

А.Е. Касьянов  
Г.С. Алтунина

---

# ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБУСТРОЙСТВО ЛАНДШАФТА



Министерство образования  
Российской Федерации

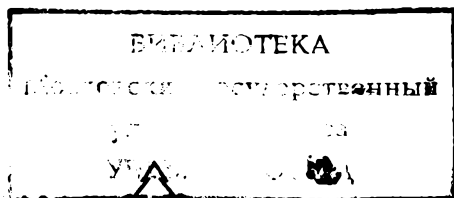
Московский государственный университет леса

---

А. Е. Касьянов Г. С. Алтунина

## Гидротехническое обустройство ландшафта

Учебное пособие  
для студентов заочного факультета  
(специальности 2604.00 и 2605.00)



Издательство Московского государственного университета леса  
Москва – 2001

УДК 630\*651.78 (075.8)

6Л2 Касьянов А. Е. Алтунина Г. С. Гидротехническое обустройство ландшафта: Учебное пособие для студентов заочного факультета специальности 2604.00 и 2605.00. – М.: МГУЛ, 2001 – 165 с.: ил.

*Рассмотрены технологии гидротехнической подготовки ландшафта. Приводятся мероприятия по защите городских и парковых территорий от затопления, подтопления, оползней и селевых потоков. Дана экономическая оценка рассмотренным защитным мероприятиям.*

Одобрено и рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом университета

Рецензенты: профессор В. В. Ведерников, кафедра комплексного использования водных ресурсов; профессор А. М. Зейлигер, кафедра гидрологии и гидрометрии Московского государственного университета природообустройства

Авторы:

Александр Евгеньевич Касьянов, профессор кафедры почвоведения Московского государственного университета леса;

Галина Сергеевна Алтунина, доцент кафедры гидравлики Российского университета дружбы народов

Редактор Н. Д. Благодатова

© Касьянов А.Е., Алтунина Г. С., 2001

© Московский государственный университет леса, 2001

## Введение

Гидротехническое обустройство ландшафта является важнейшим этапом паркового и городского строительства. Совместно с инженерной подготовкой ландшафта оно составляет комплекс технологий, направленный на создание благоприятных условий использования территорий.

В учебном пособии ландшафт рассматривается как комплекс взаимосвязанных элементов: растительности, почвы, грунтов, потоков поверхностных и грунтовых вод. Они находятся под действием климатических факторов. Некоторые параметры этих элементов можно изменить. Гидротехническое обустройство изменяет параметры в соответствии с направлением использования территории.

Наиболее динамичными элементами ландшафта являются потоки поверхностных и грунтовых вод. На прибрежных и береговых участках их влияние наиболее существенно. Поэтому методы управления поверхностными и грунтовыми потоками составляют здесь основу гидротехнической подготовки. Все крупные парковые и городские территории включают береговые и прибрежные участки.

В пособии рассмотрены основные методы регулирования постоянного и временного поверхностного стока: рек, талых и дождевых вод, селевых потоков. Показаны схемы конструкций дамб обвалования, водоотводящих валов, гидротехнических сооружений при борьбе с оврагами, берегоукрепительных сооружений. В пособии также приводятся методы регулирования потоков грунтовых вод на заболоченных, подтопленных участках, на участках с оползневыми явлениями.

Значительное место в пособии уделено восстановлению участков территории с техногенными нарушениями ландшафта. Показаны приемы восстановления поверхности в зоне провалов и оседания поверхности над подземными выработками. Для реконструкции выработанных карьеров предлагается несколько методов реконструкции. Они включают частичную или полную засыпку карьера. Указывается возможность использования откосов карьера для создания декоративных террас. В донной части карьера возможно устройство водоемов различного назначения.

В заключении дана методика технико-экономического обоснования вариантов проектных решений.

## 1. Обустройство городских и промышленных ландшафтов

Гидротехническая подготовка включает комплекс мероприятий, направленных на обеспечение пригодности территорий для населенных пунктов и промышленности путем защиты их от неблагоприятных условий. Решение вопросов приспособления территорий сводится обычно к организации рельефа и поверхностного стока дождевых и талых вод.

Другие необходимые мероприятия относятся к специальным видам.

1. Предотвращение затопления, во время половодий и паводков.
2. Борьба с подтоплением грунтовыми водами при строительстве водохранилищ.
3. Освоение заболоченных территорий.
4. Борьба с оврагами и оползнями [1].
5. Укрепление берегов.
6. Восстановление нарушенных территорий.
7. Борьба с карстами
8. Защита от селевых потоков и снежных лавин.
9. Защита от воздействия сейсмических явлений.

Принципиальные решения подготовки территорий отражают в комплексных схемах, где обобщают предложения по освоению и защите территорий от опасных природных процессов, оздоровлению и охране среды, восстановлению и обогащению природных ресурсов [2].

Для обоснования и расчета мероприятий инженерной защиты территорий необходимо выполнить анализ природных и техногенных условий территории и провести на его основе оценку составляющих водного баланса.

Природные условия территории характеризуются комплексом климатических, геоморфологических, геологических, гидрогеологических и гидрологических данных, включая сведения о физико–геологических процессах и их динамике. Они дополняются такими природно–ландшафтными особенностями, как существующие зеленые насаждения. Климатические условия определяют совокупность фактов, наиболее значимыми из которых являются радиационный, температурно–влажностный, ветровой режим и атмосферные осадки.

Показателями радиационного режима служат: количество теплоты, поступающей на поверхность от прямых и рассеянных солнечных лучей; яркость света, суммарная и рассеянная освещенность в различные часы суток, а также интенсивность ультрафиолетового облучения. Для определения температурного режима используют данные о средних температурах по месяцам, в течение самой холодно пятидневки и до абсолютных минимальных и максимальных температурах, амплитудах их колебания и повторяемости.

Влажностный режим определяют показателями абсолютной, относительной влажности и амплитуды ее суточных колебаний.

Ветровой режим характеризуется средней скоростью ветра по господствующим направлениям и его повторяемости зимой и летом. На отдельные метеорологические факторы климата (температура, влажность воздуха и скорость ветра) существенно влияют рельеф местности, наличие водоемов и растительности, формируя качественные особенности микроклимата.

Атмосферные осадки и их изменчивость определяются следующими параметрами: годовым количеством осадков; суточным максимумом; интенсивностью выпадения дождей; толщиной снегового покрова; сроками образования и разрушения снегового покрова.

Геоморфологические условия – это сумма данных о рельефе, его происхождении и закономерностях развития. При решении градостроительных задач большое значение имеют крутизна естественного рельефа территории, особенности его форм, степень всхолмленности.

Геологические условия включают данные о составе местности, несущей способности грунтов, порядке их напластования и возрасте, а также наличии и активности геологических процессов и нарушений земной поверхности в результате техногенных факторов. К числу природных физико–геологических процессов относят оползни, овраги, карст, селевые потоки, снежные лавины, сейсмические и криогенные явления.

Гидрогеологические условия – это сведения о наличии мощности и свойствах эпизодически и постоянно существующих горизонтов подземных вод, глубине их залегания, условиях питания, особенностях режима и его динамике. Их рассматривают в тесном взаимодействии с литологическим строением, гидрологическими условиями, определяющими особенности режима и общий баланс подземных вод.

Гидрологические условия на территории изучают на основе данных о явлениях и процессах, происходящих в поверхностных водоемах: реках; озерах; водохранилищах и болотах. Эти условия рассматривают в тесной связи с гидрологическими и другими природными условиями, в комплексе определяющими характеристику круговорота воды в природе, влияние на него деятельности человека и способов управления водным режимом.

Основные сведения включают информацию об источниках питания, закономерностях режима рек и водоемов, их основных параметрах, химическом и бактериологическом составе воды, рельефных и геологических особенностях береговой линии и дна.

Режим рек и водоемов определяют совокупностью данных о колебаниях скоростей течения, уровней, и расходов в период самого низкого продолжительного сезонного стояния – в межень и во время

прохождения высоких вод с учетом сроков замерзания и вскрытия рек и толщины ледяного покрова.

Основные критерии оценки отдельных природных факторов, определяющих степень благоприятности территории для гражданского и промышленного строительства, садов и парков, представлены в табл. 1.

**1. Критерии оценки природных факторов, определяющих благоприятность территории для гражданского и промышленного строительства, садов и парков**

Факторы	Категории территорий		
	благоприятные	неблагоприятные	Особо неблагоприятные
1	2	3	4
Уклон поверхности территории	Зеленые насаждения общего пользования До 10%		Более 30%
Морфологические свойства почв; грунты	Черноземы разные, красноземы, легкие и средние суглинки, супеси	Слабо засоленные, выщелоченные, кислые, пески, глины средние и тяжелые, суглинки тяжелые	Солонцы, солончаки, лишенные почвенного слоя; скальные породы (при сплошном залегании)
Глубина залегания высокого уровня грунтовых вод от поверхности земли	От 2 до 1,5 м	От 1,5 до 0,5 м и от 2 до 3 м	Менее 0,5 м и более 3 м
Заболоченность	Заболоченность и бессточные участки отсутствуют	Заболоченность вследствие избыточных атмосферных осадков, легко осушается	Болота грунтового питания, трудно осушаемые
Продолжительность затопления территории УВВ	Незатопляемые	Не более 15 дней	Более 15 дней и за 30 дней

Вертикальная планировка городских территорий. Вертикальная планировка представляет собой преобразование существующего рельефа территории. Она связана с работами по срезке, подсыпке и перемещению земляных масс. В результате создают поверхность, отвечающую требованиям последующей эксплуатации города, отдельного его района.

Поскольку земляные работы в комплексе строительства города занимают важное место как по объему, так и по стоимости, то при вертикальной планировке стремятся более рационально использовать существующий рельеф местности. Этому способствует глубокий анализ рельефа на всех этапах проектирования, в том числе, когда разрабатывают планировочное решение города или его районов.

Рельеф изображают на планах территории условными линиями – горизонталями. Шаг характеризует разницу отметок между соседними горизонталями и носит название сечений рельефа.

Об уклонах рельефа судят по заложению горизонталей – расстоянию между ними в плане. Естественно, что наибольший уклон имеют те участки, на которых заложение горизонталей будет наименьшим.

Уклон местности  $i$  выражается в промилях или процентах. Его рассчитывают между двумя фиксированными точками. Схема расчета показана на рис. 1.

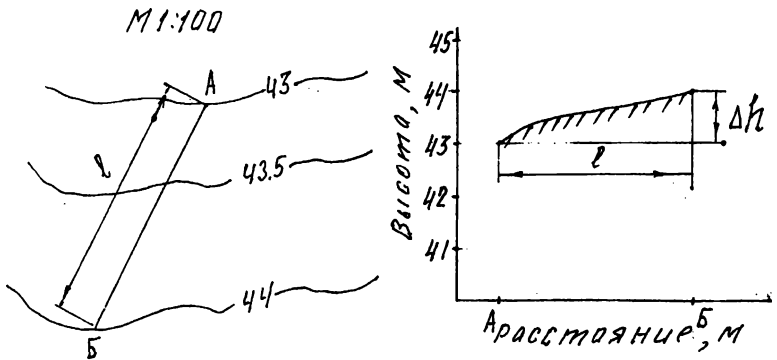


Рис. 1. Схема расчета уклона

$$i = \frac{\Delta h}{l}, \text{ или } i = 100 \frac{\Delta h}{l}, \text{ ‰ или } i = 1000 \frac{\Delta h}{l} \text{ ‰},$$

где  $\Delta h$  – перепад отметок между рассматриваемыми точками, м;  
 $l$  – расстояние между рассматриваемыми точками, м.



При определении уклона между двумя точками, не находящимися на горизонталях, их отметки вычисляют интерполяцией. За основу берут отметки двух горизонталей, между которыми лежит точка. Схема расчета показана на рис. 2.

$$H_x = H_1 + (H_2 - H_1) \cdot l_x / l,$$

где  $H_x$  — отметка точки  $x$  между соседними горизонталями;  
 $H_1$  — отметка нижней горизонтали;  
 $H_2$  — отметка верхней горизонтали;  
 $l_x$  — расстояние от нижней горизонтали до точки  $x$ ;  
 $l$  — расстояние между горизонталями.

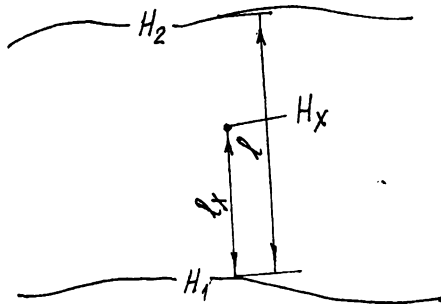


Рис. 2. Определение отметки точки интерполяцией

Гидротехнические и инженерные требования, предъявляемые к вертикальной планировке.

1. Создание рельефа, обеспечивающего беспрепятственный отвод поверхностных вод с территории.
2. Безопасное и удобное движение транспорта и пешеходов.
3. Благоприятные условия для прокладки инженерных сетей.
4. Размещение зданий и инженерных сооружений.
5. Благоустройство и озеленение территории.

На территориях с неблагоприятными инженерно – геологическими процессами задачи вертикальной планировки определяются требованиями защиты от этих процессов.

1. Обеспечение устойчивости крутых оползневых и овражных склонов.
2. Выравнивание территории при наличии карстовых воронок и провалов, повышение отметок поверхности в условиях затопления.

Методы проектирования вертикальной планировки зависят от особенностей существующего рельефа и стадий разработки проекта. В

практике применяют методы проектных горизонталей, профилей и комбинацию этих методов.

Особое место занимают графо-аналитические методы проектирования, позволяющие отыскать положение поверхности будущего рельефа, отвечающего условию баланса земляных масс по подсыпке и срезке.

Метод проектных горизонталей широко используют при разработке проектов вертикальной планировки территории микрорайонов, зеленых массивов, транспортных путей. Этот метод дает возможность отразить на плане будущий рельеф в виде проектных или красных горизонталей, наносимых на чертеж с геодезической подосновой. Всякое преобразование существующего рельефа отражается очертанием проектных горизонталей.

Так, на участках подсыпки грунта, красные горизонталы относительно одноименных отметок существующего рельефа перемещаются в сторону понижения (участки, отмеченные со знаком «+»), а при срезке, напротив в сторону повышения («-»). Схема метода проектных горизонталей показана на рис. 3.

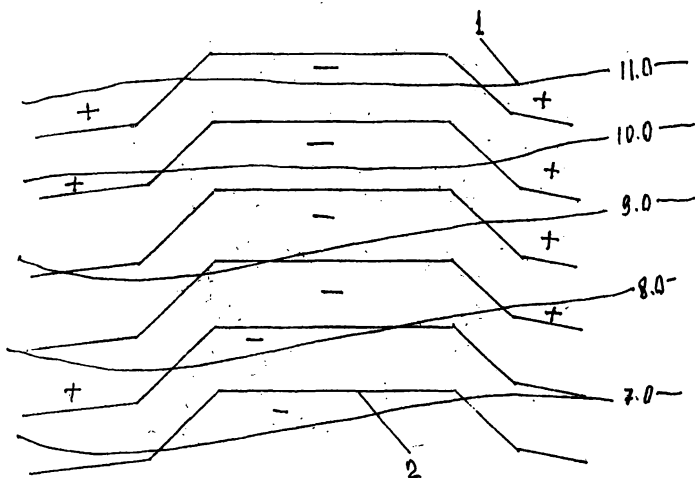


Рис. 3. Схема метода проектных горизонталей:  
1 – исходная горизонталь; 2 – проектная горизонталь

Метод профилей применяют при проектировании линейных сооружений и некоторых территорий специального назначения. Как правило, его используют в сочетании с другими методами для более

подробной иллюстрации проектных решений вертикальной планировки улиц и дорог.

Метод заключается в отображении проектной и существующей поверхностей территории в продольных и поперечных профилях, выполненных в характерных сечениях. Обычно его используют в сочетании с другими методами.

На профилях показывают существующие и проектные отметки, а также рабочие, которыми определяют высоту насыпи или срезки, уклон и расстояние между пикетами и точками перелома рельефа. Для наглядности изображения устанавливают разные масштабы, принимая вертикальный масштаб значительно крупнее горизонтального. Обычно соотношение масштабов составляет 1:10. Продольный профиль строят с горизонтальным масштабом 1:500 или 1:1000, а вертикальный принимают соответственно 1:50 или 1:100.

Проектирование вертикальной планировки по этому методу состоит из ряда последовательных этапов.

Первый – это определение положения секущих плоскостей (на плане намечают сечения для построения профиля местности).

Второй – построение существующего рельефа по каждому сечению (т.е. линию существующего рельефа формируют на профиле по отметкам пикетов, точек перелома рельефа, пересечений и изломов трассы, а для специальных территорий – по отметкам характерных точек рельефа и пересечений сетки.)

Третий – заключается в построении на профиле проектного рельефа, высотное положение которого устанавливают в соответствии с нормальными требованиями к улицам или территориям.

Метод отметок находит применение на предварительных этапах проектирования, когда определяют принципиальное высотное решение уличной сети, а также при детальной вертикальной планировке, в условиях сложного рельефа.

Комбинированный метод – это одновременное использование нескольких методов, например сочетание методов проектных горизонталей и профилей.

Высотное решение поверхностей обусловлено характером существующего рельефа. На холмах, например, уклоны в сторону улиц обеспечивают проектными плоскостями, которые размещают по схеме, приведенной на рис.4.

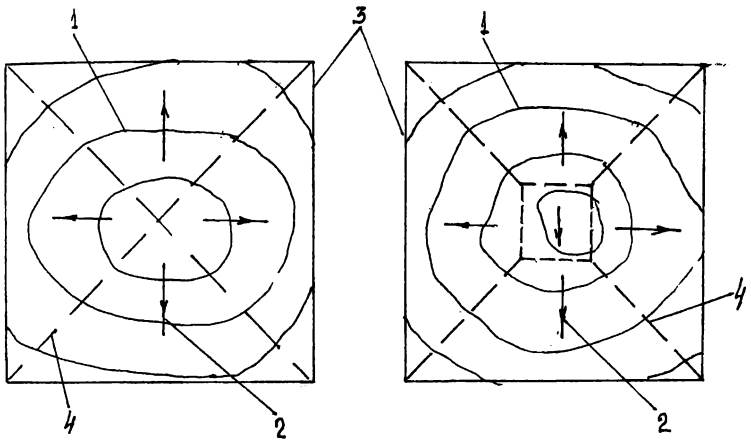


Рис. 4. Проектирование поверхности на холмах:  
 1 – исходные горизонталы; 2 – уклон проектной плоскости;  
 3 – тротуар; 4 – водораздел

На территориях с гребнем – водоразделом вертикальную планировку решают по схемам, показанным на рис. 5.

Отметку водораздела назначают из условия минимальных земляных работ, создавая плоскость с минимальным поперечным уклоном, обеспечивающим сток поверхностных вод на прилегающую улицу.

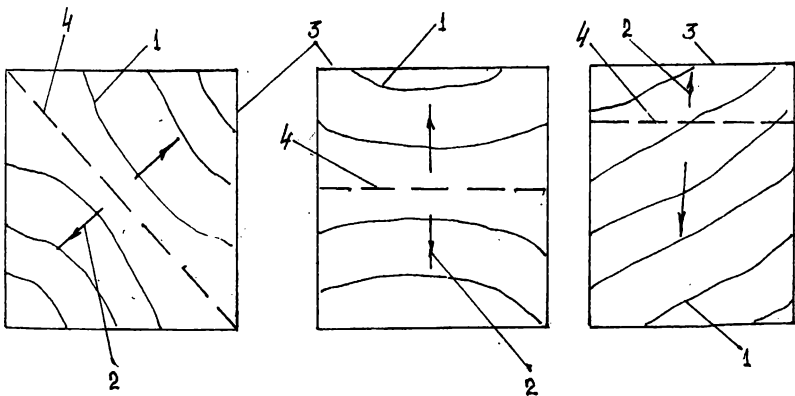


Рис. 5. Проектирование поверхности на участке с гребнем:  
 1 – исходные горизонталы; 2 – уклон проектной плоскости;  
 3 – тротуар; 4 – водораздел

Описанный принцип применяют не всегда. На территориях с тальвегом или ложиной возможно иное решение. Здесь допускают падение проектного уклона в сторону естественного понижения рельефа. Схема подобного проектирования поверхности показана на рис. 6. Следствием такого решения является обязательное устройство на территории закрытой водосточной сети. Однако при выборе проектного решения рассматривают альтернативу: подсыпку значительной части территории и отвод воды по схемам описанным, предпочтение отдают более экономичному варианту.

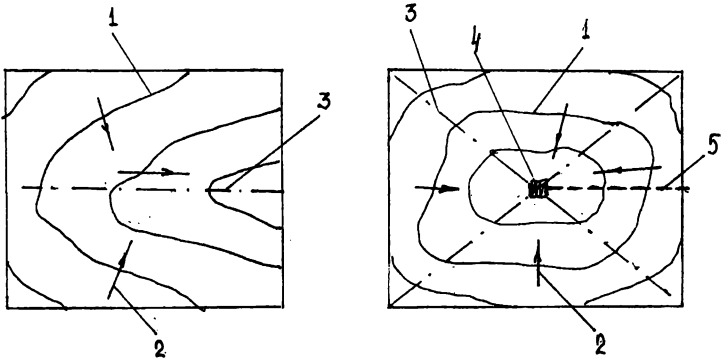


Рис. 6. Проектирование поверхности с устройством водоотвода:  
1 – существующая горизонталь; 2 – уклон проектной плоскости; 3 – ось тальвега;  
4 – водоприемный колодец; 5 – закрытый водосток

На подверженных затоплению территориях, целиком подсыпаемых для защиты от высоких вод, проектный рельеф не так жестко «привязывают» к существующему. Здесь создают односкатные поверхности с генеральным уклоном в сторону водоема, двускатные с вторичными или переменными уклонами, сохраняя направление генерального уклона в сторону реки.

Назначая высотные отметки территории, учитывают не только нормативные значения продольных и поперечных уклонов, но и особенности гидрогеологических и других природных условий. На территориях с неблагоприятными условиями вопрос о высоте подсыпки или срезки преобразуемого рельефа решают не только из соображения получения допустимых уклонов при минимальных объемах или с нулевым балансом земляных работ. Высокий уровень грунтовых вод ограничивает возможность срезок и дает преимущество подсыпкам.

Вертикальную планировку территорий с зелеными насаждениями выполняют исходя из требований водоотвода и, главное, создания условий

для существования растений. На основе этих требований уклоны поверхности назначают  $0,005 \dots 0,12$  (от 0,5 до 12%). Обычно стремятся предельно сохранить существующую зелень, поэтому намечают локальную вертикальную планировку. Рельеф преобразовывают в бессточных местах и на участках, примыкающих к зданиям и проездам. Отметки озеленяемых территорий «привязывают» к этим сооружениям. На значительной крутизне склонов вертикальную планировку решают террасированием.

Вертикальную планировку рекреационных и хозяйственных площадок решают в зависимости от их назначения. Так, детские и хозяйственные площадки чаще проектируют односкатными или двускатными. Схема такой планировки поверхности показана на рис. 7.

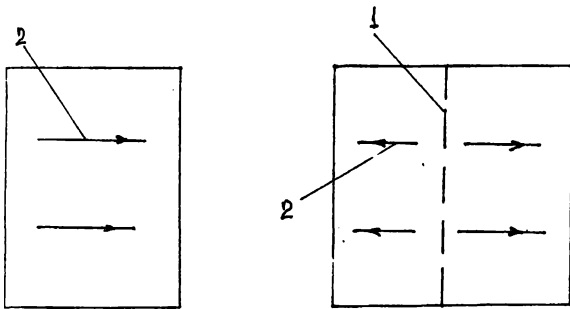


Рис. 7. Планировка поверхности детских и хозяйственных площадок:  
1 – водораздел; 2 – уклон проектной плоскости

Поперечные уклоны ограничивают  $0,015 \dots 0,03$  (1,5 ... 3%), а продольные назначают не менее  $0,005$  (0,5%).

