. пол. М.: Транспорт, 1964. 223 с.
97. Справочник инженера путейца. / С. В. Амелин, В. В. Башилов, Н. П. Бассарский и др. М.: Транспорт, 1972. Т. 1. 768 с., т. 2. 520 с.
98. Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог / Аверочкина М. В., Бабицкая С. С., Большаков С. М. и др. / Под ред. А. Ф. Подпалого, В. П. Титова, М. А. Чернышова. М.: Транспорт, 1978. 766 с.
99. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. Л.: Стройиздат, 1977. 552 с.
100. Строительство железных дорог / Под ред. В. П. Шурыгина. М.: Транспорт, 1979. 385 с.
101. Технические указания по применению нетканых материалов для усиления земляного полотна / ЦП МПС 4591. М.: Транспорт, 1989. 47 с.
102. Технические указания по применению пенопластовых покрытий для предупреждения появления пучин / ЦП МПС 3350. М.: Транспорт, 1977. 55 с.
103. Технические указания по применению сборных решетчатых конструкций по укреплению конусов и откосов земляного полотна. (ВСН 181-74.) М.: Оргтрансстрой, 1974. 51 с.
104. Технические указания по проверке продольного профиля железнодорожного пути / ЦП МПС. М.: Транспорт, 1979. 31 с.
105. Технические указания по проектированию морских берегозащитных сооружений / Минтрансстрой. (ВСН 183-74.) М.: Оргтрансстрой, 1975. 118 с.
106. Технические указания по технологии сооружения железнодорожно-го земляного полотна. (ВСН 186-75.) М.: Оргтрансстрой, 1975. 366 с.
107. Технические указания по усилению и стабилизации насыпей на прочном основании армогрунтовыми поддерживающими сооружениями / ЦП МПС, МИИТ. М.: МИИТ, 1991. 101 с.

108. Технические указания по усилению насыпей с нестабильными балластными шлейфами армогрунтовыми удерживающими сооружениями / ЦП МПС, МИИТ. М.: МИИТ, 1992. 125 с.
109. Технические указания по устранению пучин и просадок железнодорожного пути / ЦП МПС. 4369. М.: Транспорт, 1987. 65 с.
110. Технологические указания по устройству дренажей механизированным способом / ЦП МПС. М.: Транспорт, 1980. 33 с.
111. Титов В. П. Усиление земляного полотна длительно эксплуатируемых железных дорог. М.: Стройиздат, 1980. 272 с.
112. Тихомиров В. И. Научные основы ведения путевого хозяйства. М.: ВЗИИТ, 1976. 78 с.
113. Тулаев А. Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. М.: Транспорт, 1980. 191 с.
114. Тюрин И. М. Теория и практика укрепления земляного полотна конструкциями из термически упрочненных грунтов: Уч. пособие / ХабИИЖТ. Хабаровск, 1992. 153 с.
115. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог. (СН 449-72) / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1973. 113 с.
116. Управление в строительстве: Учеб. для вузов / М. В. Васильев, Ю. П. Панибратов и др. М.: Изд-во АСВ, 1994. 283 с.
117. Фигурнов В. Э. IBM PC для пользователя. 6-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 1995. 432 с.
118. Фришман М. А., Хохлов И. Н., Титов В. П. Земляное полотно железных дорог. М.: Транспорт, 1972. 288 с.
119. Фришман М. А., Пономаренко Н. А., Финицкий С. И. Конструкция железнодорожного пути и его содержание. М.: Транспорт, 1980. 414 с.
120. Хамов А. П. Укрепление насыпей забивными сваями // Железные дороги мира. 1994, N 9, с. 52—59.
121. Шахуняц Г. М. Железнодорожный путь: Учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1987. 479 с.
122. Шахуняц Г. М. Земляное полотно железных дорог. М.: Трансжелдориздат, 1953. 827 с.
123. Экономико-математические методы и модели на железнодорожном строительстве / Г. Н. Жинкин, И. И. Зеликович, В. А. Роганов, С. Б. Шрайбер. М.: Транспорт, 1979. 256 с.
124. Яковлева Т. Г., Виноградов В. В., Вольнов М. В. Основы устройства и проектирования земляного полотна железных дорог: Уч. пособие. М.: МИИТ, 1990. 131 с.
125. Яковлева Т. Г., Иванов Д. И. Моделирование прочности и устойчивости земляного полотна. М.: Транспорт, 1980. 255 с.
126. Яковлева Т. Г., Яриз А. П., Соколов В. В. Задачи повышения прочности и надежности земляного полотна в современных условиях эксплуатации. М.: ЦНИИТЭИ, 1985. 32 с.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Практическая и научная деятельность проф., д. т. н. В. И. Грицыка посвящена железнодорожному транспорту, транспортному строительству. Окончив с отличием институт военных инженеров (НИВИТ), в составе железнодорожных войск участвовал в восстановлении железных дорог Карельского перешейка, развитии узла Ленинград, ст. Выборг, строительстве дорог Карелии, Средне-Сибирской, вторых путей Брянск—Москва, Петрозаводск—Мурманск, Каргалы—Акмолинск, электрификации Транссиба. Работал на дистанциях пути Северо-Кавказской ж. д., был руководителем лаборатории-станции ЦНИИСа (Челябинск), лаборатории земляного полотна УО ВНИИЖТа (Свердловск), заведующим кафедрой пути и путевого хозяйства УЭМИИТа (УрГАПС), деканом строительного факультета РИИЖТа (РГУПС). Участвовал в разработке норм плотности грунтов, технологии механизированной планировки, укрепления откосов механизированным травосеянием и плитными покрытиями. Его теория проективных координат определила направление контрольно-разбивочных работ, топографо-геодезических нормативов земляного полотна железных и автомобильных дорог. Исследовал воднотепловой режим, деформации земляного полотна, предложил их комплексную классификацию, показатели стабильности; разработал системотехнические основы управления состоянием объектов земляного полотна на принципах структурной и параметрической оптимизации с учетом стохастической обусловленности среды функционирования, алгоритмы итеративной оптимизации; метод проектирования оптимальных противопучинных конструкций (подушек, первых термо- и гидроизолирующих покрытий) по гипотезе предельных деформаций (и промерзаемости), способ исправления пути на пучинах по криволинейным отводам, измерительные приборы, принципы нормативного содержания, АСУ земляного полотна. Имеет более 220 научных, методических, 10 нормативных работ, более 150 публикаций. Был постоянным членом Комитета по земляному полотну. Член Научно-Методического Совета по специальности, Академик АТ РФ, Почетный железнодорожник. Ведущий специалист в области земляного полотна, транспортного строительства, управления производством.