Спортивные площадки планируют с минимальными допустимыми уклонами  $0,004$  (0,4%), дающими возможность отвода воды.

Иногда спортивные площадки располагают на плоскостях, относительно проектируемого рельефа на 0,5м. Такое высотное положение удобно, так как получают быстро высыхающие спортивные полы. Спортивные площадки делают двускатными, реже с одним или четырьмя скатами. Планировка поверхности спортивных площадок показана на рис. 8.

Автомобильным стоянкам придают продольный или поперечный уклон  $0,005 \dots 0,03$  (0,5 ... 3%). Верхний предел обеспечивает возможность размещения машин без опасения их движения с выключенным двигателем.

Результирующий уклон по продольной оси экипажа должен быть не более  $0,02$  (2%). Формы поверхностных стоянок согласуют с проектным

решением прилегающих проездов. Проектирование поверхности автомобильных стоянок показано на рис. 9.

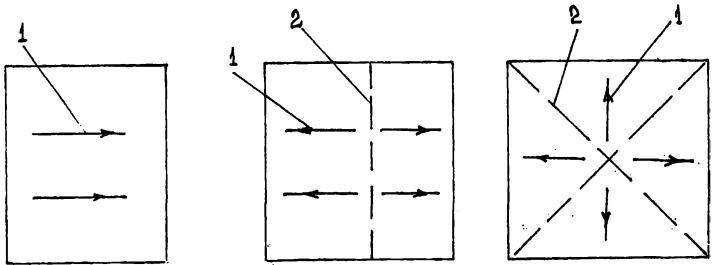


Рис. 8. Планировка поверхности спортивной площадки:  
1 – уклон проектной плоскости; 2 – водораздел

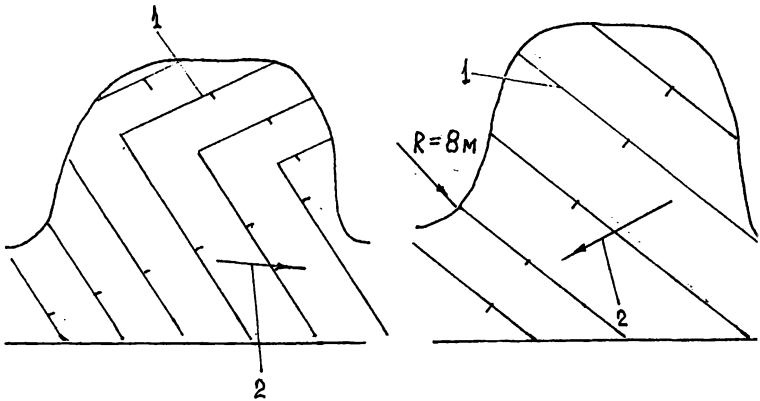


Рис. 9. Проектирование поверхности автомобильных стоянок:  
1 – проектная горизонталь; 2 – уклон проектной плоскости

### Вертикальная планировка промышленных предприятий

Особенности вертикальной планировки территорий промышленных площадок predetermined технологическими связями между отдельными корпусами и производственными устройствами. Эти связи диктуют взаимное высотное размещение транспортных и пешеходных путей, зданий и сооружений.

Высотные отметки территорий промышленных предприятий устанавливают после тщательного анализа рельефа, геологических и гидрогеологических условий местности. В зависимости от особенностей рельефа строительной площадки возможны следующие схемы вертикальной планировки.

1. Бестеррасная схема может быть предложена при естественной крутизне рельефа до (2%) 0,02. Проектирование поверхности по бестеррасной схеме показано на рис. 10.

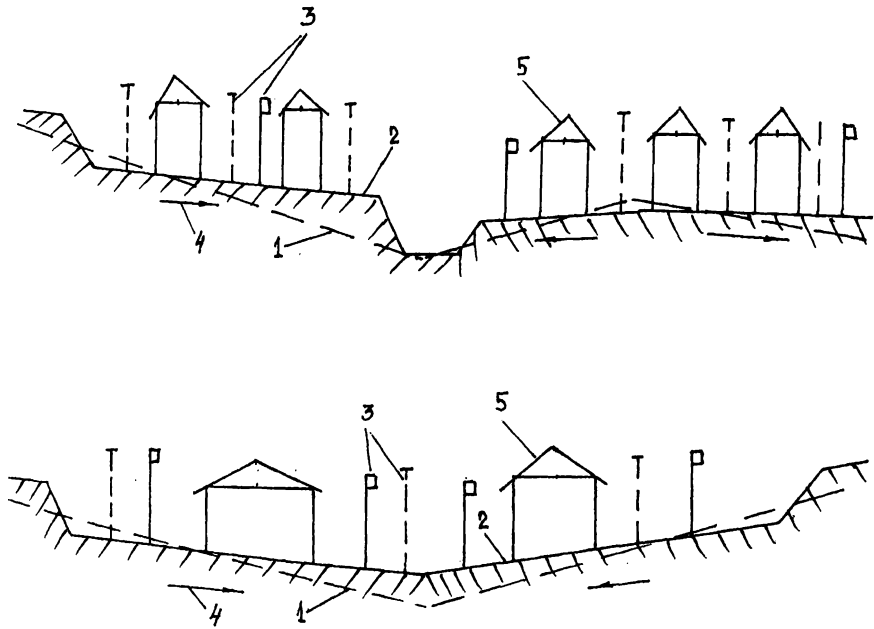


Рис. 10. Проектирование поверхности по бестеррасной схеме:  
 1 – профиль существующей поверхности; 2 – профиль проектируемой поверхности; 3 – оси автомобильных и железнодорожных путей; 4 – направление уклона; 5 – здания и сооружения



2. Террасирование территории экономически выгодно при естественных уклонах местности до (5%) 0,05. Проектирование поверхности террасированием показано на рис. 11.

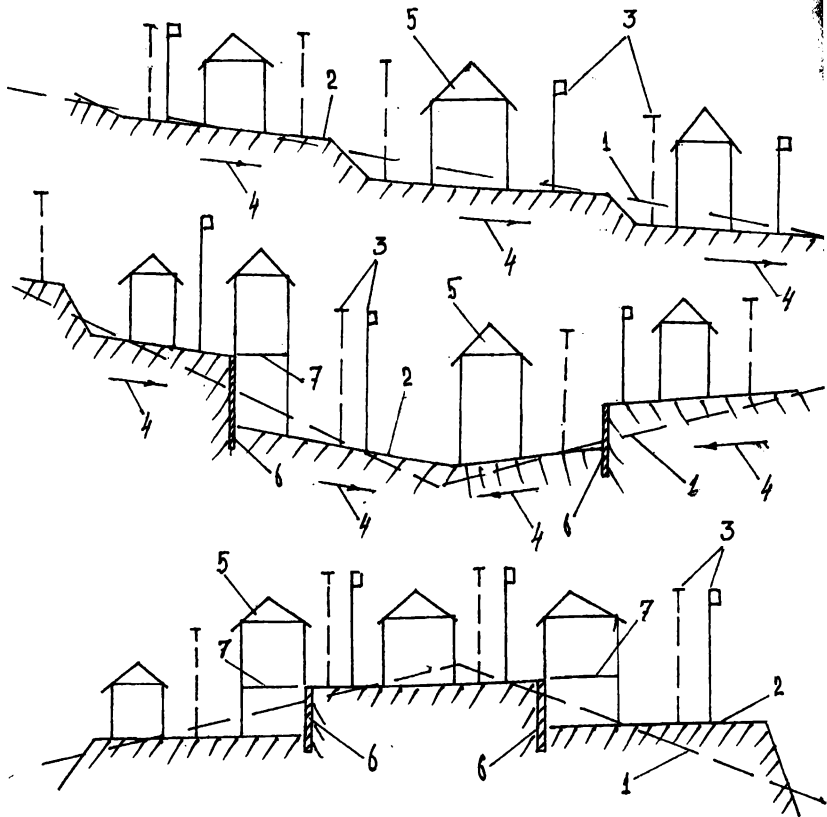


Рис. 11. Проектирование поверхности террасированием:  
 1 – профиль существующей поверхности; 2 – профиль проектируемой поверхности; 3 – оси автомобильных и железнодорожных путей; 4 – направление уклона; 5 – здания и сооружения; 6 – подпорная стенка; 7 – уровень второго этажа

Применение обеих схем предусматривает максимальное приближение проектной поверхности к существующему рельефу.

Уклоны поверхности территории принимают с учетом грунтовых условий. Максимальный уклон строительных площадок, сложенных

глинистыми грунтами, принимают не более 5%, песчаными – 3%, легкоразмываемыми – не более 1%.

Минимальный продольный уклон во всех случаях делают (0,3%) 0,003 , обеспечивая отвод поверхностных вод.

На высотные решения промышленной территории может повлиять уровень грунтовых вод, определяющий возможность заглубления пола производственных и вспомогательных сооружений.

## 2. Защита территорий от затопления и подтопления

Городские и парковые территории, которые размещаются вблизи рек, озер, водохранилищ, постоянно или в отдельные периоды года затапливаются или подтапливаются высоким уровнем грунтовых вод. Наиболее действенным средством защиты таких территорий является обвалование и устройство отвода избыточных вод за пределы дамбы.

Оградительные дамбы размещаются вдоль границ защищаемой территории, поэтому их положение определяется рельефом местности и конфигурацией площади, используемой для городских нужд. Трассу дамбы прокладывают в зависимости от местных условий.

1. Дамбу можно расположить вдоль водоема с некоторым отступом от бровки откоса, без поперечных ответвлений.
2. Дамбу устраивают с поперечными ответвлениями, если требуется исключить затопление территории с флангов.

На рис. 12 показана схема размещения дамбы без ответвлений.

Схема размещения дамбы с ответвлениями показана на рис. 13.

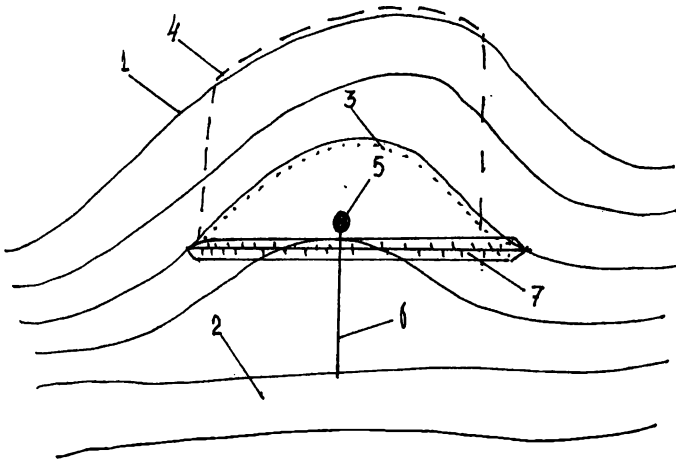


Рис. 12. Схема размещения дамбы без ответвлений:

- 1 – горизонтали поверхности; 2 – русло реки; 3 – граница затопления;  
4 – граница защищаемой территории; 5 – насосная станция; 6 – водосбор;  
7 – дамба обвалования

В процессе проектирования обычно рассматривают два варианта расположения продольных дамб. Первый – с полной защитой территории и второй – с частичной, при которой защищают лишь участок необходимый для размещения первой очереди строительства.

3. Секционное обвалование проектируют, когда на защищаемой территории имеются боковые притоки с водосборными бассейнами, значительно превышающими площадь защищаемой территории. С градостроительной точки зрения эта схема имеет свои недостатки. Она нарушает целостность композиционного решения города и осложняет планировочную ситуацию, перегораживая дамбами его территорию. Вместе с тем такое решение позволяет в период паводков и половодий сбросить расходы боковых водотоков и предусмотреть перекачку поверхностных вод только с ограниченных дамбами площадей.

Схема секционного обвалования показана на рис. 14.

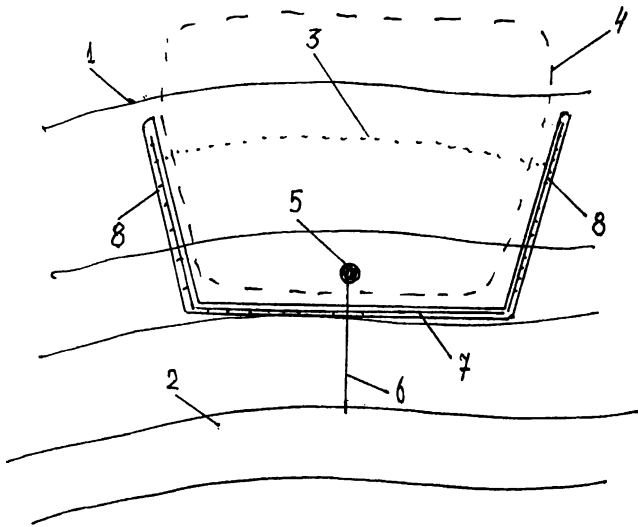


Рис. 13. Схема размещения дамбы с ответвлениями:

- 1 – горизонтали поверхности; 2 – русло реки; 3 – граница затопления;  
4 – граница защищаемой территории; 5 – насосная станция; 6 – водосброс;  
7 – дамба обвалования; 8 – ответвления

При небольших расходах бокового водостока трассирование можно выполнить с размещением дамбы вдоль береговой линии и устройством бассейна. Он аккумулирует воду, которую собирают с поверхности защищаемой территории. Схема обвалования с использованием бассейна показана на рис. 15.

Определенное преимущество имеет схема, где устьевую часть водостока отводят за пределы дамбы и населенного пункта. Насосную станцию используют только для перекачки ливневых и дренажных вод.

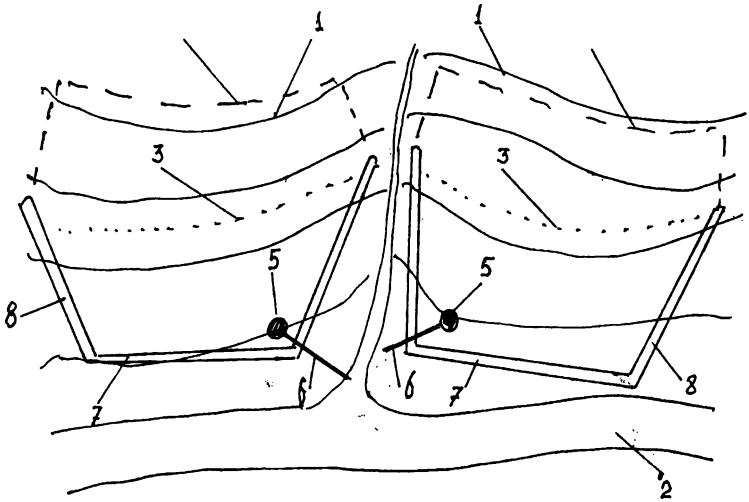


Рис. 14. Схема секционного обвалования:

- 1 – горизонтالي поверхности; 2 – русло реки; 3 – граница затопления;  
 4 – граница защищаемой территории; 5 – насосная станция; 6 – водосброс;  
 7 – дамба обвалования; 8 – ответвления

Эту схему можно использовать и в случае несовпадения периодов максимальных расходов основной реки и боковых притоков. Схема обвалования с отводом устьевой части водотока показана на рис. 16.

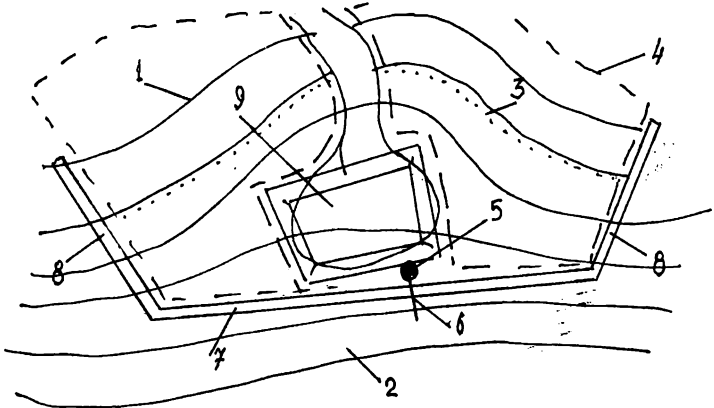


Рис. 15. Схема обвалования с бассейном:

- 1 – горизонтали поверхности; 2 – русло реки; 3 – граница затопления;  
 4 – граница защищаемой территории; 5 – насосная станция; 6 – водосброс;  
 7 – дамба обвалования; 8 – ответвления; 9 – аккумулирующий бассейн

Кольцевое обвалование защищаемой территории предусматривают чаще всего для небольших населенных пунктов или промышленных зон.

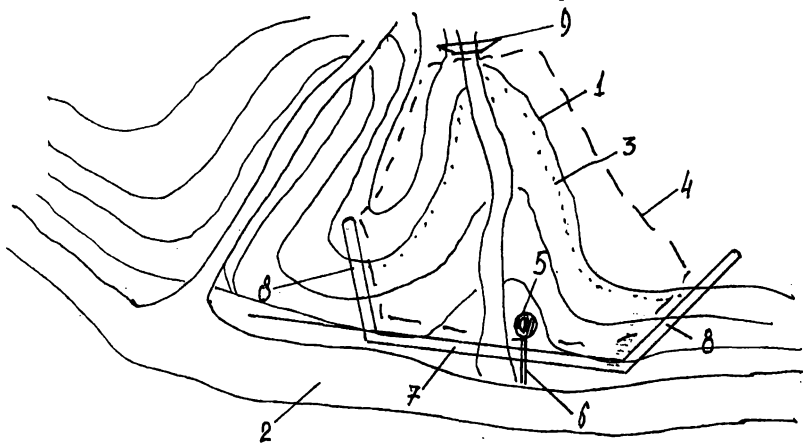


Рис. 16. Схема обвалования с отводом устьевой части водотока:

- 1 – горизонтали поверхности; 2 – русло реки; 3 – граница затопления;
- 4 – граница защищаемой территории; 5 – насосная станция; 6 – водосбор;
- 7 – дамба обвалования; 8 – ответвления; 9 – плотина

Схема кольцевого обвалования показана на рис. 17.

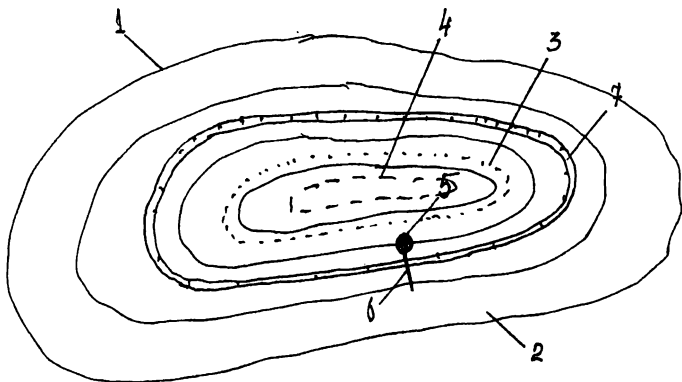


Рис. 17. Схема кольцевого обвалования:

- 1 – горизонтали поверхности; 2 – русло реки;
- 3 – граница затопления; 4 – граница защищаемой территории;
- 5 – насосная станция; 6 – водосбор; 7 – дамба обвалования

Дамбы возводят на одном берегу, устраивая одностороннее обвалование или на двух, обеспечивая двустороннее обвалование.

Конструкция дамбы обвалования. Дамба обвалования представляет собой земляную плотину, поперечное сечение которой имеет вид трапеции. В зависимости от условий работы и по конструктивным особенностям различают: речные, водохранилищные, морские дамбы.

Речные дамбы работают как напорные сооружения лишь непродолжительный период – несколько недель в году в период повышения уровней воды в реке.

Водохранилищные и морские могут находиться под действием напора длительное время и подвергаться воздействию ветровых волн.

Дамбы сооружают практически из любого местного минерального грунта, за исключением илистых и содержащих большое количество легкорастворимых солей. Оптимальным является грунт, дерновый состав которого характеризуется наличием мелких глинистых частиц, заполняющих поры между крупнозернистыми частицами, не нарушая при этом непосредственного соприкосновения частиц между собой.

Такой грунт обладает большим углом внутреннего трения, малой водопроницаемостью и высоким сцеплением, обеспечивая устойчивость откосов.

Наиболее просты для производства работ дамбы из однородных грунтов, в качестве которых используют суглинки или пески. Поперечное сечение дамбы из однородного грунта показано на рис. 18.

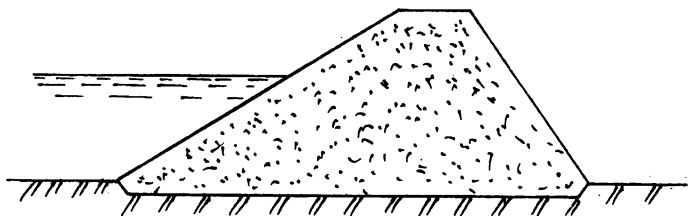


Рис. 18. Поперечное сечение дамбы из однородных грунтов

При их возведении из песков и других водопроницаемых грунтов поперечный профиль делают более массивным. Для снижения фильтрации устраивают специальные противофильтрационные элементы: ядро, экран, диафрагму. Они выполняются из глинистых и суглинистых грунтов, полимерных пленок, асфальтобетона. Эти элементы усложняют

производство работ, особенно если они расположены в теле дамбы. Такое усложнение конструкции допустимо на устьевых участках рек. Объясняется оно не только особенностями работы сооружения, но и отсутствием поблизости грунтов необходимого гранулометрического состава. На рис. 19 показано поперечное сечение дамбы с ядром. На рис. 20 показано поперечное сечение дамбы с экраном.

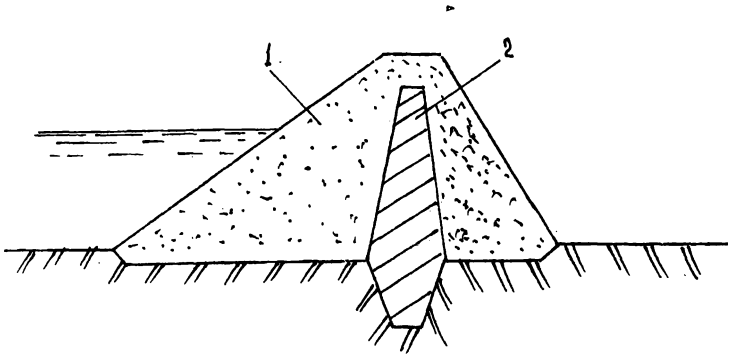


Рис. 19. Поперечное сечение дамбы с ядром:  
1 – тело дамбы; 2 – ядро

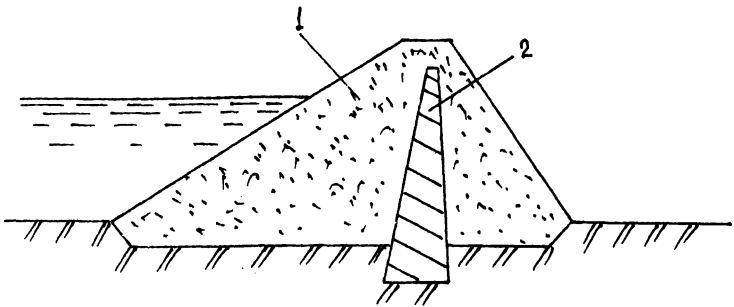


Рис. 20. Поперечное сечение дамбы с экраном:  
1 – тело дамбы; 2 – экран

Дамбы могут быть возведены и из неоднородных грунтов, послойно формирующих тело сооружения. На рис. 21 показано поперечное сечение дамбы слоистого строения.



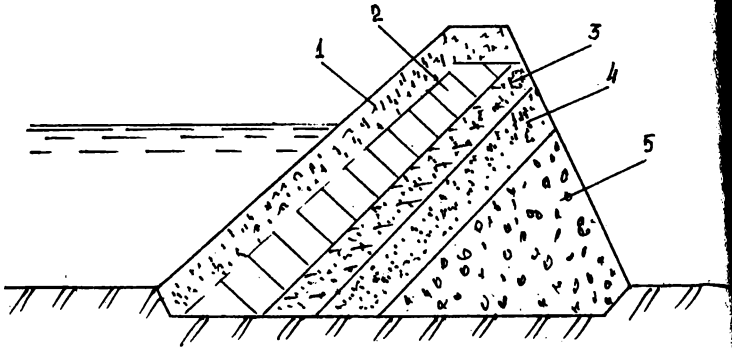


Рис. 21. Поперечное сечение дамбы слоистого строения:  
1 – защитный песчаный слой; 2 – водонепроницаемый слой;  
3 – супесь; 4 – песок; 5 – гравий

Параметры поперечного профиля дамбы – ширину по гребню и заложение откосов назначают из условия обеспечения устойчивости и надежности сооружения. Проектная ширина гребня должна быть не менее 3 м. Ее величина зависит от вида грунтов, из которых сложено тело дамбы.

Если она служит в качестве городской магистрали, то ширину гребня определяют требованиями, которые предъявляют к планировке транспортных путей. Однако во всех случаях обеспечивают возможность движения по гребню дамбы грузового транспорта, необходимого для эксплуатации сооружения.

Заложение откосов дамбы зависит от условий их работы, грунтов, высоты сооружения. Величина заложения откосов приведена в табл. 2.

## 2. Заложение откосов дамбы

Откос	Значение коэффициента откоса* в зависимости от высоты сооружения и грунтов		
	5	5...10	10...15
Верховой (м)	2/(2...2,5)**	2,5/(2,5...3)	3/3
Низовой (м)	1,75/2	2/2,25	2,25/2,25
Низовой (м) с дренажем в подошве откоса	1,5/2	1,75/2	1,75/2

\* Отношение размеров основания откоса к его высоте

\*\* В числителе при глинистых грунтах, в знаменателе при песчаных.

Верховой откос, работающий в напорных условиях и подвергающийся воздействию акватории, проектируют более пологим по сравнению с низовым, который таких воздействий не испытывает. Низовой откос защищает от размыва дождевыми и талыми водами, а также от суффозии. Схема воздействий на откосы дамбы показана на рис. 22.

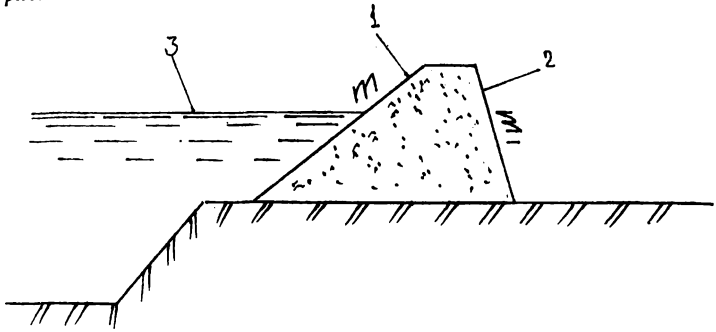


Рис. 22. Схема воздействий на откосы дамбы:  
1 – верховой откос; 2 – низовой откос; 3 – акватория

Волновые нагрузки, фронтально действующие на дамбу, могут быть смягчены уполаживанием верхового откоса, запроектированного с коэффициентом  $m=15\dots30$  и выполняющего волногасящую роль распластанного профиля. Отрицательной стороной такого решения является возрастание объемов земляных работ. Они не всегда компенсируются упрощением конструкции одежды верхового откоса. На рис. 23 показана дамба обвалования с уполаженным верховым откосом.

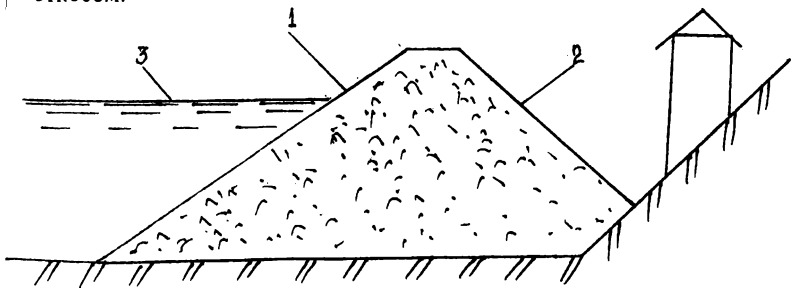


Рис. 23. Поперечное сечение дамбы с уполаженным верховым откосом:  
1 – уполаженный верховой откос; 2 – низовой откос; 3 – акватория

Пологие (распластанные) напорные откосы из несвязанных грунтов успешно эксплуатируют с креплением травами специально подобранного состава. В этом случае проектируют очертание откоса в виде ломанной линии с переменными коэффициентами ПГ на различных участках. Если высота дамб значительна (10м и более), то в ее откосах устраивают горизонтальные площадки (бермы) с шириной менее 3м. На низовом откосе можно предусмотреть устройство зоны отдыха с пешеходными аллеями и дорожками. На рис. 24 показано поперечное сечение дамбы с устройством зоны отдыха на низовом откосе.

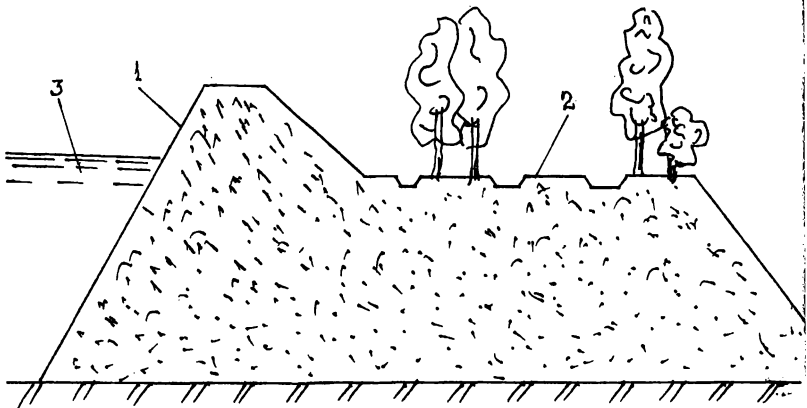


Рис. 24. Поперечное сечение дамбы с устройством зоны отдыха на низовом откосе:

1 – верховой откос; 2 – низовой откос с зоной отдыха; 3 – акватория

На низовом откосе можно разместить застройку. Поперечный профиль дамбы с застройкой на низовом откосе выполняют с распластанным низовым откосом ( $m_1=20\dots50$ ).

На рис. 25. показана дамба с распластанным низовым откосом, на котором размещена застройка. Подобные конструкции дамб обвалования широко используются при устройстве гидропарков.

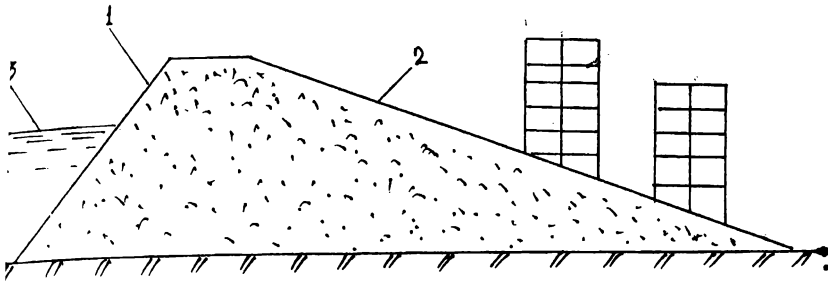


Рис. 25. Поперечное сечение дамбы с устройством застройки на распластанном низовом откосе:

1 – верховой откос; 2 – низовой откос с застройкой; 3 – акватория

Заслуживает внимание вариант увеличения площади застройки путем поэтапного обвалования защищаемой территории, когда по мере ее освоения возводят последующую временную из числа дамб, расположенных параллельно береговой линии. Дамбы в этом случае устраивают с пологими (распластанными) откосами по типу профилированных подсыпок. На рис. 26 показана технология поэтапного обвалования.

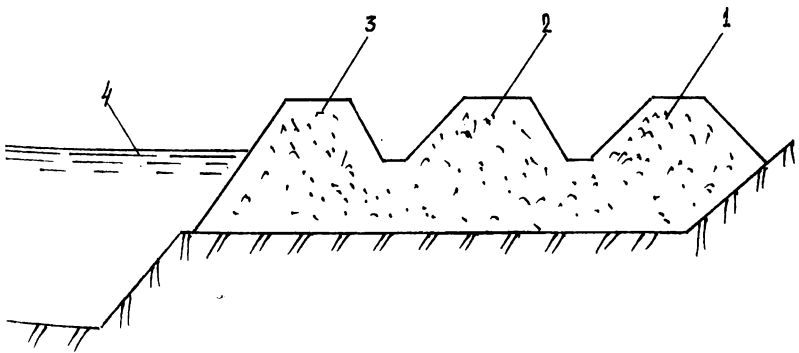


Рис. 26. Технология поэтапного обвалования:  
1 – дамба первого этапа; 2 – дамба второго этапа;  
3 – дамба третьего этапа; 4 – акватория

Этот вариант имеет преимущество по сравнению со сплошной подсыпкой по показателю объемов земляных работ.

Конструкции креплений верхового откоса дамбы проектируют так же, как и береговые откосные набережные. Наряду с обычными конструкциями используют и современные конструкции дамб и капитальных набережных стенок (этот вариант связан с большими затратами, поэтому его применение должно быть технически оправданно). Низовой откос дамбы обвалования закрепляют травяным покрытием, которое проектируют по правилам агротехники, разработанным для конкретного климатического района. Покрытие гребня делают по типу дорожных одежд.

Обязательным элементом водохранилищных и морских дамб является дренаж в подошве низового откоса. В речных дамбах дренаж как правило, не предусматривают, т.к. в большинстве случаев из-за кратковременного напора воды на сооружении депрессивная кривая не успевает сформироваться в теле дамбы. Вертикальную планировку и водоотвод на защищаемой территории практикуют, обеспечивая отвод поверхностного стока в пониженные места, прилегающие к дамбе обвалования. Тогда в период меженных горизонтов в реке обеспечивается самотечный сброс поверхностных вод через специальные водовыпуски, предусмотренные в теле дамбы. Выпуск оборудуют затворами, чтобы исключить возможные затопления территории в период высоких горизонтов воды. Во время высокого стояния уровней сброс поверхностных вод, как и дренажных, осуществляют путем механической перекачки насосными станциями.

Защиту от подтопления обвалованных территорий проектируют на основе прогноза режима грунтовых вод в периоды меженного и высокого уровней реки.

В период меженных вод (ГМВ) в реке режим подземных вод соответствует их бытовому режиму, поэтому в защите от подтопления нуждается обычно лишь присклоновая часть поймы, где и проектируют дренажные устройства.

В период высоких уровней воды постепенно возрастает фильтрация из реки и по мере полного насыщения пород водой свободная поверхность грунтового потока, поступающего со стороны застройки, постепенно переходит в напорную. При продолжительном стоянии высоких вод может возникнуть опасность прорыва покровных отложений или подтопленной береговой зоны. Для снятия напора в прибрежной зоне используют, как правило, системы береговых дренажей.

Искусственное повышение отметок территории. Поверхности защищаемых территорий повышают до незатопляемых отметок. Высоту подсыпки устанавливают исходя из  $H_c$  – расчетной отметки верха водоградительных сооружений.

Для возведения земляной насыпи применяют песчаные и глинистые грунты. При гидронамыве территории используют песчаные грунты, обладающие хорошей водоотдачей, низким коэффициентом остаточного взрыхления и, следовательно, малой усадкой. В отличие от песчаных, глинистые грунты при намыве не образуют жесткого скелета сразу после окончания работ. Для консолидации глинистых грунтов в теле насыпи необходимо продолжительное время, а это влечет за собой задержку сроков освоения территории.

При сухой укладке грунтов также отдают предпочтение песчаным грунтам, хотя эффективность этого способа возведения насыпи не столь высока, как при гидронамыве. В табл. 3 приводится оценка эффективности технологий повышения уровня территории.

### 3. Оценка эффективности технологий повышения поверхности территории

Виды грунта	Технология повышения уровня территории	Эффективность технологии
Песчаный	Гидронамыв	Большая скорость консолидации, создание безусадочной насыпи сразу после возведения
	Сухая укладка	Большая трудоемкость работ по доставке и укладке грунта
Глинистый	Гидронамыв	Консолидация длится не менее 2-5 лет, необходим дополнительный объем работ для предотвращения сброса мелких частиц грунта с осветленной пульпой в водоемы.
	Сухая укладка	Большая трудоемкость работ по доставке и укладке грунта, необходимость увлажнения и подсушивания грунтов при уплотнении

Проектный профиль может иметь различные варианты в зависимости от рельефа и размеров застраиваемой территории.

На рис. 27 показана схема традиционного решения поперечного профиля насыпи при размещении застройки с максимальным приближением к водоему. Генеральный проектный уклон имеет падение в сторону реки. Его величина обеспечивает самотечный режим коллекторов дождевой канализации при минимуме объема земляных работ по возведению насыпи. Вертикальную планировку поверхности на локальных участках выполняют в соответствии с требованиями к высотному решению городских территорий.

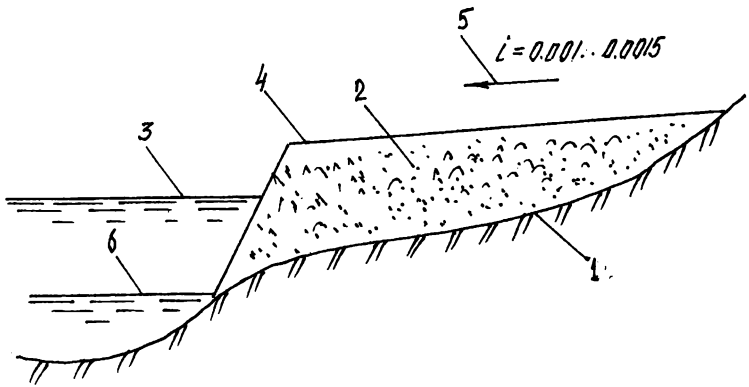


Рис. 27. Схема традиционного профиля насыпи:  
 1 – естественная поверхность; 2 – насыпь; 3 – горизонт  
 высоких вод 1% обеспеченности; 4 – красная линия застройки;  
 5 – генеральный проектный уклон насыпи; 6 – горизонт меженных вод

На рис. 28 показан поперечный профиль насыпи, выполненный в виде двух плоскостей с встречными генеральными уклонами. Он предполагает устройство водоотводного коллектора, размещенного параллельно реке.

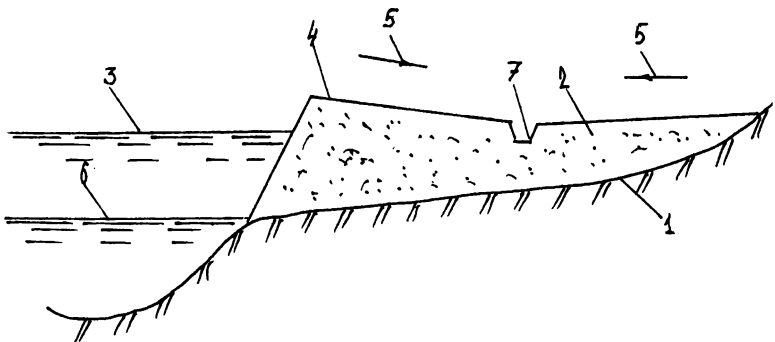


Рис. 28. Схема профиля насыпи, выполненного в виде двух плоскостей:  
 1 – естественная поверхность; 2 – насыпь; 3 – горизонт  
 высоких вод 1% обеспеченности; 4 – красная линия застройки;  
 5 – генеральный проектный уклон насыпи; 6 – горизонт меженных вод;  
 7 – коллектор ливневой канализации

Разновидностью этого варианта может быть пилообразный поперечный профиль с размещением нескольких водоотводных коллекторов. Решение по этой схеме целесообразно принимать, когда на защищаемой территории имеются водотоки с небольшими расходами. Их заключают в трубу и используют в качестве водоотводных коллекторов. Величину генерального уклона поверхности, имеющей падение в глубь территории, принимают минимально допустимой по условиям отвода поверхностных вод. Схема профиля насыпи пилообразного профиля показана на рис. 29.

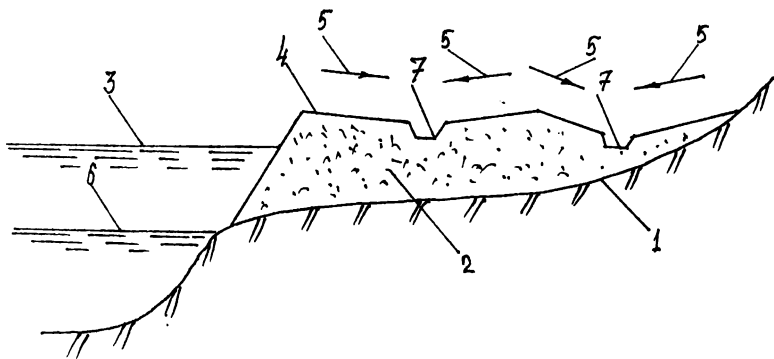


Рис. 29. Схема пилообразного профиля насыпи:  
 1 — естественная поверхность; 2 — насыпь; 3 — горизонт высоких вод 1% обеспеченности; 4 — красная линия застройки;  
 5 — генеральный проектный уклон насыпи; 6 — горизонт меженных вод;  
 7 — коллектор ливневой канализации

Когда прибрежную полосу поймы используют для парковых территорий, а застройку смещают в глубь защищаемой террасы, отметку парковых территорий рассчитывают на ГВВ частой повторяемости, а застроенных — на более редкую повторяемость. Уклоны предназначенной под застройку территории  $i=0,001-0,002$ , а прибрежного участка  $i=0,0015$ .

Имеются и другие способы уменьшения объемов работ, в частности комбинационной подсыпки с обвалованием.

Уровень грунтовых вод на застраиваемых территориях понижают с помощью дренажных систем. При этом учитывают, что водный режим пойменных территорий имеет свои особенности. Так, в присклонной части подсыпанной территории из-за снижения величины испарения грунтовых вод и нарушения их естественного вклинивания увеличивается доля транзитного потока подземных вод к реке.

Отсюда возможен подъем уровня грунтовых вод подтопления территории.



В период высоких уровней воды в водоеме происходит насыщение (хотя и временное) грунтов насыпи в прибрежной полосе за счет фильтрации из реки. Высота водонасыщенного слоя убывает по мере удаления от водоема, создавая при этом зону насыщения грунтовыми водами. Ее ширину можно прогнозировать, используя зависимость:

$$\chi = 1,62 \cdot \sqrt{K_{\phi} \cdot h \cdot t / m_n},$$

- где  $\chi$  – расстояние от бровки откоса подсыпки до сечения, где определяют положение УГВ, м;  
 $m_n$  – пористость грунтов насыпи, в долях от 1;  
 $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации грунтов насыпи, м/сут;  
 $h$  – превышение уровня воды в реке над водоупором, м;  
 $t$  – продолжительность стояния рассматриваемого горизонта высоких вод (ГВВ), сут.

Для защиты насыпи от размыва и разрушения проектируют берегоукрепление – конструкцию одежд, которые выбирают на основе общих требований, предъявляемых к благоустройству береговой полосы.

### 3. Защитные береговые сооружения

Гидротехническое обустройство пойменных террас и других прибрежных территорий для паркового строительства связано с необходимостью защиты от затопления, вызванного периодическим или постоянным повышением уровня воды в реках, водоемах и морских заливах.

Основные причины затопления территорий. Прибрежные территории оказываются затопленными, если уровни воды в реках, озерах, водохранилищах, морях периодически превышают отметки прибрежных территорий. Схема затопления прибрежной территории показана на рис. 30.

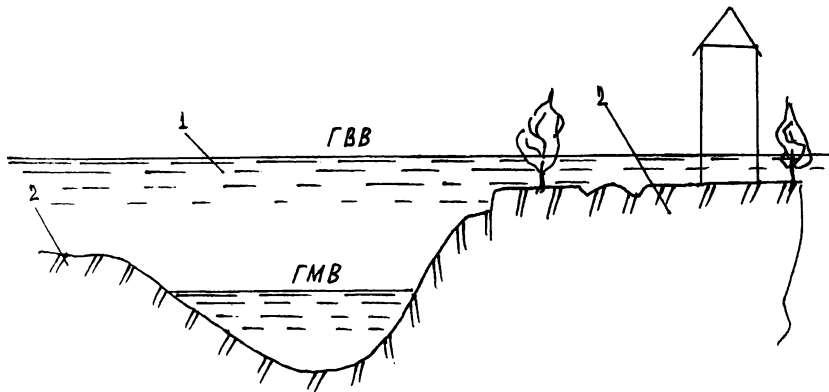


Рис. 30. Схема затопления прибрежной территории:  
1 – акватория; 2 – прибрежная территория

1. Превышение уровней может быть вызвано весенним половодьем, дождевыми паводками, интенсивным таянием снегов и ледников в горах.
2. Оно может быть следствием сильных волновых явлений в крупных озерах, водохранилищах и морских заливах, где часто возникают длинные волны, а на побережьях океанов и морей – периодические приливы.
3. Территории, расположенные в устьях рек, впадающих в моря, могут быть затоплены в результате ветрового нагона волны с моря и подпора уровня рек.

4. Затопление территорий происходит и в результате нагромождения в русле большого количества льда у естественных или искусственных препятствий, или зажоров от скопления в русле шуги.

5. Причиной повышения уровня воды в реке может быть отложение наносов в русле при больших расходах твердого стока реки.

6. На водотоках в районах вечной мерзлоты затопление территорий может быть вызвано образованием русловых наледей в период снеготаяния и рядом факторов. Рассмотренные причины приводят к кратковременному затоплению территорий.

7. Городские и парковые территории могут подвергаться постоянному затоплению, когда возводят подпорные гидротехнические сооружения и создают водохранилища ниже города по течению реки.

Воздействие водных масс на прибрежные территории проявляется только в затоплении.

Одновременно может происходить размыв берегов и дна водотока, отложения наносов и образование оползней, изменение террасы русла реки и размыв поверхности поймы.

Иными словами, затопление сопровождается деформацией речных русел и пойм, переформирование берегов, характер и масштабы которого зависят не только от свойств водного потока, но и от особенностей рельефа долины реки и геологических условий прибрежной территории.

Следствием затопления может быть подтопление территорий не только пойменной террасы, но и прилегающих к ней участков.

При проектировании защитных мероприятий за расчетный горизонт высоких вод водоема принимают отметку наивысшего уровня воды различной повторяемости.

Расчетный период повторяемости зависит от характера градостроительного использования территории.

Для районов застройки жилыми и общественными зданиями повторяемость принимают равной один раз в 100 лет (1%-ная обеспеченность) для парков и плоскостных сооружений один раз в 10 лет (10%-ная обеспеченность).

Если на защищаемой территории проектируют предприятия крупного народнохозяйственного значения, то за расчетный горизонт принимают отметку уровня 1%-ной обеспеченности. Для остальных промышленных предприятий 2%-ной, кроме производства с коротким сроком эксплуатации (менее 80 лет), для которых расчетным будет уровень 10%-ной обеспеченности.

Для решения задач инженерной подготовки пойменных территорий важна характеристика рек по величине максимального расхода, которая в свою очередь зависит от площади бассейна реки.

В пределах нашей страны выделяют следующие типы рек.

1. Малые реки с площадью бассейна 1000...2000 га и амплитудами уровней 2...4 м;
2. Средние реки, имеющие размеры бассейна 2000...5000 га и амплитудами 5...8 м;

3. Большие реки (реки Сибири и Дальнего Востока), имеющие площадь бассейна стока более 5000 га и амплитудой колебания уровней 15 ... 30 м.

Методы защиты территорий от затопления и их проектирование.

Защиту территорий от затопления обычно предусматривают в сочетании с другими общими и специальными мероприятиями инженерной подготовки. Известны следующие методы защиты.

1. Устройство дамб обвалования, которые трассируют вдоль водоема, отделяя от него защищаемую территорию. Схема защиты территории дамбой обвалования показана на рис. 31.

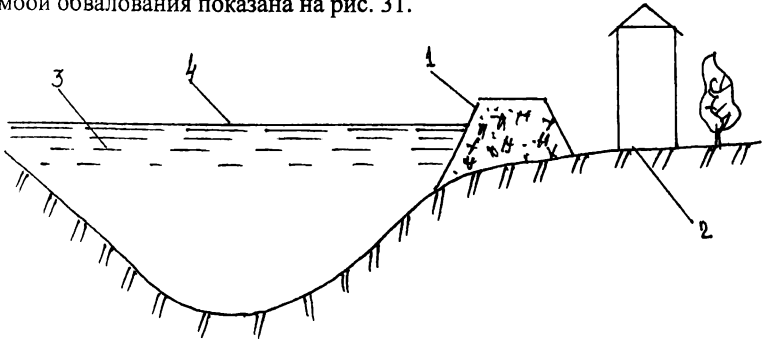


Рис. 31. Схема защиты территории дамбой обвалования:  
1 – дамба; 2 – защищаемая территория; 3 – акватория;  
4 – горизонт высоких вод

2. Подсыпка затопляемой площади до отметки, превышающей расчетный уровень высоких вод в реке. Схема подсыпки затопляемой площади показана на рис. 32.

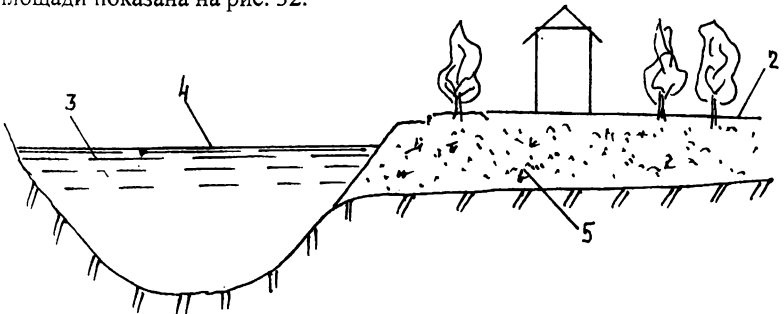


Рис. 32. Схема защиты территории подсыпкой затопляемой площади:  
1 – дамба; 2 – защищаемая территория; 3 – акватория;  
4 – горизонт высоких вод; 5 – подсыпка

3. Увеличение пропускной способности источника затопления. Это возможность транспортировать максимальные расходы при менее высоких уровнях. Реку углубляют и спрямляют, а при необходимости расчищают русло, увеличивая поперечное сечение потока. Схема увеличения пропускной способности реки показана на рис. 33.

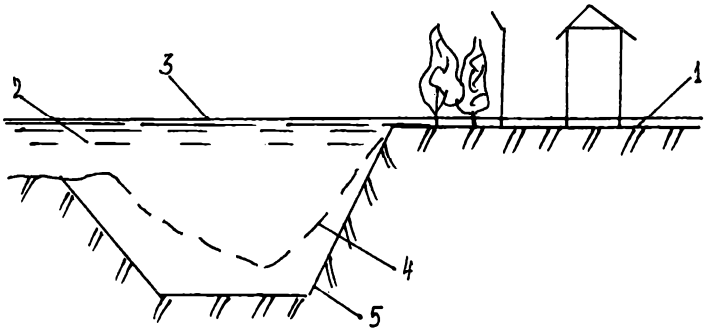


Рис. 33. Схема увеличения пропускной способности реки:  
1 – защищаемая территория; 2 – акватория;  
3 – горизонт высоких вод; 4 – поперечное сечение русла до производства работ; 5 – поперечное сечение русла после производства работ

4. Регулирование стока воды. Расходы главного русла реки уменьшают. Для этого устраивают разгрузочные каналы, создавая резервные водохранилища или объединяя те и другие. Схема регулирования стока воды показана на рис. 34.

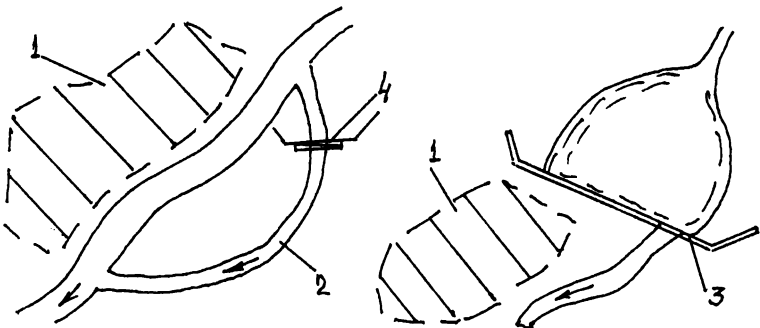


Рис. 34. Схема регулирования стока воды:  
1 – защищаемая территория; 2 – разгрузочный канал;  
3 – перегородивающее сооружение; 4 – шлюз регулятор

Методы защиты территории и комплекс применяемых сооружений приводится в табл. 4.

#### 4. Методы защиты территории от затопления

Методы защиты	Комплекс сооружений и систем	
	основных	дополнительных
1. Обвалование	Водооградительные сооружения – дамбы	Дренажные и водоотводные системы
2. Подсыпка	Водооградительные сооружения – земляные насыпи	То же
3. Регулирование русла	Углубление русла	То же
4. Регулирование стока	Обводные каналы, водохранилища	Водооградительные сооружения при неполной срезке «пиковых» расходов. Дренажные и водоотводные системы

Обвалование и подсыпка являются наиболее распространенными методами. Их используют как самостоятельно, так и в сочетании. Значительно реже применяют другие методы, поскольку регулирование с помощью каналов не всегда обеспечивает необходимый эффект. Как правило, только их сочетание с подсыпкой или обвалованием позволяет обеспечить защиту от затопления.

Устройство крупных водохранилищ планируют, обычно решая комплексные народнохозяйственные задачи использования водных ресурсов. Только для борьбы с наводнением такие водохранилища устраивают крайне редко, обычно в лавиноопасных районах. Стоимость строительства водохранилищ крайне высокая. Использование этого дорогостоящего метода защиты оправданно, когда катастрофические наводнения приводят к значительным ущербам.

Выбор оптимального варианта защиты – задача сложная, требующая учета архитектурно-планировочных, экономических и экологических требований, но предварительное представление о целесообразности использования тех или иных методов защиты можно составить на основе табл. 5 и табл. 6.

## 5. Оценка различных вариантов защиты территории

Методы защиты	Достоинства	Недостатки	Область применения
Обвалование	Небольшой объем земляных работ, возможность использования вновь осваиваемых и застроенных территорий	Перекачка дождевых и дренажных вод при ГВВ, «закрывает» непосредственный выход застройки к реке.	Большие площади подлежат защите, за ранее застроенной территории
Искусственное повышение отметок территории	Самотечный сброс дождевых и дренажных вод, возможность «выхода» города непосредственно к реке	Относительно высокая стоимость при небольших площадях защищаемой территории.	Малые площади подлежат защите, находясь близ территории карьеров песчаных грунтов.
Регулирование стока и русла реки	Отсутствие необходимости в выполнении других видов защиты территории города.	Высокая стоимость защитных мероприятий.	Использование существующих сооружений в водохранилищах небольших рек

В частности, большое, а иногда и решающее значение в выборе метода подсыпки или обвалования в настоящее время имеют способы производства земляных работ и дальность транспортирования грунта для создания водооградительных сооружений.

Современный метод градостроительного проектирования позволит выявить определенные тенденции в выборе основных мероприятий.

В крупнейших городах, расположенных на больших и средних реках и водоемах, где имеются подводные карьеры грунта, применена подсыпка территории (Архангельск, Санкт-Петербург, Москва, Горький, Курск).

В крупных городах, где песчаных карьеров нет (Орск, Новокузнецк) где в основном защищают от затопления уже существующую застройку (Астрахань, Благовещенск, Канск), используют метод обвалования, его также применяют во всех малых и средних городах. (Ельце, Имане, и т. д.)

Метод обвалования, по сравнению с повышением отметок, более экономичен. Подсыпанные территории можно более интенсивно использовать при градостроительстве.

## 6. Оценка вариантов защиты территории в зависимости от характера ее использования

Размер города	Характеристика защищаемой территории					
	Свободная от застройки или реконструируемая без капитальной застройки на реках			Реконструируемая с капитальной застройкой на реках		
	малых	средних	больших	малых	средних	больших
Малые	Обвалование или регулирование стока с обвалованием при сниженной высоте дамбы	Обвалование	Обвалование	Обвалование или регулирование стока с обвалованием при сниженной высоте дамбы	Обвалование	Обвалование
Средние, большие и крупные	Регулирование стока с подсыпкой при сниженной высоте подсыпки	Подсыпка территорий или регулирование стока со сниженной высотой подсыпки	Подсыпка территорий	Регулирование стока с обвалованием при сниженной высоте дамбы	Обвалование или регулирование стока с обвалованием при сниженной высоте дамбы	Обвалование

Защитные меры предусматривают не только для очагов затопления, но и охватывают речные бассейны целиком.

Комплексные решения вопросов защиты от затопления позволяют исключить возможность повышения уровня поверхностных вод на участках, находящихся вне зоны затопления. За пределами городской территории предусматривают агролесомелиоративные и гидротехнические мероприятия (водонаправляющие земляные валы, донные запруды, полузапруды и т. д.).

На городских территориях мероприятия, сопутствующие основным методам защиты от затопления, связаны с организацией поверхностного стока, понижением уровня подземных вод, берегоукреплением и защитой от эрозии.

Проектирование водоградительных сооружений заключается в определении основных параметров поперечного сечения дамбы и земляной насыпи, типа и конструкции одежды берегоукрепления.

Параметры водоградительных сооружений в значительной степени зависят от их высоты. Ее назначают из условий некоторого превышения гребня дамбы или бровки подсыпки над расчетным ГВВ. Это превышение



состоит из нескольких величин, определяемых капитальностью сооружений и особенностями ветрового режима акватории. На рис. 35 показана расчетная схема определения высоты водооградительного сооружения с откосом

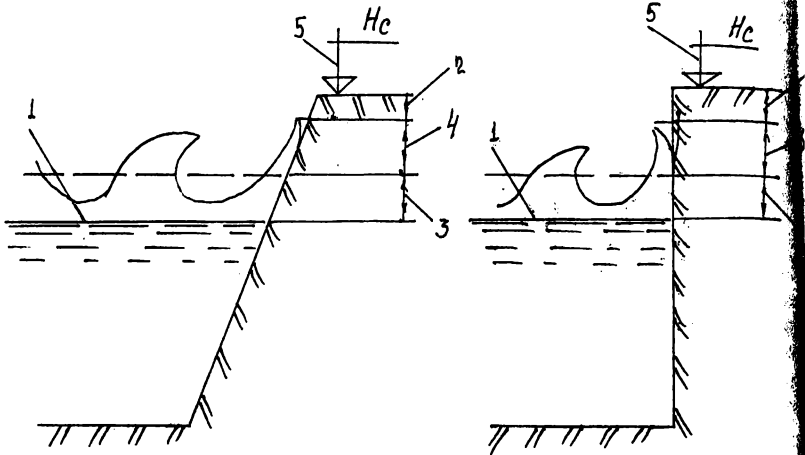


Рис. 35. Расчетная схема определения высоты водооградительного сооружения  
 1 – горизонт высоких вод ( $H_{ГВВ}$ ); 2 – запас ( $a$ ); 3 – высота ветрового нагона ( $\Delta h$ )  
 4 – высота наката волны ( $h_w$ ) или выплеска волны ( $h_s$ ); 5 – отметка гребня водооградительного сооружения ( $H_c$ )

В зависимости от класса капитальности сооружения назначают величину запаса  $a=0.5 \dots 0.7$ , т.к. капитальность водооградительных дамб относится к III классу. Коэффициент  $a$  характеризует превышение верха сооружений над горизонтом высоких вод. Возвышение отметки бровки насыпи при подсыпке территории принимают не менее 0,5 м. На крупных водоемах учитывают величину ветрового нагона  $\Delta h$  и высоту наката на откос  $h_w$  или выплеска волны  $h_s$ .

Отметку верха водооградительного сооружения с откосом  $H_c$  определяют по формуле:

$$H_c = H_{ГВВ} + a + \Delta h + h_w$$

При вертикальном берегоукреплении отметка верха сооружения  $H_c$  определяется по формуле:

$$H_c = H_{ГВВ} + a + \Delta h + h_a.$$

Подъем горизонта под влиянием ветрового нагона определяют по данным местных наблюдений, высоту волны и ее наката – по нормативным документам.

В тех случаях, когда водоградительные сооружения трассируют вдоль берега, сжимая русловой поток, в формулу необходимо добавить запас на возможное превышение ГВВ, вызванное уменьшением поперечного сечения реки.

Берегозащитные сооружения предотвращают подмыв берегов и деформацию русла рек.

Формы и конструкции берегоукрепления многообразны. Они зависят от назначения проектируемой территории, высоты водоградительного сооружения, гидрогеологических и климатических условий района строительства, определяющих нагрузки и воздействия на конструкцию.

Откосный и вертикальный профили отделки берега являются наиболее распространенными в городских набережных.

Откосно-вертикальная схема набережной находит применение при относительно больших глубинах в прибрежной полосе и в условиях сгона-нагона воды на устьевых участках реки. Схема откосно-вертикальной набережной показана на рис. 36.

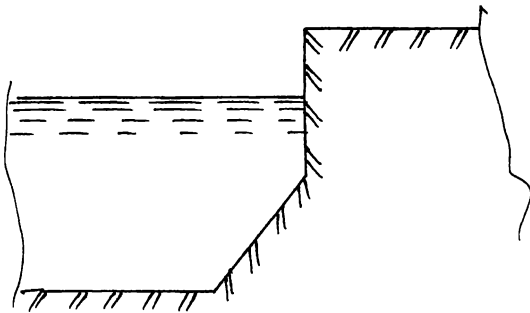


Рис. 36. Схема откосно-вертикальной набережной

Однако набережные этого типа могут быть возведены и на мелководье, но тогда высоту вертикальной части набережной делают не более 2...3м.

На реках с высокими паводками и крутыми возвышенными берега находят широкое применение набережные с горизонтальной площадкой или без нее. Схема набережной с площадкой показана на рис. 37.

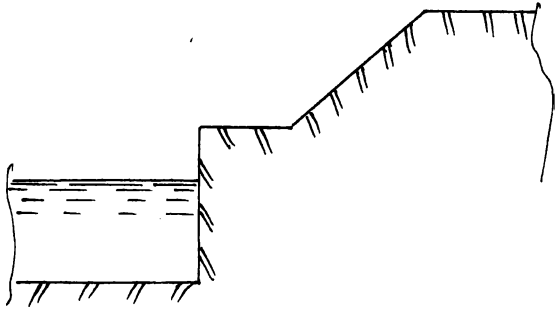


Рис. 37. Схема набережной с площадкой

На берегах морей, рек, каналов при амплитуде приливо – отливов и сезонных колебаний до 5...6м берегоукрепление проектируют в виде криволинейного силуэта. На рис. 38. Показана набережная криволинейн силуэта.

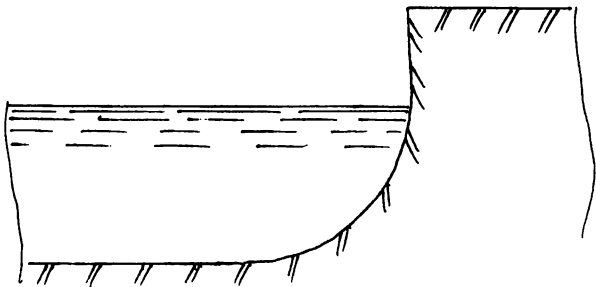


Рис. 38. Схема набережной криволинейного силуэта

Если прибрежные территории подвержены воздействию прибойных и разбивающихся волн, то верхнюю часть криволинейной зоны целесообразно выполнять с обратным уклоном. Это позволяет исключить выплескивание воды на берег при отсутствии ветра. На рис. 39 показана набережная с обратным уклоном.

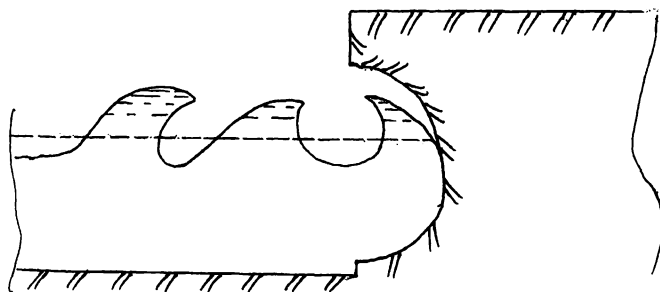


Рис. 39. Схема набережной с обратным уклоном

#### 4. Организация стока поверхностных вод на защищаемой территории

Организация стока поверхностных вод является инженерным мероприятием по сбору и удалению дождевых, талых и поливных вод за пределы городской территории в специально установленные места сброса. Поверхностные воды транспортируют с помощью сети дождевой (ливневой) канализации, которая обеспечивает благоприятные эксплуатационные условия городских и парковых территорий.

При проектировании дождевой канализации в расчет берут дождевые воды, которые дают наибольшие расходы стока. С этой точки зрения всех характеристик дождя наибольший практический интерес представляют средние значения интенсивностей за пределы различной длительности, включающие наиболее интенсивную его часть.

Интенсивность выпадения осадков – это количество их в единицу времени на единицу площади. Ее выражают в линейных единицах (мм/мин) и объемах (л/(с·га)).

В технических расчетах используют объемные единицы измерения, а для перехода от линейных к объемным вводят коэффициент:

$$q = 166,7 \cdot i_g,$$

где  $q$  – интенсивность дождя по объему, л/(с·га);

$i_g$  – интенсивность дождя по слою, мм/мин.

Вероятность повторения дождей определенной интенсивности за тот или иной период продолжительности характеризуют частотой превышения или периодом однократного превышения  $P$ . Эти величины имеют обратную зависимость. Вероятность выпадения дождей определенной интенсивности выражают в годах или в процентах (например,  $P = 4$  года,  $m = 0,25\%$ ).

Связь между ливневой (стокообразующей) интенсивностью дождя ( $q$ ), продолжительностью и периодом однократного превышения ( $P$ ) можно отразить математической зависимостью:

$$q = \frac{B}{t^n} = \frac{20^n \cdot q_{20} (1 + c \cdot \lg P)}{t^n},$$

где  $B$  – безразмерный параметр;

$q$  – интенсивность дождя по объему, л/с·га;

$t$  – расчетная продолжительность выпадения дождя, мин;

$P$  – период однократного превышения интенсивности, лет,

- назначаемый в зависимости от географического положения района и степени благоприятного расположения коллектора;
- $q_{20}$  – интенсивность дождя, продолжительностью 20 мин при  $P = 1$  год;
- $n$  – параметр, характеризующий темп уменьшения  $q$  с увеличением  $t$ ;
- $c$  – коэффициент, характеризующий географическое положение объекта.

Параметры  $n$ ,  $c$ ,  $q_{20}$  – зависят от географического положения района проектирования. Их определяют по методике приведенной в СНиП [5] с использованием специальных карт, рисунков, схем.

Продолжительность дождя определяют для максимальных расходов, поступающих в сеть. Эти расходы формируются за счет дождя, продолжительность которого равна времени добегания воды от наиболее удаленной точки бассейна водосбора до расчетного створа. Поскольку водосборные бассейны ограничены площадью, с которой в сеть поступают дождевые воды, то их границы намечают в зависимости от ряда факторов. Это естественный рельеф местности, планировочное и высотное решение городской территории и, наконец, положение трассы самой дождевой сети. Поэтому расчетную продолжительность дождя  $t$  устанавливают для конкретных условий проектирования с использованием формул:

$$t = T_{\text{конц}} + T_{\text{л}} + T_{\text{тр}}$$

- где  $t$  – расчетная продолжительность выпадения дождя;
- $T_{\text{конц}}$  – время концентрирования стока или добегания воды до уличного лотка или коллектора, сек.  $T_{\text{конц}}$  задают равное 5 мин при наличии на межмагистральной территории (ММТ) закрытой дождевой сети. Если такая сеть отсутствует, то ее определяют специальным расчетом, учитывая, что  $T_{\text{конц}}$  должно быть не менее 10 мин.
- $T_{\text{л}}$  – время пробега дождевых вод по уличным лоткам до дождеприемника, учитываемое при отсутствии внутримикрорайонных коллекторов, сек;

$$T_{\text{л}} = 1,25 \frac{l_{\text{л}}}{v},$$

- где  $l_{\text{л}}$  – длина лотка, трубопровода, м;
- $v$  – скорость движения дождевых вод в конце лотка или трубы, м/с;
- $T_{\text{тр}}$  – время протекания дождевых вод по уличным коллекторам до расчетного сечения, сек; определяется по формуле с учетом

поправочного коэффициента  $\Gamma$ , учитывающего постепенное заполнение свободной емкости труб при возникновении напорного режима:

$$T_{mp} = r^n \cdot \sum \left( \frac{l_{TP}}{v_{TP}} \right),$$

- где  $l_{TP}$  — длина расчетных участков коллектора, м;  
 $v_{TP}$  — скорость движения дождевых вод на соответствующих участках коллектора, м/с;  
 $r$  — поправочный коэффициент, принимаемый в зависимости от значения показателя степени  $n$ , приведенный в табл. 7.

#### 7. Значения показателя степени $n$

Показатель степени $n$	0,5	0,51 ... 0,6	0,61 ... 0,7	0,71
Коэффициент $\Gamma$ при уклонах местности $i < 0,1\%$	2,8	2,5	2,2	2,0

Значения коэффициента  $\Gamma$  изменяются в зависимости от интенсивности дождя ( $q$ ) и уклона местности на трассе коллектора ( $i$ ), так как в период сильных дождей коллектор работает в напорном режиме.

Наполнение свободной емкости труб происходит не сразу, а постепенно по мере нарастания скоростей и временной аккумуляции дождевых вод. В результате наблюдается уменьшение максимальных расчетных расходов, которое и учитывают введением коэффициента  $\Gamma$ .

При уклонах территории 0,1 ... 0,3% указанные величины уменьшают на 25% ... 30%, а при большой крутизне местности принимают равными 1,2.

Поверхностный сток на городской территории формируется, если выпавший дождь создает слой не менее 2 мм. На образование стока расходуются не все выпавшие осадки, а лишь некоторая их часть. Другая часть осадков составляет «потери стока», просачивается в грунт или испаряется. Для характеристики количества дождевых вод, поступающих в дождевую сеть, используют коэффициент стока  $\varphi$ , который представляет собой отношение величины стока к величине выпавших на водосборную площадь осадков. Он зависит от рода поверхности бассейна стока ( $\beta$ ), интенсивности ( $q$ ) и продолжительности дождя ( $t$ ).

$$\varphi = \beta \cdot q^{0.2} \cdot t^{0.1},$$

- где  $\varphi$  – средний коэффициент стока;  
 $\beta$  – средний коэффициент рода поверхности, также рассчитывается с учетом частных его значений и размеров поверхности различной степени водопроницаемости;  
 $q$  – расчетная интенсивность дождя, л/(с·га);  
 $t$  – расчетная продолжительность выпадения дождя, мин.

На застроенных территориях могут быть различные соотношения площадей поверхностями разной степени водопроницаемости, поэтому в пределах водосборной площади определяют средневзвешенное значение коэффициента стока:

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{(\varphi_1 \alpha_1 + \varphi_2 \alpha_2 + \dots + \varphi_n \alpha_n)}{100},$$

где  $\varphi_1 \dots \varphi_n$  – частные значения коэффициента стока;

$\alpha_1 \dots \alpha_n$  – процент площади соответствующих поверхностей.

Средний коэффициент рода поверхности также рассчитывают с учетом частных его значений и размеров поверхности различной степени водопроницаемости:

$$\beta = \frac{(\delta_{\text{пр}} \alpha_1 + \dots + \delta_{\text{н}} \alpha_n)}{100},$$

где  $\delta_{\text{пр}}$  – частные значения коэффициентов рода водопроницаемых

поверхностей, определяемые по табл. 8;

$\delta_{\text{н}}$  – частные значения коэффициентов рода водонепроницаемых поверхностей, определяемые по табл. 9.



### 8. Значения коэффициента рода поверхности $\delta_{\text{пр}}$ для водопроницаемых поверхностей

Род поверхности	Коэффициент стока $\varphi$	Коэффициент рода поверхности $\delta_{\text{пр}}$
Брусчатые мостовые и черные щебеночные покрытия	0,6	0,224
Булыжные мостовые	0,45	0,145
Щебеночные покрытия без обработки вяжущими материалами	0,4	0,125
Гравийные парковые дорожки	0,3	0,09
Грунтовые поверхности с заданным уклоном	0,2	0,064
Газоны	0,1	0,038

### 9. Значения коэффициента рода водонепроницаемых поверхностей $\delta_{\text{н}}$ для кровли и асфальтобетонных покрытий при $\varphi = 0,95$

Параметр $B$	Коэффициент $\delta_{\text{н}}$	
	$n < 0,65$	$n \geq 0,65$
300	0,32	0,33
400	0,30	0,31
500	0,29	0,30
600	0,28	0,29
700	0,27	0,28
800	0,26	0,27
1000	0,25	0,26
1200	0,24	0,25
1500	0,23	0,24

Скорость движения дождевых вод по лотку или трубе находят по специальным таблицам или рассчитывают по известным методам. Для этого предварительно назначают диаметр трубы или поперечное сечение лотка, а продольный уклон сети ( $i$ ) определяют по плану, где трассирован коллектор.

Величину площади стока ( $A$ ) принимают для каждого расчетного участка равной площади поверхности, дающей максимальный расход. При этом учитывают, что в ряде случаев он может формироваться не со всего бассейна стока, а лишь с какой-то его части коэффициента стока.

Гидрологический расчет ведут по методу предельных интенсивностей:

для переменных коэффициентов стока

$$Q = \frac{(\beta \cdot B^{1,2} \cdot A)}{t^{1,2 \cdot n - 0,1}};$$

для постоянных коэффициентов стока

$$Q = \frac{(\varphi_{ср} \cdot B \cdot A)}{t^n}.$$

- где  $Q$  — расчетный расход, л/с;  
 $t$  — расчетная продолжительность дождя, мин;  
 $A$  — расчетная площадь стока, га;  
 $\beta$  — средний коэффициент рода поверхности;  
 $\varphi$  — средний коэффициент стока.

Самотечные коллекторы в нормальных условиях должны работать на полный пропуск расчетного расхода, определенного при однократном превышении интенсивности дождя.

Задача гидравлического расчета: установить размеры дождевой сети, обеспечивающие пропуск расчетных расходов, уклоны коллектора и скорости течения воды при безнапорном и напорном режимах. Расчет дождевой сети ведут по формуле:

$$J = \left[ \frac{\lambda}{4R} \right] \cdot \left[ \frac{v^2}{2g} \right],$$

- где  $J$  — гидравлический уклон;  
 $\lambda$  — коэффициент сопротивления трению по длине трубопровода;  
 $v$  — средняя скорость движения дождевых вод, м/с;  
 $R$  — гидравлический радиус, определяемый из соотношения

$$R = \frac{\omega}{\chi},$$

- где  $\omega$  — площадь живого сечения лотка или трубы, м<sup>2</sup>;  
 $\chi$  — смоченный периметр, м;  
 $g$  — ускорение силы тяжести = 9,81 м/с<sup>2</sup>;

Коэффициент сопротивления трения по длине  $\lambda$  определяют по формуле, учитывающей различную степень турбулентности потока:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[ \frac{\Delta \varepsilon}{13.86 R} + \frac{a_2}{Re} \right],$$

- где  $Re$  – число Рейнольдса;  
 $\Delta \varepsilon$  – эквивалентная шероховатость, определяемая по табл. 10;  
 $a_2$  – безразмерный коэффициент, учитывающий характер шероховатости труб.

### 10. Эквивалентная шероховатость

Наименование сооружения и материала	Значения	
	$\Delta \varepsilon$	$a_2$
Трубы		
Керамические	0,135	90
Асбестоцементные	0,60	73
Бетонные и железобетонные	0,20	100
Открытые лотки и закрытые каналы		
Из бута и тканного камня	0,635	150
Кирпичные	0,315	110
Бетонные и железобетонные, изготавливаемые на месте	0,300	120

В практике проектирования гидравлический расчет ведут на максимальный секундный расход  $Q$ . Заполнение элементов открытой сети принимают на 0,2...0,4 м ниже краев лотка. Глубина воды в уличных лотках ограничивается 4...5 см.

**Типы дождевой сети.** Поверхностные воды можно удалять с городской территории с помощью открытой, закрытой или смешанного типа сети. Наиболее совершенной является закрытая сеть.

Открытая дождевая сеть состоит из системы лотков, собирающих сток с улиц и прилегающих участков, удаляющих воды из пониженных мест территории, кюветы, и канавы, отводящих воды с больших площадей бассейна. Иногда открытую сеть дополняют русла малых рек и каналы.

Размеры поперечных сечений отдельных элементов сети определяют расчетом. При небольших площадях стока размеры поперечных сечений лотков и кюветов не рассчитывают, а принимают по конструктивным соображениям с учетом стандартных габаритов. На рис. 40 показаны поперечные сечения лотков и кюветов открытой дождевой сети.

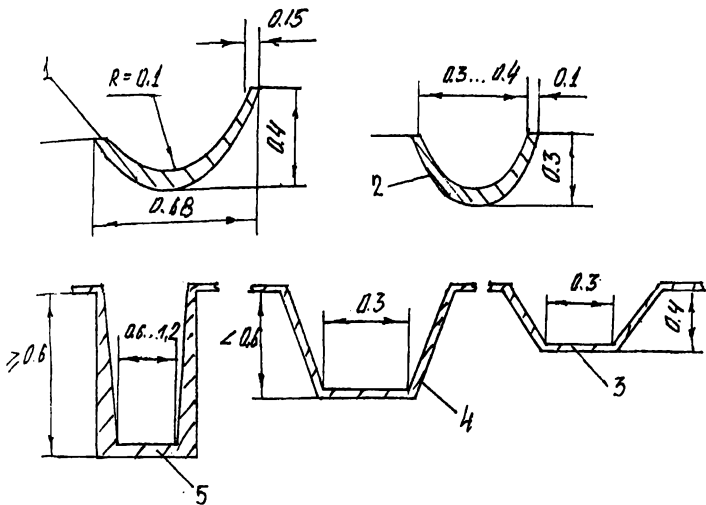


Рис. 40. Поперечные сечения лотков и кюветов открытой дождевой сети:  
 1 – бетонный бортовой лоток; 2 – притротуарный монолитный лоток;  
 3 – притротуарный сборный лоток; 4 – сборный лоток для канавы;  
 5 – сборный лоток для прокладки теплосети

В городских условиях водоотводящие элементы укрепляют одеждой по дну или всему периметру. Одежды выполняют из дерновки, каменного мощения, бетонных плит, монолитного бетона и сборных железобетонных элементов. Заложение откосов устраивают от ... : 1:0,25 до 1:0,5 в зависимости от вида грунта.

Поперечное сечение кюветов и лотков проектируют по трем схемам: трапецидальные, прямоугольные и параболические; канав: прямоугольные и трапецидальные. Наибольшую высоту кюветов и канав делают не более 1,2 м, исходя из предельной глубины потока 1,0 м.

В продольном профиле наименьшие уклоны лотков проезжей части, кюветов и водоотводящих канав принимают в зависимости от типа покрытия по табл. 11.

Эти уклоны обеспечивают наименьшую скорость движения дождевых вод, которая должна быть не менее 0,4...0,6 м/с.

Максимальные не размывающие скорости, влияющие на величину наибольшего уклона водоотводных элементов, принимают по данным табл. 12.

## 11. Уклоны лотков, кюветов, водоотводящих канав проезжей ча

Вид покрытия	Наименьшие уклоны %
Лотки проезжей части при асфальтобетонном покрытии	0,3
При брусчатом или щебеночном покрытии	0,4
При булыжной мостовой	0,5
Отдельные лотки и кюветы	0,5
Водоотводные канавы	0,3

## 12. Значение максимальной неразмывающей скорости

Вид покрытия	$v_{\text{нер.}}^{\text{max}}$ , при $h_{\text{пот.}} = 0,4 \dots 1 \text{ м}$
Крепление бетонными плитами	4
Одерновка плашмя	1
Одерновка в стенку	1,6
Мощение	2,0

На участках территории, где уклоны рельефа больше тех, при которых возникают скорости течения выше допускаемых, проектируют специальные сооружения, быстротоки и ступенчатые перепады.

Закрытая дождевая сеть включает следующие основные узлы.

1. Подводящие элементы (лотки улиц)
2. Подземную сеть трубы (коллекторов)
3. Дождевые и смотровые колодцы
4. Кроме этих сооружений сети всех типов имеют выпуски, водобойные колодцы, быстротоки, перепады, ливнеспуски и другие сооружения специального назначения.

Для коллекторов используют безнапорные трубопроводы, выполненные из керамики, асбестоцемента, пластмассы, железобетона и чугуна.

Дождеприемные колодцы размещают в местах понижения проектного рельефа, с целью перехвата дождевых вод, протекающих по лотку. В целях удобства эксплуатации длину ветви ограничивают 40 м. На ней устраивают не более 2 колодцев при длине ветви до 15 м. При скорости движения в коллекторе не менее 1 м/с допустимо присоединение ветви без смотрового колодца.

Смотровые колодцы на дождевой сети устанавливают в местах изменения направления трассы, диаметра и уклона труб, присоединения трубопроводов и пересечения с подземными сетями в одном уровне. Смотровые колодцы обычно выполняют из типовых сборных

железобетонных элементов. Размер колодцев делают таким, чтобы можно было бы производить очистку и осмотры водостоков. При диаметре труб до 0,6 м их делают круглыми, при больших диаметрах – прямоугольными.

Перепадные колодцы дождевой сети устраивают в местах перепада высотных отметок трубопроводов (т.е. трубопроводы расположены на разных уровнях) сопрягают, устраивая специальные перепадные узлы, гасящие скорость движения и инерцию потока.

При перепаде отметок более 6 м, проектируют последовательное размещение колодцев с прокладкой между ними водостока с максимально допустимыми предельными уклонами. Схема водостока при перепаде отметок более 6 м показана на рис. 41.

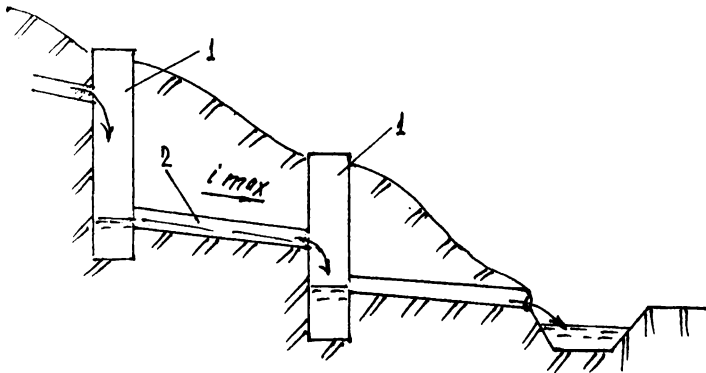


Рис. 41. Схема водостока при перепаде отметок более 6 м:  
1 – водобойный колодец; 2 – водосток с максимальным допустимым уклоном

Водосток можно выполнить в виде быстротока. Схема водостока в виде быстротока показана на рис. 42.

Возможно устройство глубокого шахтного перепадного колодца с прокладкой к нему водостока на большой глубине. Схема шахтного колодца с водостоком на большой глубине показана на рис. 43. Особенности проектирования смешанного типа дождевой сети связаны с применением различных конструктивных узлов, служащих для соединения трубопроводов с открытыми водоотводящими устройствами.

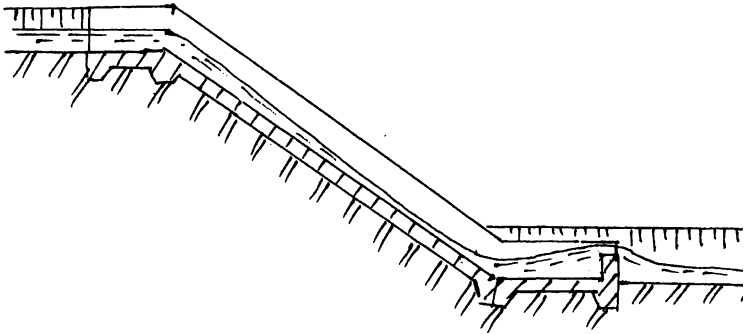


Рис. 42. Схема водостока в виде быстротока

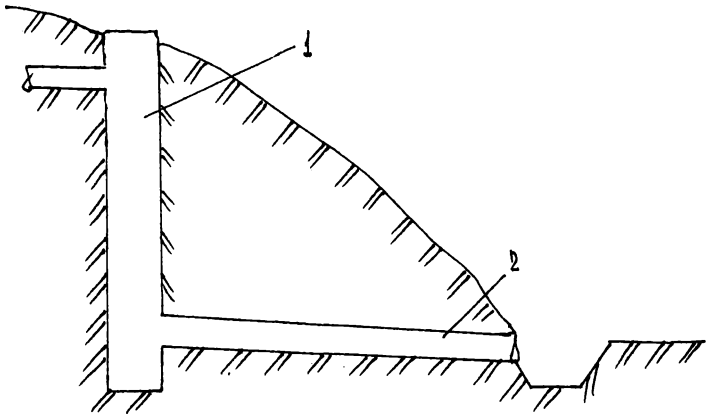


Рис. 43. Схема шахтного колодца с водосток на большой глубине:  
1 – шахтный колодец; 2 – водосток

К таким узлам относят оголовки, перепускные трубы и уже названные выше специальные сооружения: перепадные колодцы, быстротоки, ступенчатые перепады открытого и закрытого типа.

## 5. Регулирование русла реки

В качестве метода защиты от затопления регулирование русла дает эффект лишь на малых реках, где наблюдается относительно небольшое превышение паводковых расходов над меженными. Как правило, регулирование стока проектируют в сочетании с одним из основных методов защиты. Только такая комбинация дает возможность обеспечить не затопляемость территории и снизить отметку водооградительного сооружения.

Русла малых рек регулируют, углубляя и расчищая дно, спрямляя трассу и укрепляя берега.

Это позволяет увеличить пропускную способность реки за счет уменьшения гидравлического сопротивления русла. При заглублении предусматривают увеличение гидравлического уклона русла как в пределах защищаемой территории, так и вне ее границ. Схема регулирования русла реки показана на рис. 44.

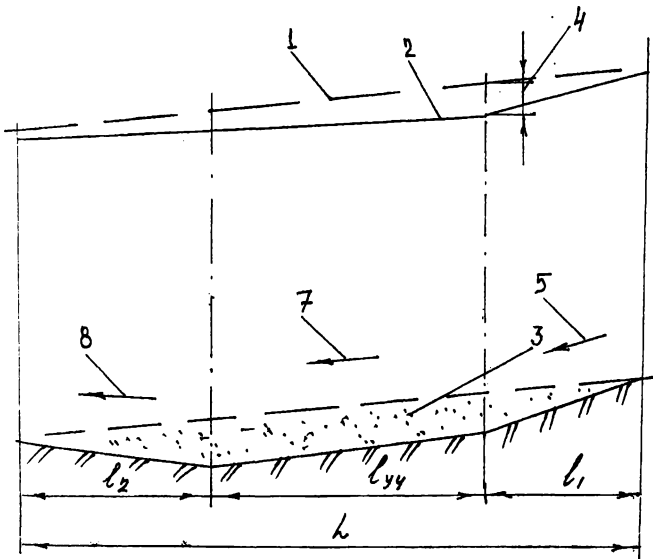


Рис. 44. Схема регулирования русла реки:

- 1 – естественный горизонт высоких вод (ГВВ); 2 – проектный горизонт высоких вод (ГВВ); 3 – извлекаемый грунт; 4 – понижение уровня ГВВ;
- 5 – проектный уклон на участке, который предшествует защищаемой территории; 7 – проектный уклон на участке в пределах защищаемой территории; 8 – проектный уклон на участке, который следует за защищаемой территорией



Это позволяет предотвратить размыв берегов вверх по течению о защищаемого участка и исключить подпор ниже этого участка.

Общая длина участка реки, на котором выполняется углубление русла определяется по формуле:

$$L = l_1 + l_{уч} + l_2 = \frac{2z}{i_{уч}} + l_{уч} + \frac{z}{(i_{уч} - i)},$$

где  $L$  – общая длина участка углубления, м;

$l_{уч}$  – длина участка углубления русла в пределах защищаемой территории, м;

$l_1, l_2$  – длины участков углубления дна за пределами защищаемой территории, м;

$Z$  – требуемая величина понижения уровня воды в реке, м;

$i$  – продольный уклон естественного русла реки;

$i_{уч}$  – уклон проектной линии дна.

Проектный продольный уклон на всех участках русла определяют по формуле:

$$i_{уч} = \frac{V^2}{C^2 \cdot R},$$

где  $V^2$  – средняя расчетная неразмывающая скорость течения на участках реки вне защищаемой территории, м/с;

$R$  – гидравлический радиус сечения;

$C$  – коэффициент, зависящий от шероховатости и формы русла

При проектировании учитывают условия «устойчивости русла по глубине», которое выражается соотношением между средними скоростями течения и средними глубинами реки:

$$V = a \cdot V_{\phi} \cdot H^{\alpha},$$

где  $H$  – средняя глубина потока, м;

$a$  – коэффициент, учитывающий содержание взвешенных наносов. Для горных и предгорных участков рек он равен 1, для равнинных рек он принимается в пределах от 1,1 до 1,5;

$\alpha$  – показатель степени принимается по справочнику [8];

$V_{\phi}$  – приведенная к единице глубины предельная скорость, при

которой не размывается русло и обеспечивается полный транзит донных наносов, м/с.

Ширина реки по урезу воды также должна удовлетворять требованиям «устойчивости русла по ширине реки», поэтому ее назначают с учетом предотвращения деления потока на рукава (протоки), образование мелей и островов. Ширина реки, удовлетворяющая этим требованиям, определяется по формуле:

$$B = D \cdot (Q^{0,5} / i_{уч}^{0,2}),$$

- где  $B$  -- проектная ширина реки по урезу воды, м;  
 $Q$  -- расчетный руслоформирующий расход воды с обеспеченностью 3-10%, м<sup>3</sup>/с;  
 $i_{уч}$  -- продольный уклон водотока, отвечающий расчетному расходу;  
 $D$  -- параметр, значение которого для руслоформирующих расходов принимают по справочнику [8];

Связь между условием устойчивости русла по глубине и по ширине определяется по формуле:

$$B = D^2 \cdot (q / i_{уч}^{0,4}) = V \cdot H,$$

где  $q$  -- расход, приходящийся на единицу ширины русла ( $q=Q/B$ ).

Пропускную способность русла можно увеличить, спрямляя меандрические участки реки и засыпая отдельные места старого русла, границы затопления до спрямления русла. Схема спрямления русла показана на рис. 45.

Площадь сечения спрямленного проектируемого русла определяют условиями пропуска паводков требуемой обеспеченности. Как правило, выправительные и дноуглубительные работы совмещают. Если выправление используют как средство борьбы с деформацией русла, вызванное разрушающим действием течения реки, то дополнительно создают различные регуляционные гидротехнические сооружения: шпоры, струенаправляющие дамбы, полузапруды и т.д.

Для фиксации линии берега и защиты требуемых склонов от обрушения, подмыва и переработки проводят берегоукрепительные работы.

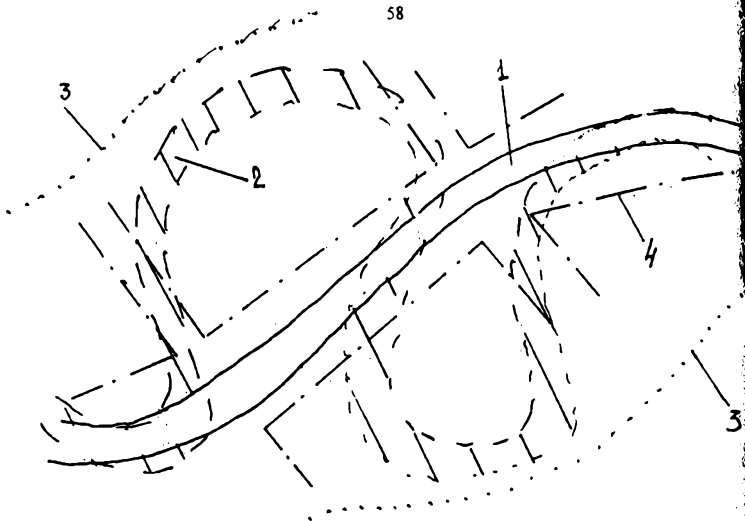


Рис. 45. Схема спрямления русла:

1 – проектируемое русло; 2 – засыпанное старое русло; 3 – граница затопления до спрямления русла; 4 – красная линия застройки

**Регулирование стока.** Уменьшение расходов воды в период паводка или половодья достигается устройством разгрузочного обводного канала или водохранилищами, которые образуют с помощью плотин. Часто регулирование стока осуществляют, используя одновременно водохранилище и разгрузочный обводной канал. Схема регулирования стока показана на рис. 46.

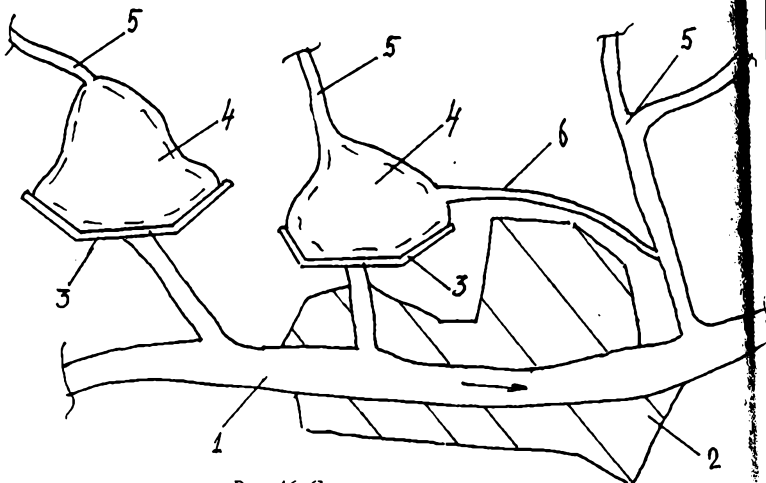


Рис. 46. Схема регулирования стока:

1 – русло реки; 2 – парковая и городская застройка; 3 – плотина; 4 – водохранилище; 5 – приток к реке; 6 – обводной канал

Разгрузочный канал позволяет перехватить часть максимального расхода перед защищаемой территорией, отвести его за пределы этой территории и сбросить ниже по течению реки или в близ расположенный крупный водоем. В климатических районах, где необходимо искусственное орошение территорий разгрузочный канал может быть использован для транспортирования воды в нижележащие орошаемые угодья. Разгрузочный канал трассируют и на городской территории. Тогда он выполняет роль не только защиты от затопления, но и активно формирует окружающий ландшафт, являясь архитектурно-планируемым элементом.

Поперечное сечение обводного канала рассчитывают на пропуск необходимых расходов в период максимальных горизонтов в основном источнике затопления – русле реки.

Водохранилища регулируют сток реки путем срезки максимальных расходов. Они удерживают часть стока и пропускают расходы, которые не вызывают затопления территории.

Водохранилища создают выше защищаемого населенного пункта. Плотины располагают на основной реке или на ее притоках, максимально используя рельеф местности и устраивая водохранилище в естественных впадинах. Когда вместимость оказывается недостаточной, можно на основной реке и на ее притоках создавать ряд водохранилищ. При этом предусматривают возможность регулирования стока в пределах речной системы.

Плотины водохранилищ делают земляными, а их водоотборные участки бетонными и железобетонными. Для регулирования уровня воды в водохранилище плотины предусматривают водосбросы через гребень или через выпускные отверстия в теле плотины. При напорах до 5 м применяют мягкие плотины из синтетических материалов. Поперечное сечение мягкой плотины показано на рис. 47.

Плотину размещают таким образом, чтобы избежать затопления ценных с/х земель. Целесообразно ее проектировать в узком месте долины реки, обеспечивая минимальную длину, и следовательно, объем работ. Следует учитывать требования к грунтам основания: незначительную фильтрационную способность и достаточно несущую способность. Поскольку строительство крупных водохранилищ на равнинных реках неизбежно влечет затопление больших площадей пойменных террас и речных долин, то одновременно со строительством сооружений проводят в речном бассейне работы по задерживанию стока рек. Это позволяет не только уменьшить объемы водохранилищ, но и снизить уровень паводковых расходов за счет регулирования стока. Берега водохранилищ и каналов, откосы земляных плотин должны быть защищены от разрушения.

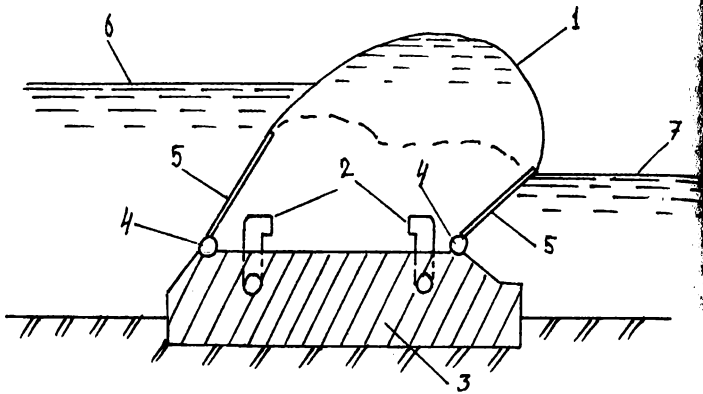


Рис. 47. Поперечное сечение мягкой плотины:

- 1 – эластичная оболочка; 2 – трубы для закачки воды;
- 3 – бетонное основание; 4 – водонепроницаемые шарниры;
- 5 – стальные створки; 6 – верхний бьеф; 7 – нижний бьеф

**Укрепление берегов.** На городских и парковых территориях берегоукрепление проектируют с учетом технических и экономических требований. Часто особое значение уделяют эстетическим требованиям, поскольку набережные являются одним из доминирующих элементов городской и парковой среды.

Наиболее капитальным и обладающим высокими архитектурными свойствами является вертикальный тип берегоукрепления в виде набережной стенки. Высокая стоимость такого типа берегоукрепления ограничивает его применение лишь в пределах плотной застройки и особой технической необходимостью. Поэтому вертикальные стенки проектируют в центральных районах крупных городов и на особо ответственных участках реки. Схема крепления берега в виде набережной стенки показана на рис.48.

В остальных случаях устраивают откосные берегоукрепления, которые по сравнению с предыдущим типом отличаются простотой и невысокой стоимостью.

Положение набережной стенки или укрепленного откоса на прибрежной полосе фиксировано линией регулирования стока реки. Для рек с естественным режимом регулирования их положение фиксируют по ГМВ. Для зарегулированных рек положение крепления набережной фиксируют по ГВВ или по нормально подпорному уровню (НПУ). На малых реках в пределах городских и парковых территорий уровень регулирования должен обеспечивать постоянную ширину водного зеркала

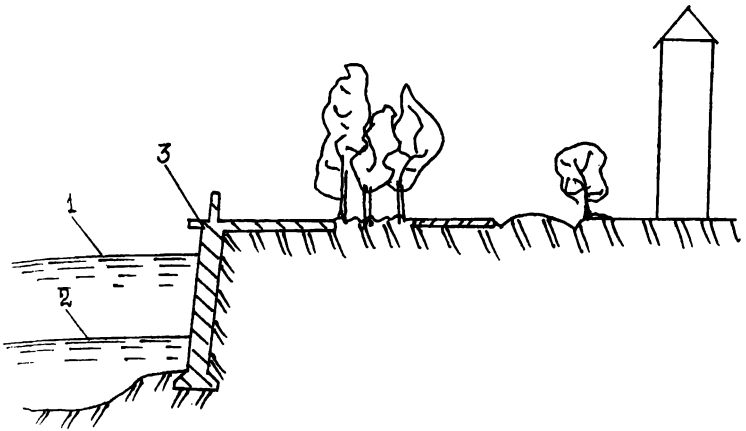


Рис. 48. Схема крепления берега в виде набережной стенки:  
1 – горизонт высоких вод (ГВВ); 2 – горизонт  
меженных вод (ГМВ); 3 – набережная стенка

Поперечный профиль береговой полосы проектируют по различным схемам в зависимости от градостроительного использования, рельефа местности и особенностей водоема. По архитектурным требованиям высоту набережной ограничивают 5...6 м. Двухъярусный поперечный профиль принимают при высоте набережной выше 6 м. Схема двухъярусного поперечного профиля набережной показана на рис. 49.

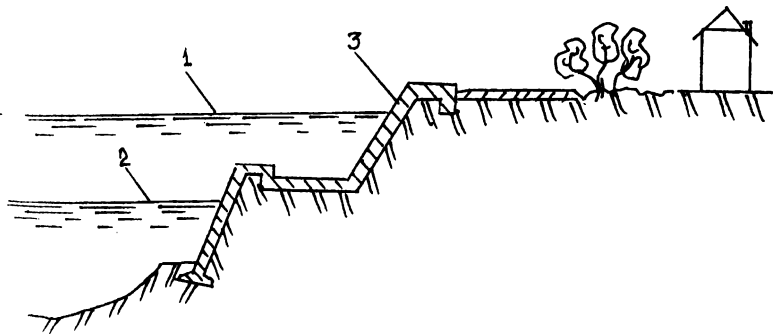


Рис. 49. Схема двухъярусного поперечного профиля набережной:  
1 – горизонт высоких вод (ГВВ); 2 – горизонт меженных  
вод (ГМВ); 3 – набережная стенка

Городские и парковые набережные ограждают парапетами, железобетонными или металлическими решетками. Высоту ограждений принимают в пределах от 0,9-1,0 м. Поверхность набережных

облицовывают камнем из морозостойких и не выветривающихся пород, иногда оставляют в бетоне, учитывая при этом требования эстетики берегоукрепления.

Применяют гравитационные и свайные набережные стенки. Гравитационные набережные проектируют в виде массивной подпорной стенки или уголковой конструкции. По экономическим соображениям применяют на основаниях, сложенных из прочных пород. Свайные набережные располагают на любых основаниях, кроме скальных, но чаще их используют в песчаных и глинистых грунтах. Описываемые конструкции состоят из тонких подпорных стенок (больверков) и свайных ростверков.

Безанкерные больверки являются простейшим типом вертикального крепления берега. Их свободная высота (расстояние от дна водоема до верха стенки) обычно не превышает 3...4 м. При использовании в конструкции экраняющих и регулирующих устройств свободная высота стенки на благоприятных грунтах основания может быть повышена до 4,5...6 м. При такой высоте рационально использовать заанкеренные конструкции ростверков. Они устойчивы к появлению возможных деформаций в безанкерных стенках, которые размещены рядом с транспортными путями.

Низкие свайные ростверки широко используют в конструкциях рек и каналах, которые обнажаются при низких уровнях водоема. Практически по всей длине свободная высота набережных такого типа превышает 5 м.

Высокие свайные ростверки имеют много конструктивных разновидностей. На рис. 50 показана наиболее распространенная конструкция свайного ростверка.

Ростверк, расположенный над горизонтом межени, устраивают без предварительного водоотлива, что объясняет широкое использование этой конструкции в городских набережных. Вертикальные усилия воспринимают сваи и шпунт, а горизонтальные – вертикальный навесной блок, являющийся одновременно ограждающей конструкцией. На рис. 51 приводится конструкция безанкерной тонкой подпорной стенки. Стенка выполняется из стального шпунта или ребристых железобетонных панелей шириной 3...4 м. На рис. 51б показана конструкция одноанкерной подпорной стенки. Анкерные тяги стальные. Анкерные плиты ребристые плоские железобетонные или из отрезков стального шпунта.

На рис. 52а приводится конструкция тонкой подпорной стенки, которая заанкерена вертикальными сваями. Сваи могут быть выполнены из металлического шпунта. На рис. 52б показана подпорная неразрезная стенка, которая заанкерена двумя анкерами.

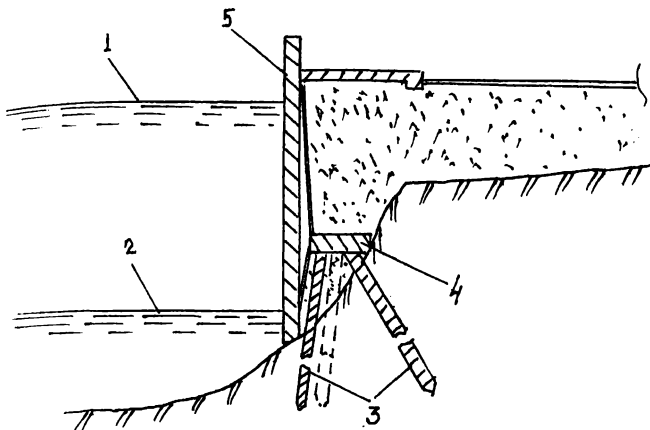


Рис. 50. Наиболее распространенная конструкция свайного ростверка:  
 1 – горизонт высоких вод; 2 – горизонт меженных вод; 3 – свайное поле;  
 4 – ростверк; 5 – вертикальная навесная панель

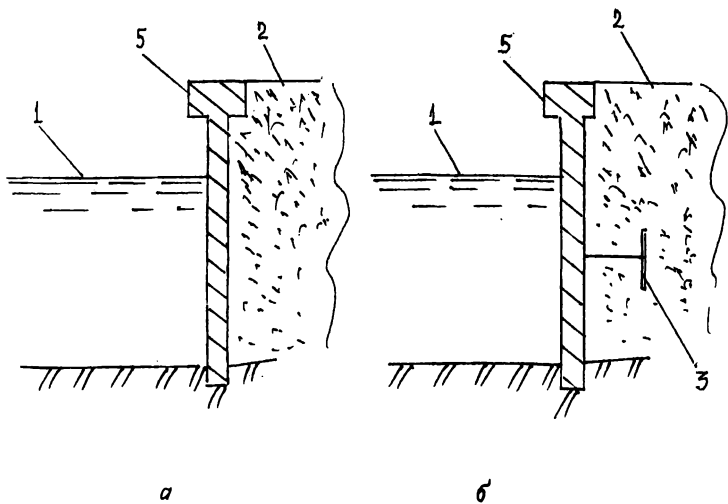


Рис. 51. Конструкция свайной набережной:  
 а – безанкерная тонкая подпорная стенка; б – одноанкерная подпорная стенка; 1 – акватория; 2 – берег;  
 3 – анкер; 4 – свая; 5 – стенка



Стенка выполняется из стального или железобетонного шпунта. Анкерные тяги стальные. Плиты ребристые или плоские. Они выполнены из железобетона или отрезков стального шпунта.

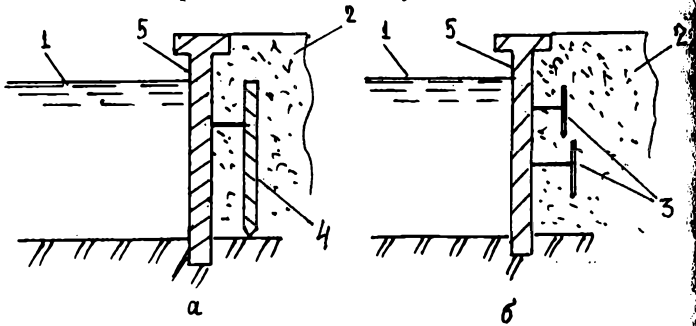


Рис. 52. Конструкция свайной набережной:  
 а – тонкая подпорная стенка, заанкерованная сваями;  
 б – двуханкерная неразрезная подпорная стенка; 1 – акватория;  
 2 – берег; 3 – анкер; 4 – свая; 5 – стенка

На рис. 53а показана разрезная двуханкерная подпорная стенка. рис. 53б – подпорная стенка, заанкерованная наклонными сваями.

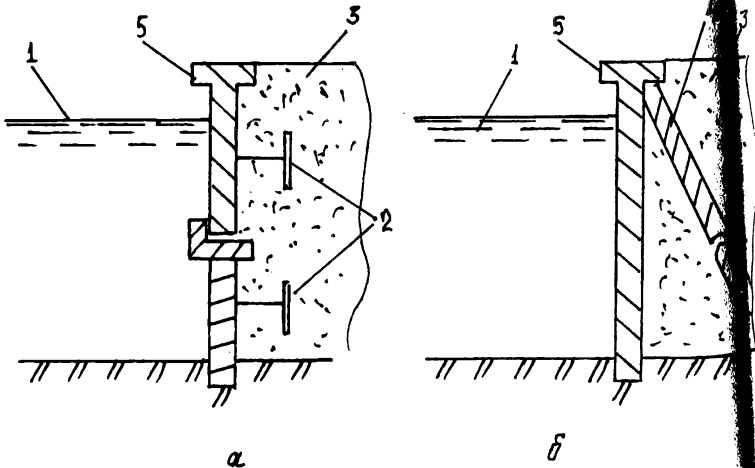


Рис. 53. Конструкция свайной набережной:  
 а – разрезная двуханкерная подпорная стенка;  
 б – подпорная стенка, заанкерованная наклонными сваями;  
 1 – акватория; 2 – анкер; 3 – берег; 4 – свая; 5 – стенка

На рис. 54 показана подпорная стенка с разгружающей каменной призмой. Стенка может быть выполнена без анкеров.

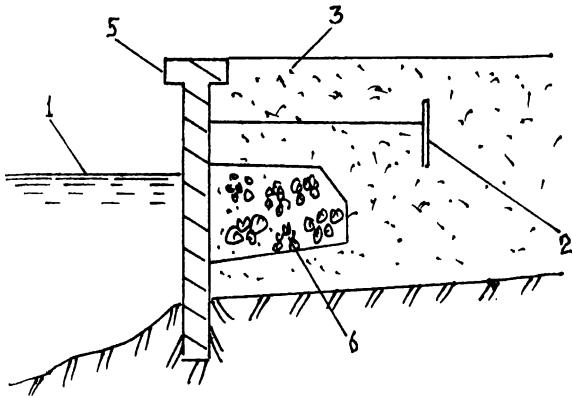


Рис. 54. Подпорная стенка с разгружающей каменной призмой:  
1 – акватория; 2 – анкер; 3 – берег; 4 – свая; 5 – стенка

На рис. 55а показана конструкция высокого свайного ростверка с задним шпунтом. Ростверк выполняют из железобетона. Сваи шпунты железобетонные или стальные. На рис. 55б – конструкция низкого свайного ростверка.

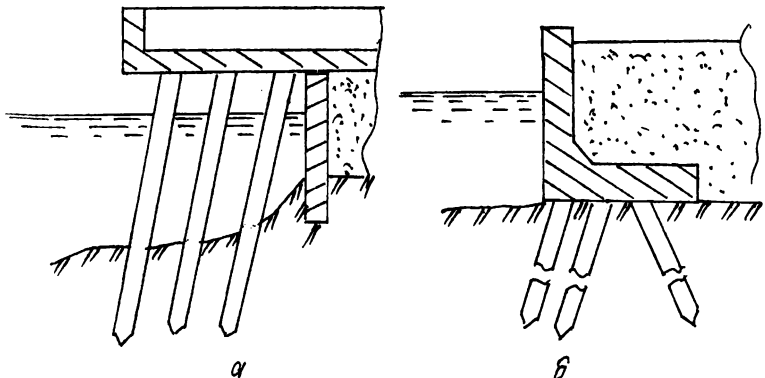


Рис. 55. Конструкция свайного ростверка:  
а – ростверк высокий с задним шпунтом;  
б – ростверк низкий

На рис. 56 приводится конструкция гравитационной набережной, в виде монолитной стенки. Она выполняется из бетона или железобетона.

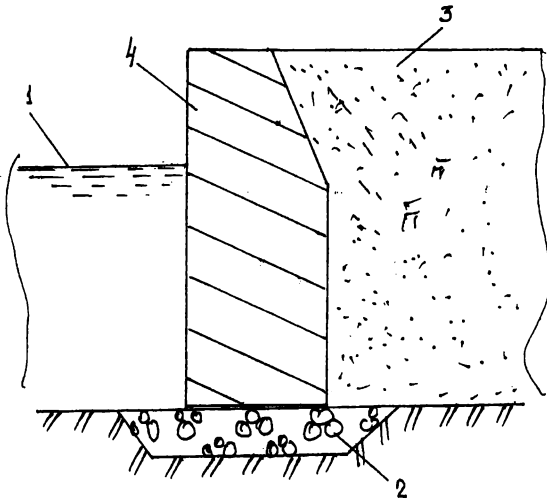


Рис. 56. Набережная в виде монолитной стенки:  
1— акватория; 2— фундаментная подушка; 3— берег; 4— стенка

Стенка набережной может быть выполнена из массивной кладки. В качестве материала используют блоки из бетона или железобетона. На рис. 57 показана набережная в виде стенки из массивной кладки.

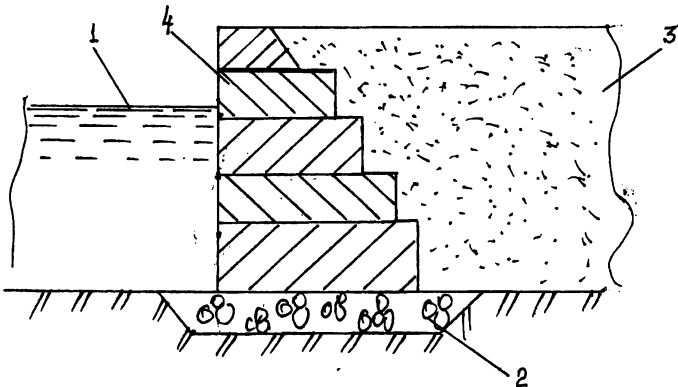


Рис. 57. Набережная в виде стенки из массивной кладки:  
1— акватория; 2— фундаментная подушка; 3— берег; 4— стенка

Более экономичные набережные уголкового типа с внутренней анкерровкой. Вертикальные и фундаментные панели выполняют из ребристых железобетонных плит. Плиты связывают анкерами из полосовой стали. На рис. 58 показана набережная уголкового типа.

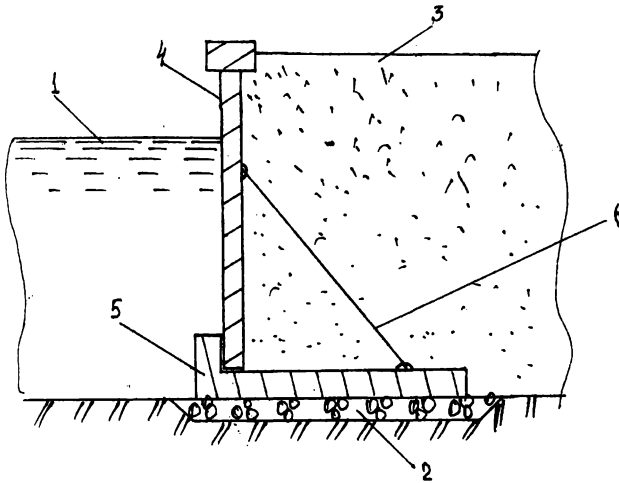


Рис. 58. Набережная уголкового типа:

1 — акватория; 2 — фундаментная подушка; 3 — берег; 4 — вертикальная панель; 5 — фундаментная плита; 6 — анкерная тяга

Гравитационные стенки на естественном основании, устраивают, как правило, с предварительным возведением оградительных перемычек и водоотлива, что необходимо для выполнения строительных работ. В зоне водохранилищ также стенки возводят до его заполнения водой или в период сработки уровня. На рис. 59 приводится более сложная конструкция набережной в виде стенки с отмошкой.

На скальном основании набережная выполняется без фундаментной подушки. На рис. 60 приводится конструкция набережной в виде стенки на скальном основании.

Конструкции массивных бетонных и выгороженных из камня стенок применяют редко, из-за того, что они не удовлетворяют современным требованиям индустриальности, но эти конструкции издавна использовались в портовом строительстве, речных и морских берегоукреплениях.

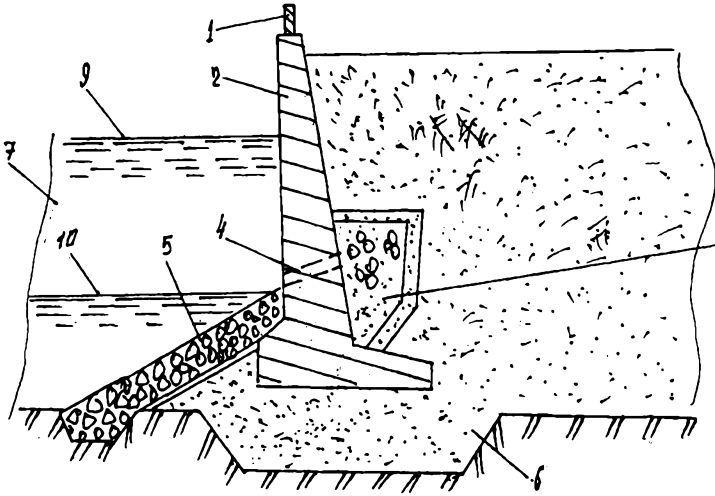


Рис. 59. Набережная в виде стенки с отмосткой:

- 1 – глухой парапет; 2 – монолитная стенка; 3 – дренаж;  
 4 – дренажный выпуск; 5 – каменная отмостка; 6 – песок;  
 7 – акватория; 8 – берег; 9 – горизонт  
 высоких вод; 10 – горизонт меженных вод

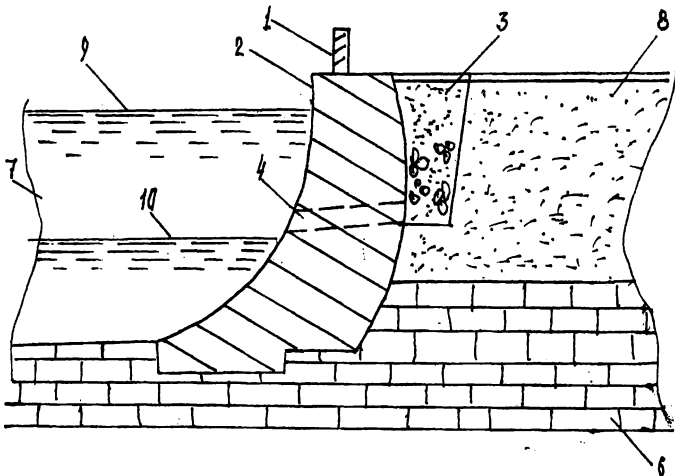


Рис. 60. Набережная в виде стенки на скальном основании:

- 1 – глухой парапет; 2 – монолитная стенка; 3 – дренаж;  
 4 – дренажный выпуск; 5 – каменная отмостка;  
 6 – скальный грунт; 7 – акватория; 8 – берег; 9 – горизонт  
 высоких вод; 10 – горизонт меженных вод

Волнобойные стенки устраивают обычно из массивного бетона с защищаемой от истирания лицевой гранью. Наружное очертание стенки принимают закругленной формы, обеспечивающее отбрасывание волновых всплесков в сторону акватории. На рис. 61 показана набережная с отбрасыванием всплесков в сторону акватории.

Гравитационные стенки уголкового типа отличаются легкостью конструкции по сравнению с массивными стенками. Их удерживает в устойчивом состоянии преимущественно вес грунтовой засыпки, прижимающей горизонтальную часть уголка.

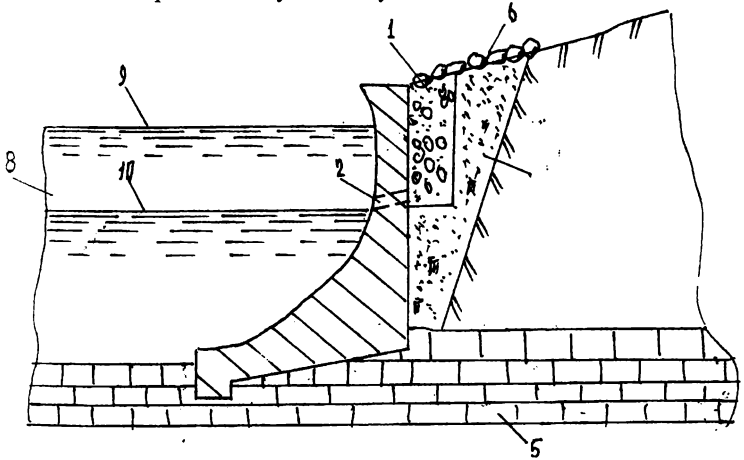


Рис. 61. Набережная с отбрасыванием всплесков в сторону акватории:

- 1 – дренаж; 2 – дренажный выпуск; 3 – каменная отмостка; 4 – песок; 5 – скальный грунт;
- 6 – облицовка из камня; 7 – берег; 8 – акватория;
- 9 – горизонт высоких вод; 10 – горизонт межених вод

На рис. 62 показана набережная уголкового типа из сборных железобетонных панелей.

Уголок набережной может быть выполнен из монолитного железобетона. На рис. 63 показана набережная уголкового типа из монолитного железобетона.

Конструкцию берегоукрепления рассчитывают на устойчивость и прочность, учитывая постоянные и временные нагрузки и воздействия.

Конструкцию берегоукрепления рассчитывают на устойчивость и прочность, учитывая постоянные и временные нагрузки и воздействия.

Одежды откосных берегоукреплений выбирают в зависимости от величины и характера внешних воздействий на откос: скорости течения у берегов, ледовые и волновые нагрузки.

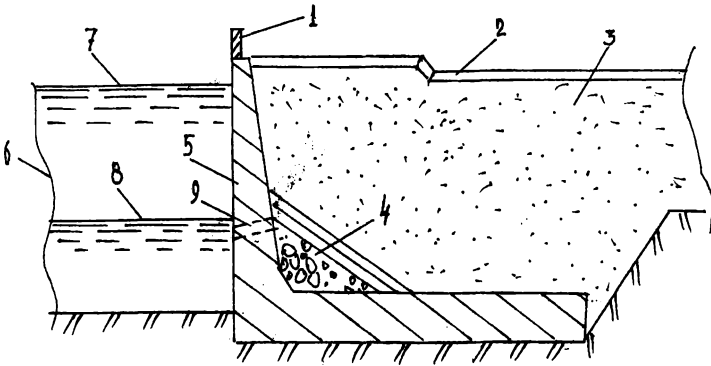


Рис. 62. Набережная углового типа из сборных железобетонных панелей:  
 1 – глухой парапет; 2 – берег; 3 – песок; 4 – дренаж; 5 – сборная стенка;  
 6 – акватория; 7 – горизонт высоких вод; 8 – горизонт меженных вод;  
 9 – дренажный сброс

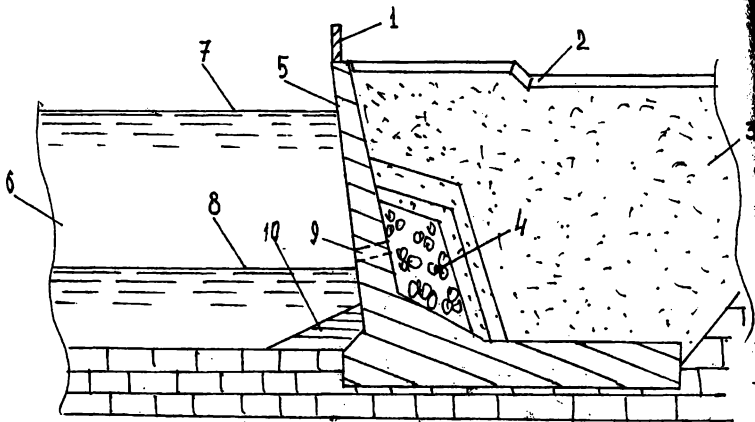


Рис. 63. Набережная углового типа из монолитного железобетона:  
 1 – глухой парапет; 2 – берег; 3 – песок; 4 – дренаж;  
 5 – монолитная стенка; 6 – акватория; 7 – горизонт высоких вод;  
 8 – горизонт меженных вод; 9 – дренажный сброс; 10 – глинистые отложения

Наибольшим воздействием подвержена зона переменного уровня, расположенная между ГМВ и границей наката волны на откос при

расчетном ГВВ. В меньшей степени подводная (ниже) и не подтопленной верхней зона откоса.

Конструкция берегоукрепления состоит из покрытия (одежды) и основания, уложенных на поверхность откоса устойчивого очертания. Основание делают из песчано-гравистых грунтов в один, два или три слоя, а для сопряжения различных конструкций предусматривают упоры. Они одновременно служат для повышения устойчивости откосов, укрепления против сползания и предохранения от подмыва в подошве откоса.

Покрытие, как правило, выполняют из каменной наброски. На рис. 64 показано покрытие откоса из каменной наброски.

На реках с кратковременным затоплением и небольшими скоростями течения откосы укрепляют одерновкой или посевом трав. В качестве покрытия берегов на городских территориях широко используют железобетонные сборные плиты с отверстиями, которые заполняют камнем в подводной зоне откоса и землей с посевом трав выше ГМВ. Упором для плит могут служить сваи, забитые в грунт. На рис. 65 показано крепление откоса плитами.

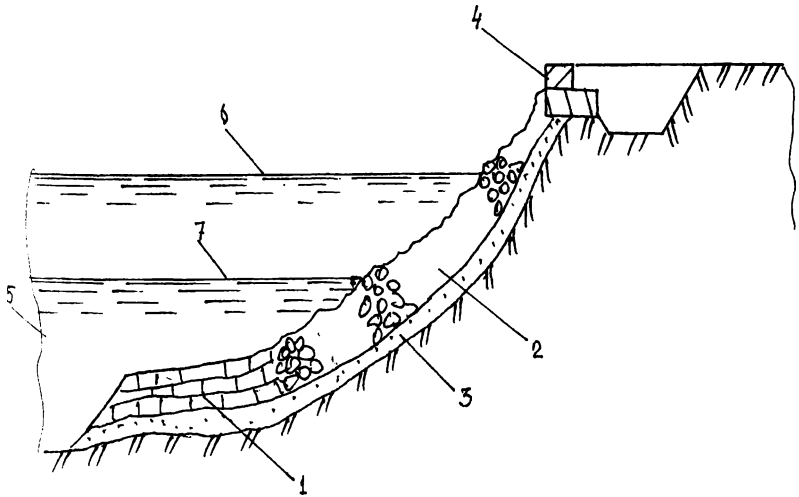


Рис. 64. Покрытие откоса из каменной наброски:

- 1 – упор-пунур; 2 – каменная наброска; 3 – фильтрующий слой основания; 4 – бортовой камень; 5 – акватория; 6 – горизонт высоких вод; 7 – горизонт меженных вод

На реках с кратковременным затоплениями и небольшими скоростями течения откосы укрепляют одерновкой или посевом трав. В качестве покрытия берегов на городских территориях широко используют железобетонные сборные плиты с отверстиями, которые заполняют



камнем в подводной зоне откоса и землей с посевом трав выше ГМВ. Упором для плит могут служить сваи, забитые в грунт. На рис. 65 показано крепление откоса плитами.

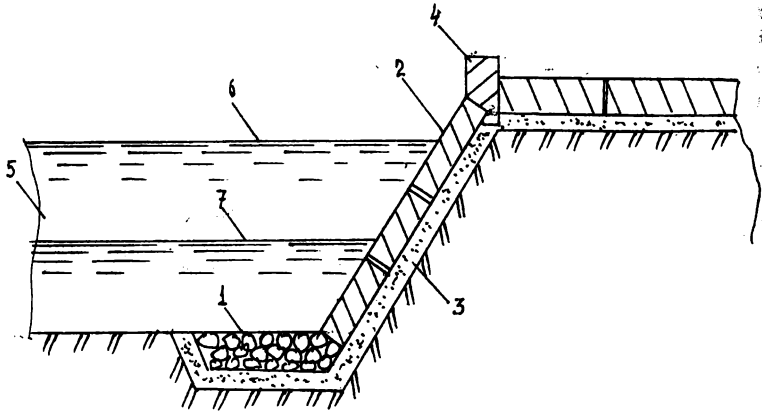


Рис. 65. Крепление откоса железобетонными плитами:  
1 – упор-понур; 2 – железобетонные плиты; 3 – фильтрующий слой основания; 4 – бортовой камень; 5-акватория; 6 – горизонт высоких вод; 7 – горизонт меженных вод

Крепление откосов каменным мощением в один или два слоя более трудоемко. На рис. 66 показано крепление откоса мощением.

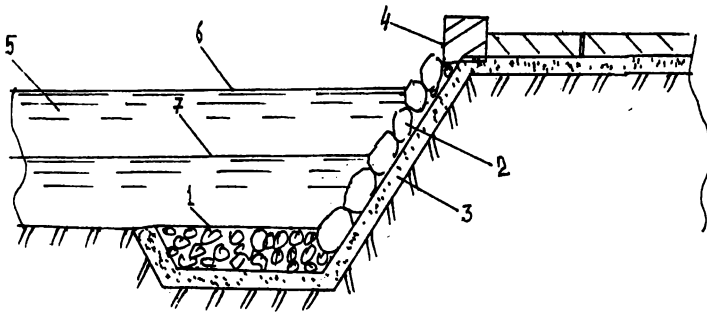


Рис. 66. Крепление откоса мощением:  
1 – упор-понур; 2 – одно или двухслойное каменное мощение;  
3 – фильтрующий слой основания; 4 – бортовой камень;  
5-акватория; 6 – горизонт высоких вод; 7 – горизонт меженных вод

Покрытия напорных откосов, работающих при постоянном или длительном затоплении, могут быть устроены из асфальтобетона и материалов на основе нефтепродуктов, хотя они в настоящее время не получили широкого применения.

Наряду с однородными по длине откоса креплениями проектируют неоднородные, учитывая при это особенности условий работы соответствующих зон откоса. Так, например, в зоне наибольшего дальнобоя напорных откосов, устраивают покрытия из бетонных плит значительной толщины, которые укладывают на двух- или трехслойный обратный фильтр. За пределами этой зоны – выше или ниже – покрытие проектируют из каменного мощения или железобетонных плит меньшей толщины с основанием из фильтрующего слоя.

Устойчивость и прочность крепления обеспечивают правильным подбором элементов конструкции. С этой целью проводят инженерные расчеты, которые являются обязательными для сложных условий работы конструкции. В таких условиях эксплуатации находятся напорные откосы водохранилищных и морских дамб, берегозащитные сооружения на морях, крупных озерах и водохранилищах.

В городских и парковых условиях, где речные берегоукрепления испытывают небольшие и кратковременные нагрузки, часто отпадает необходимость в таких расчетах, элементы крепления назначают по конструктивным соображениям принимая во внимание скорости течения у берегов, ледовые и волновые нагрузки. При этом допустимые скорости течения для различных грунтов и одежд откосов принимают на основе нормативных данных.

## 6. Обустройство территорий с оползневыми явлениями

Изучение оползневых явлений, оценка устойчивости склонов и проектирование противооползневых сооружений – актуальнейшие задачи, стоящие перед отечественными и зарубежными специалистами

Так, например, в октябре 1963 года на высоком берегу водохранилища Вайонит в Северной Италии произошел наиболее разрушительный оползень за всю историю Европы. Обрушилось около 0,25 км<sup>3</sup> грунта. Оползень сошел в водохранилище и образовал волну, которая переклестнула через плотину и устремилась вниз по долине. Было разрушено пять селений и погибло более 2000 чел.

Целесообразность градостроительного освоения территорий с потенциально возможными и действующими оползнями должна быть тщательно обоснована. При этом учитывают соответствующие нормативные ограничения.

На территориях, прилегающих к оползневым склонам, не размещают здания и инженерные сооружения. Их можно разместить в безопасное расстояние от зоны оползня, одновременно предусматривая комплекс защитных мер.

В ряде случаев ценные в градостроительном отношении территории с оползневыми явлениями приходится использовать, когда они расположены вдоль морских побережий, крупных рек, при наличии на них существующих зданий, автомобильных дорог и других инженерных сооружений. В таких случаях оползневые территории осваивают и даже включают в селитебную зону города, предусматривая ее комплексную защиту.

При инженерной подготовке территорий с оползнями решают задачу стабилизации потенциально опасных и уже подверженных обрушению склонов. Она включает своевременный прогноз возможных границ распространения оползня, потенциальной глубины и скорости смещения грунта, установления других параметров, определяющих выбор защитных сооружений и возможность безопасного размещения застройки на прилегающей территории.

Причины образования и характеристика оползней. Оползневые процессы характеризуются скользящим смещением части горных пород, слагающих склон. Движущаяся и неподвижная части склона находятся в контакте. На рис. 67 показана схема процесса оползня.

Для возникновения и развития оползня необходимы определенные условия, среди которых основными являются крутизна и форма склона; геологическое строение пород, гидрогеологическая и гидрологическая обстановка

При прочих равных условиях наиболее подвержены оползневым явлениям крутые склоны, имеющие выпуклую или нависающую

конфигурацию. Наиболее типичными оползневыми породами являются глинистые. При повышении влажности сопротивление сдвигу существенно снижается. Оползни часто образуются на участках наклонного залегания слоев с падением их в сторону склона.

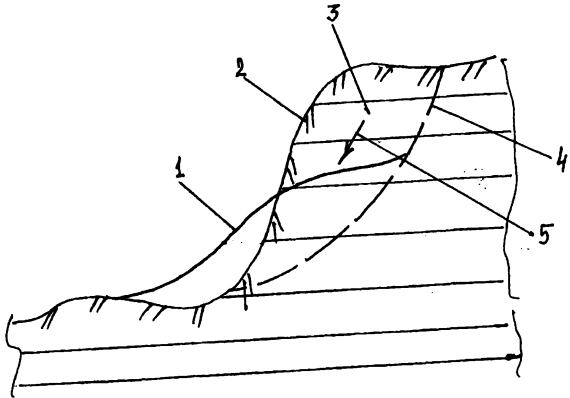


Рис. 67. Схема оползня:

- 1 – поверхность склона после оползня; 2 – поверхность склона до оползня; 3 – движущая часть склона; 4 – поверхность скольжения; 5 – направление движения оползня

Процесс выдавливания глин вышележащими породами также способствует образованию оползней. Схема образования оползня на участке наклонного залегания слоев грунта показан на рис. 68.

Процесс выдавливания глин вышележащими породами также способствует образованию оползней. Схема образования оползня на участке с выдавливанием глин показана на рис. 69.

В подавляющем большинстве случаев оползни расположены у берегов водоемов, водохранилищ и рек, мест выхода подземных вод на поверхность. Здесь возникают условия нарушения предельного равновесия склона. Оно может быть нарушено в результате дополнительных воздействий, которые являются следствием природных процессов или деятельности человека.

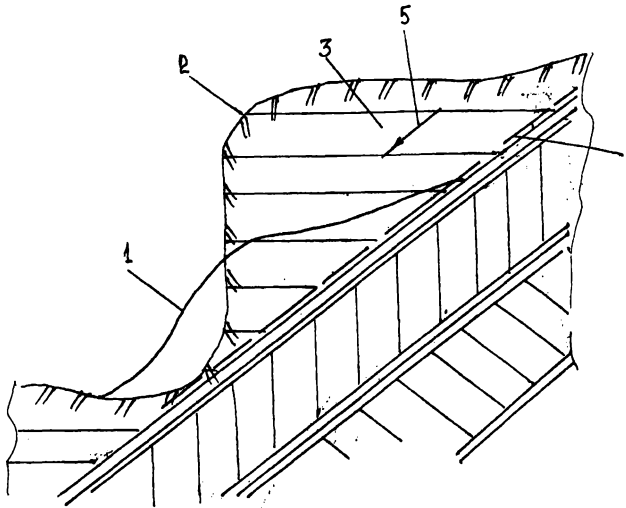


Рис. 68. Образование оползня на участке наклонного залегания слоев грун  
 1 – поверхность склона после оползня; 2 – поверхность склона до оползня; 3 – движущаяся часть склона; 4 – поверхность скольжения; 5 – направление движения оползня.

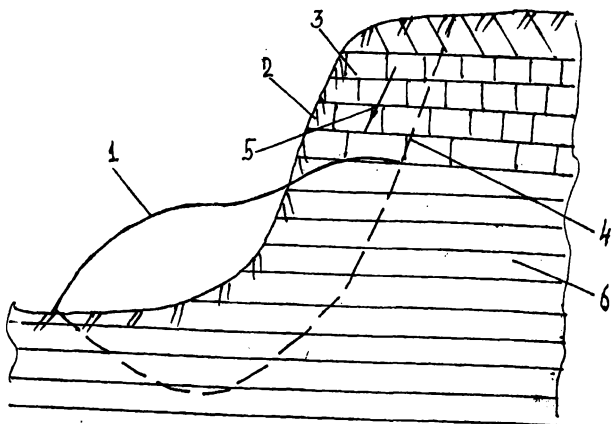


Рис. 69. Схема образования оползня на участке с выдавливанием глин:  
 1 – поверхность склона после оползня; 2 – поверхность склона до оползня; 3 – движущаяся часть склона; 4 – поверхность скольжения; 5 – направление движения оползня; 6 – глинистый грунт

К ним относятся: изменение крутизны склона, воздействие грунтовых и поверхностных вод, выветривание, сотрясения, мерзлотные воздействия, вибрация, дополнительные нагрузки на склон, уничтожение на нем растительности, выщелачивание из грунтов водорастворимых солей, вынос частиц грунта текущей водой с образованием в породе пустот и пор из-за гидродинамического давления при фильтрации воды в сторону склона, гидростатическое давление в трещинах и порах породы, сейсмические явления.

По характеру поверхности скольжения выделяют три типа оползней.

Первый тип – асеквентный, который развивается обычно в однородных связных грунтах и имеет криволинейную цилиндрическую поверхность скольжения, положение которой зависит от величины сил трения и сцепления.

Классический оползень с правильной круглоцилиндрической поверхностью смещения сравнительно редок, поскольку естественные склоны, как правило, неоднородны, чаще всего они имеют сложное строение. Оползни описываемого типа характерны для искусственных склонов, например, в дамбах или дорожных насыпях.

Движение оползня может быть прогрессирующим, т.е. первоначально сдвиг может произойти не сразу по всей поверхности смещения, а развиваться постепенно, начиная с участка локального разрушения. Если поверхность смещения у нижней границы оползня наклонена вглубь массива, то смещение оползня может остановиться, так как момент сдвигающей силы во время движения уменьшается.

Второй тип – консеквентный. Для него характерно смещение по поверхности напластования, падающей вниз по склону. Поверхность смещения при этом плоская или слабоволнистая, а ее положение предопределено строением склона. Движение этого типа оползня определяется наличием структурно ослабленных поверхностей, таких как тектонические разрывы, трещины, напластования, и изменениями в сопротивлении сдвигу различных осадочных пород или на контакте прочных коренных и рыхлых пород. В отличие от предыдущего типа консеквентный оползень может неограниченно развиваться, если поверхность его смещения достаточно крутая и более или менее постоянная сдвигающая сила превышает сопротивление сдвигу.

Третий тип – инсеквентный. Оползень сечет поверхность напластования и простирается глубоко в склон. Здесь поверхность смещения, как правило, или сложное криволинейное очертание, ее положение определяется характером грунтов, слагающих толщу, и особенностями напластования пород.

По скорости оползни подразделяются на постепенно оползающие и мгновенно оползающие. При разработке защитных мероприятий необходимо учитывать скоростные характеристики оползней.

Скорость движения постепенно оползающих оползней изменяется от быстрой до крайне медленной. При медленном оползне еще до крупной подвижки можно заметить изменение рельефа, перекос сооружений и принять предупредительные меры. Количественные характеристики скорости движения оползней приводятся в табл. 13.

13. Параметры скорости движения оползней

Характеристика движения	Скорость
Крайне быстрое	3 м/с
Очень быстрое	0,3 м/мин
Быстрое	1,5 м/сут
Умеренное	1,5 м/мес
Медленное	1,5 м/год
Очень медленное	0,06 м/год
Крайне медленное	менее 0,06 м/год

Второй тип характеризуется мгновенным перемещением тела оползня с очень и крайне быстрой скоростью. Защита от таких оползней сложна, и здесь большое значение имеет заблаговременный прогноз потенциально возможных смещений.

По глубине захвата склона выделяют мелкие (поверхностные) оползни и глубокие. Поверхность скольжения мелких оползней располагается в зоне сезонных колебаний влажности и температуры, а глубокие проходят в основном ниже этой зоны.

В зависимости от механизма смещения выделяют оползни скольжения, течения и смешанного движения.

Первая группа – это оползни, смещение которых происходит по тл вращения, скольжения по плоской поверхности или при выдавливании.

В оползнях выдавливания основной особенностью является разуплотнение, движение, обусловленное появлением трещин сдвига и растяжения. Такие оползни могут развиваться как в скальных, так и в глинистых грунтах.

Оползни выдавливания в скальных породах происходят чаще всего вблизи горных хребтов и характеризуются отсутствием видимой и четко выраженной поверхности смещения или зоны пластических деформаций. Они могут сопровождаться образованием трещин и разуплотнением скальных грунтов в связи с пластическим течением в подстилающем слое.

Вышележащие блоки прочных пород оседают, консеквентно скользя, могут вращаться и разрушаться. Протяженность этих оползней вдоль склона значительна, и они образуют крупные уступы шириной от нескольких до многих километров. Скорость движения их в большинстве случаев крайне медленная.

В нескальных грунтах, особенно в «чувствительных» глинах, оползни выдавливания образуются как на крутых, так и на пологих склонах. Как правило, это результат потери большей части сопротивления сдвигу в связи с нарушением структуры глин и их разрыхлением.

Если смещаются рыхлые наносы или разрыхленные массы, то этот тип гравитационного смещения называют осовом. Он характеризуется чаще всего большой скоростью соскальзывания и сопровождается аккумуляцией у подножья обломочных пород (осыпей).

Еще одной разновидностью оползней являются сплывы, которые образуются в весенний период года при водонасыщении верхних слоев толщи. Образованию оползней-сплывов предшествует возникновение сплывин – сдвигов верхнего слоя на отдельных участках.

Промежуточным типом оползней скольжения являются оползни-обвалы, представляющие собой смещение земляных масс по типу скольжения и обвала. В отличие от истинных оползней здесь в месте обвала происходит потеря контакта между смещающимся и неподвижным слоем грунта.

Вторая группа включает оползни – потоки. Смещение происходит за счет течения грунтов, обусловленного их свойствами. Они возникают в условиях постоянного водонасыщения глин, тонких илов и глинистых песков. Сопротивление сдвигу при разрыхлении этих грунтов существенно уменьшается. Для таких оползней – потоков мокрого течения характерна большая скорость смещения. Оползни – потоки с медленным смещением возникают в относительно сухих пластических глинах, а в определенных условиях и в сухих песчаных пылеватых грунтах.

В третью группу входят оползни, имеющие сложный механизм смещения, включающий совокупность тех или иных рассмотренных вариантов движения.

В зависимости от активности оползневого процесса выделяют действующие и недействующие оползни.

Действующие оползни имеют свежие и ярко выраженные, не сглаженные эрозией формы поверхности. Деревья на склонах, затронутые такими оползнями, отклоняются от их первоначального положения («пьяный лес»). Недействующие, затухшие оползни обычно покрыты растительностью и нарушены процессами эрозии так, что следы последнего движения трудно различимы. Но движение может возобновиться, если факторы, приводящие к возникновению оползней, продолжают существовать. Расчет устойчивости откосов. Механическая



устойчивость склона зависит от соотношения сил, сопротивляющихся сдвигу (удерживающих) и способствующих ему (сдвигающих).

Сопротивление сдвигу оказывают сцепление и внутреннее трение грунта, ему способствует масса породы и расположенных на склоне или на бровке сооружений. Гидростатическое и гидродинамическое давление подземных вод зачастую способствуют сдвигу.

В практике проектирования устойчивость склона рассчитывают обычно методами предельного равновесия, определения коэффициента запаса устойчивости склона (его численное значение может колебаться в широких пределах и зависит от формы поверхности скольжения, особенностей геологического строения склона и других факторов).

Однако для любых случаев он может быть охарактеризован как соотношение суммарной прочности пород на сдвиг вдоль поверхности скольжения к алгебраической сумме касательных сил сдвига.

Когда  $K_{уст} = 1$ , наступает состояние неустойчивого равновесия, а при  $K_{уст} < 1$ , склон начинает смещаться.

Статический расчет устойчивости потенциально опасного оползневого склона является обязательным и необходимым, хотя дает приближенные результаты.

Независимо от специфики различных методов предельного состояния, все они исходят из следующих принципов.

Допускают механизм скольжения без существенных кинематических ограничений, кроме того, что он должен быть реальным.

В простых условиях предполагают, что оползни происходят по плоским или круглоцилиндрическим поверхностям, а в неоднородных массивах по более сложным формам поверхности скольжения. Для последних условий необходимы специальные методы расчета. Сопротивление сдвигу рассчитывают исходя из условий статики сооружений и принимая, что массив потенциального оползня находится в состоянии предельного равновесия.

Расчетное сопротивление сдвигу, необходимое для равновесия оползневого массива, сравнивают с действительной прочностью на сдвиг. Результаты этого сравнения выражают коэффициентом  $K$ .

Поверхность с наименьшим коэффициентом устойчивости определяют повторными расчетами. В частности, при предполагаемой круглоцилиндрической поверхности скольжения отыскивают критическую поверхность, где  $K = 1$ .

Имеется несколько методов расчета по предельному состоянию.

Находят опаснейшую поверхность скольжения (поверхность, по которой может произойти смещение). Устойчивость склона проверяют по известной поверхности скольжения.

Метод критического круга скольжения основан на предположении, что разрушение откоса произойдет по поверхности скольжения. Расчетная

схема устойчивости склона по критическому кругу скольжения показана на рис. 70.

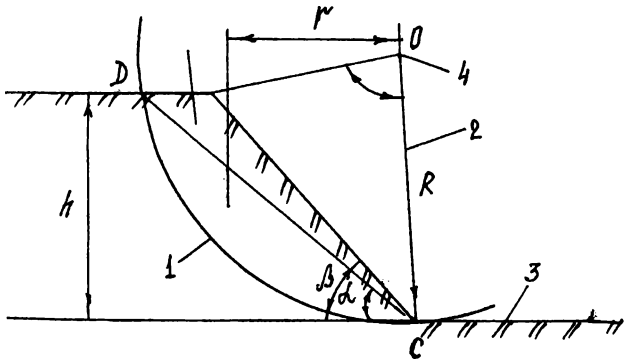


Рис. 70. Расчетная схема устойчивости склона по критическому кругу скольжения:

- 1 – поверхность скольжения; 2 – радиус поверхности скольжения;  
3 – подошва склона; 4 – центр поверхности скольжения;  
5 – сползающая часть склона

Эта поверхность имеет вид дуги окружности, описанной радиусом  $R$  из центра  $O$ . Она проходит через подошву откоса. Устойчивость откоса при угле внутреннего трения  $\varphi = 0$ .

определяется силами сцепления по формуле:

$$C = Q \cdot r / (R \cdot l),$$

где  $C$  – удельная сила сцепления, обеспечивающая устойчивость откоса;

$Q$  – масса призмы обрушения, определяемая по

$$Q = \rho \cdot h,$$

где  $h$  – высота откоса;

$r$  – плечо силы относительно центра;

$l$  – длина дуги поверхности скольжения;

$\rho$  — плотность оползающего грунта.

Откос находится в устойчивом состоянии, если величина фактической силы сцепления ( $C$ ) больше или равна критической (максимальной) удельной силе сцепления. Критическая сила сцепления  $C_{кр}$  определяется по формуле:

$$C_{кр} = \rho \cdot h / f(\alpha, \beta, \theta) = \rho \cdot h / k_{уст.}$$

Вероятная поверхность скольжения пройдет через подошву откоса по такой дуге окружности, для которой требуется  $C_{кр}$ . При известном значении угла  $\beta$  значения углов  $\alpha$  и  $\theta$  и, следовательно, положение центра  $O$  определяют по графику Фелениуса. График Фелениуса приводится на рис. 71.

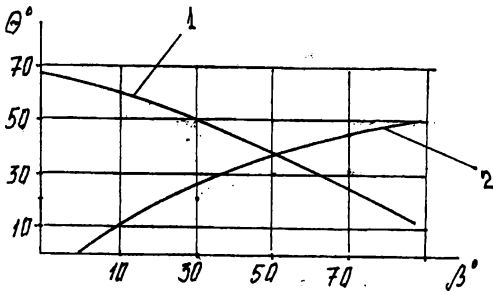


Рис. 71. График Фелениуса:

1 — зависимость угла  $\alpha$  от угла  $\beta$ ; 2 — зависимость угла  $\theta$  от угла  $\beta$

Метод критического круга скольжения по Терцаги является методом круглоцилиндрических поверхностей. Это графо-аналитический метод. Сущность его заключается в отыскании круглоцилиндрической поверхности скольжения, проходящей через подошву откоса, для которой  $K$  будет минимальным. Расчетная схема метода Терцаги показана на рис. 72.

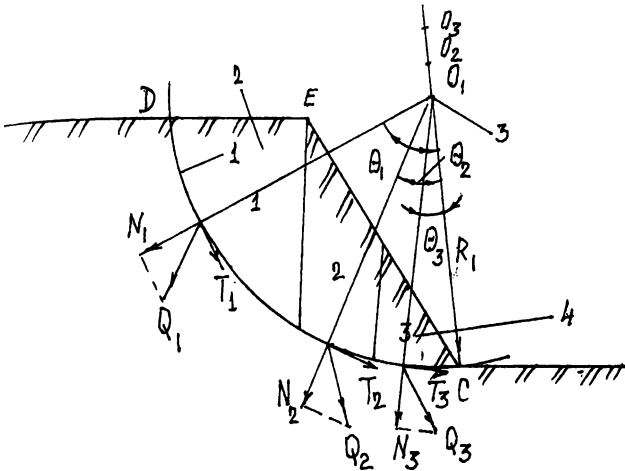


Рис. 72. Расчетная схема метода Терцаги:  
 1 – поверхность скольжения; 2 – движущаяся часть склона;  
 3 – центр скольжения; 4 –отсек оползневого тела

Расчет ведут для отсека оползневого тела длиной 1 м, предполагая, что масса скользит по поверхности, не деформируясь.

Коэффициент устойчивости откоса  $K_{уст}$  определяется по формуле:

$$K_{уст} = R \cdot (\sum N_i f + c \cdot l) / (R \cdot \sum T_i) = (\sum (N_i \cdot f) + c \cdot l) / \sum T_i,$$

где  $\sum N_i$  – сумма нормальных сил, действующих радиально относительно поверхности скольжения;

$$N_i = Q_i \cdot \cos \theta,$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  – индекс нормальной силы;

$f = \operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент трения;

$l$  – длина поверхности скольжения ( $l = l_1 + l_2 + l_3$ );

$\sum T_i$  – сумма сдвигающих сил, действующих по касательным к поверхности скольжения:

$$T_i = Q_i \cdot \sin \theta.$$

При наличии подземных вод учитывают фильтрационное давление, которое будет уменьшать устойчивость откоса. Фильтрационное давление определяют как нормальную составляющую:

$$N\phi = A \cdot \rho_w.$$

Для  $i$ -й призмы:

$$N\phi_i = A_i \cdot \rho_w,$$

где  $A$  — площадь, занятая фильтрационным потоком в оползающей призме грунта, равная  $A = A_1 + A_2 + A_3$ ;

$\rho_w$  — плотность воды.

Схема определения  $A$  показана на рис. 73.

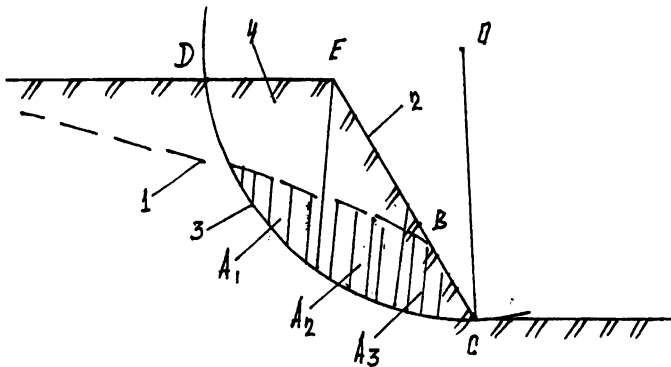


Рис. 73. Схема определения  $A$ :

1 — уровень грунтовых вод; 2 — поверхность откоса;

3 — плоскость скольжения; 4 — отсеки оползающей призмы грунта

Фильтрационное давление влияет только на нормальную составляющую, поэтому формулу для определения  $K_{уст}$  можно записать в виде:

$$K_{уст} = (\sum(N_i - N\phi_i) \cdot \text{tg}\varphi + c \cdot l) / \sum T_i.$$

Для решения практических задач установлен следующий порядок расчета.

Из некоторого произвольного центра  $O_1$  радиусом  $R$  через точку  $C$  проводят поверхность скольжения. Участок откоса, ограниченный дугой  $CD$  и ломаной линией отсека  $SED$ , разбивают на ряд призм равной ширины, массу которых подсчитывают как площади соответствующих фигур, умноженных на плотность грунта. При наличии в откосе грунтов различной плотности строят фиктивный профиль с плотностью, приведенной к одной из имеющихся.

Далее по приведенной формуле определяют коэффициент устойчивости  $K_{уст}$ . После этого повторяют построения и расчеты при цилиндрических поверхностях скольжения, проведенных из центров  $O_2$ ,  $O_3$  и так далее. Расчеты продолжают до тех пор, пока не будет найдено минимальное значение  $K_{уст}$  на первой вертикали. Аналогично проводят расчет, определяя минимальное значение коэффициента устойчивости для второй вертикали, строя круглоцилиндрические поверхности, проведенные из центров  $O_4$ ,  $O_5$ ,  $O_6$ . Затем такие же расчеты повторяют для третьей, четвертой и т.д. вертикалей, пока не будет определен самый минимальный коэффициент устойчивости. Поверхность скольжения, имеющая наименьшую величину  $K_{уст}$ , будет наиболее вероятной поверхностью скольжения грунтов склона.

Устойчивость склона считается обеспеченной, если наименьшее значение  $K_{уст}$  больше 1. При проектировании противооползневых мероприятий коэффициент, обеспечивающий запас устойчивости откоса, принимают в пределах от 1,25 до 1,5. Для подтопленного откоса, особенно при наличии подпора подземных вод, берут максимальное его значение.

Определение  $K_{уст}$  описанным выше методом связано с громоздкими графическими построениями и аналитическими подсчетами, поэтому в практике проектирования используют готовые решения этой задачи, выполненные для некоторых, наиболее часто встречающихся случаев.

Очевидными преимуществами по сравнению с рассмотренными обладает метод расчета устойчивости склона, разработанный В.В. Соколовским. Автор получил решение для определения очертания равноустойчивого откоса, сложенного из грунтов, обладающих как трением, так и сцеплением.

Этот метод исключает громоздкие построения и расчеты, позволяет установить положение устойчивого откоса и предельную нагрузку на его горизонтальную плоскость.

Второй метод заключается в определении оползневого давления (или величины сдвигающих сил  $P_i$ ).

Величина сдвигающих сил ( $P_i$ ) определяется в расчетных сечениях известной плоскости скольжения, которая представляет собой чаще всего слабеволнистую линию. Расчетная схема метода сдвигающих сил показана на рис. 74.

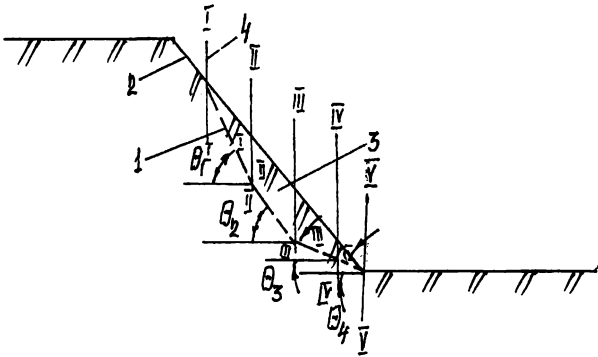


Рис. 74. Расчетная схема метода сдвигающих сил:  
1 – плоскость скольжения; 2 – поверхность откоса;  
3 – оползающая призма грунта; 4 – расчетные сечения

Нормальная составляющая оползневого давления в расчетном сечении определяется по формуле:

$$N_i = Q_i \cdot \cos \theta.$$

Сдвигающая составляющая оползневого давления в расчетном сечении определяется по формуле: -

$$T_i = Q_i \cdot \sin \theta.$$

$$P_i = Q_i \cdot \sin \theta - f Q_i \cdot \cos \theta - c \cdot l_i + P_{i-1},$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;

$P_{i-1}$  – проекция оползневого давления предыдущего сечения на направление скольжения рассматриваемого сечения.

Рассмотренные примеры расчета устойчивости склона не исчерпывают все многообразие существующих методов. С точки зрения решения градостроительных задач наиболее оптимальными являются

методы расчета устойчивости склонов по деформациям. Они предусматривают прогноз допустимых величин деформации с учетом использования склона и прилегающей к нему территории.

Вместе с тем методы расчета устойчивости по деформациям не получили широкого распространения в отличие от приближенных методов предельного равновесия. Объясняется это тем, что для реальных условий достаточная точность оценки деформаций возможна лишь при учете большого количества факторов, оказывающих решающее значение на поведение склона. Поэтому даже, если бы имелись надежные аналитические методы прогноза деформаций, определение всех факторов в необходимом для расчета виде было бы трудно осуществить на практике. В настоящее время соответствующие аналитические методы еще не разработаны, хотя значительный прогресс достигнут с помощью методов конечных элементов.

При использовании метода конечных элементов поведение сплошной оползневой среды моделируют суммарным поведением ее основных элементов. Общую непрерывность среды моделируют требованием одинакового поведения соседних элементов в выбранных точках контакта. Затем составляют большую группу уравнений, решение которых требует использования ЭВМ. Задача может быть решена для различных этапов, т.е. стадий строительства и эксплуатации склонов.



## 7. Мероприятия по борьбе с оползновыми явлениями

Основное требование при разработке мер защиты заключается в повышении коэффициента запаса устойчивости ( $k_{уст.}$ ) склона, при всех возможных вариантах его параметров, от которых зависит стабильность. Проектировать начинают с анализа устойчивости склона, рассматривая состояние откоса в течение продолжительного периода, так как свойства грунтов и гидрогеологические условия могут меняться во времени. Такой анализ при освоении территории необходим не только на период строительства, но и эксплуатации. Устойчивость склонов оценивают, изучая как естественные откосы, так и искусственно созданные.

Особого внимания заслуживает оценка устойчивости склонов с осовами, потому что даже смещенные к подножью обломочные породы могут вызвать начальные подвижки в откосах. Последние могут быть следствием возникновения фильтрационного давления при увлажнении осыпи атмосферными осадками, поэтому при отсутствии альтернативных решений лучше всего убрать осыпь до начала строительства.

Противооползневые мероприятия устанавливают на основе анализ причин, вызывающих развитие процесса сдвига. При анализе принимают во внимание градостроительную ценность участка и технико-экономическую целесообразность его освоения. Выбор и рациональное сочетание определяют на основе технико-экономического сравнения вариантов. В табл. 14 приводится оценка некоторых противооползневых мероприятий.

В практике проектирования с оползновыми процессами борются комплексно, предусматривая меры профилактики на потенциально опасных склонах и радикальные – на участках смещения горных пород.

Одновременно устанавливают режим строительства и эксплуатации в зонах оползневых участков.

1. Запрещение подрезок в нижней части и подсыпок в верхней части склона.

2. Запрещение уничтожения растительности и распашки склона.

3. Запрещение нерегулируемого полива и сброса поверхностных вод.

Накладывают ограничение на скорость движения транспорта по улицам прилегающих территорий, разрабатывают специальные способы выполнения строительных работ.

Вертикальную планировку потенциально опасного оползневого склона производят путем уполаживания его до устойчивого состояния.

Вертикальную планировку потенциально опасного оползневого склона производят путем уполаживания его до устойчивого состояния.

## 14. Оценка противооползневых мероприятий

Причины образования оползней	Наименование мероприятий и их характеристика
Критическая крутизна склона и дополнительные статические и динамические нагрузки, вызывающие перераспределение грунтовых масс.	Вертикальная планировка склона, улоаживание и террасирование, пригрузка в нижней части, замена грунта в плоскости скольжения. Механическое удерживание земляных масс в равновесии; подпорные стенки, свайные ряды, шпонки, инъекционные преграды. Искусственные методы укрепления грунтов: цементация, силикатизация, битумизация, термическая обработка, электрохимическая обработка
Выветривание	Укрепление склонов и откосов растительностью
Подземные воды	Дренажирование прилегающей территории и тела оползня
Поверхностные воды	Регулирование поверхностного стока прилегающей территории и склона в сочетании с укреплением склонов растительностью
Вода рек, морей, водохранилищ, других водоемов и их волновое воздействие.	Защита берегов от эрозий, абразивной переработки в результате волнового воздействия: берегоукрепление, устройство бун, волноломов, струенаправляющих дамб и других защитных сооружений, спрямление русел.
Совокупность различных причин	. Комплекс вышеперечисленных мероприятий в сочетании с ограничением режима строительства и эксплуатации зданий и сооружений в зоне оползневого склона.

При большой высоте склона дополнительно проводят террасирование, устраивая бермы с водоотводящими лотками. Схема террасирования показана на рис. 75.

Одновременно склоны защищают от выветривания и размыва поверхностными водами, укрепляя их дерном или посевом многолетних трав.

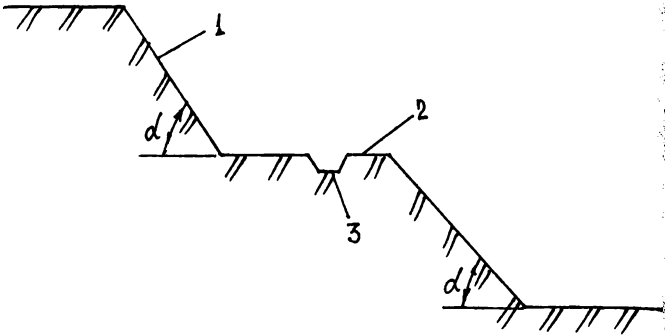


Рис. 75. Схема террасирования склона:  
1 – поверхность склона до террасирования;  
2 – берма; 3 – водоотводящий лоток

Угол уположенного откоса  $\alpha$  определяют с учетом наиболее опасного положения поверхности скольжения по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 / (m \cdot (\operatorname{tg} \varphi + c / \delta)),$$

- где  $m$  – коэффициент запаса, принимаемый  $m=1,5-2$ ;  
 $\varphi$  – угол внутреннего трения для смоченных грунтов склона;  
 $\delta$  – допустимое давление на грунт, величина которого не вызывает смещения оползневых масс, Па.

Перераспределение земляных масс на склоне целесообразно производить за счет срезки верхней части и перемещения ее в нижнюю часть. Частичная разгрузка тела глубинных оползней и оползней – потоков перемещением грунта к подошве склона запрещена. Она не дает требуемого эффекта.

На мелких оползнях уположивание откоса или придание ему ломанного профиля может быть эффективным стабилизирующим средством на потенциально неустойчивых участках.

Ранее в градостроительной практике на потенциально опасных или существующих оползневых массивах выполняли ступенчатый профиль откосов, уменьшая сдвигающие силы.

Однако, как показывают натурные обследования и расчеты, эта мера не всегда обеспечивает необходимый эффект, поэтому решению о применении ступенчатой разработки должны предшествовать тщательные исследования и рассмотрение других вариантов укрепления оползневого склона.

Бермы не обеспечивают снижения сдвигающих сил, но позволяют эффективно бороться с поверхностными и подземными стоками, если на них размещены водоотводящие лотки и дренажные системы.

На мелких оползнях с выявленной поверхностью скольжения целесообразно устраивать упорные призмы (контрфорсы) из земляных масс, отсыпаемых в языковой части естественного склона. На рис. 76. показана схема крепления с контрфорсом.

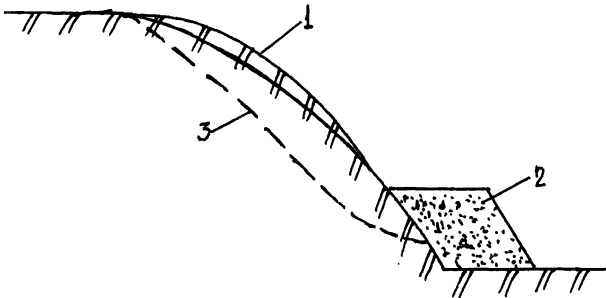


Рис. 76. Схема крепления склона с контрфорсом:  
1 – естественная поверхность склона; 2 – упорная призма (контрфорс); 3 – поверхность скольжения

Схема крепления откоса искусственной насыпи показана на рис. 77.

Схема крепления откоса выемки показана на рис. 78.

Контрфорсы проектируют так, чтобы увеличить удерживающие силы вблизи подошвы откоса до величин, обеспечивающих соответствующий коэффициент устойчивости. Параметры этих сооружений определяют расчетом, принимая во внимание профиль откоса и необходимую величину сопротивления сдвигу.

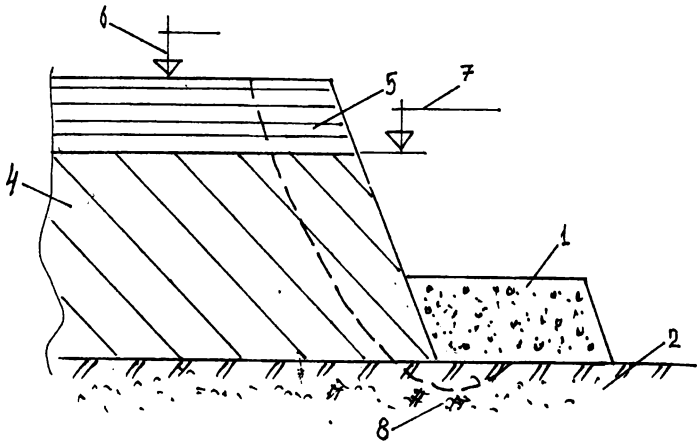


Рис. 77. Схема крепления откоса искусственной насыпи:

- 1 – упорная призма; 2 – коренные породы; 3 – поверхность скольжения;  
 4 – насыпь из зернистого грунта; 5 – насыпь из легкого материала;  
 6 – отметка до реконструкции насыпи; 7 – проектная отметка поверхности;  
 8 – ил, глина с органическими остатками

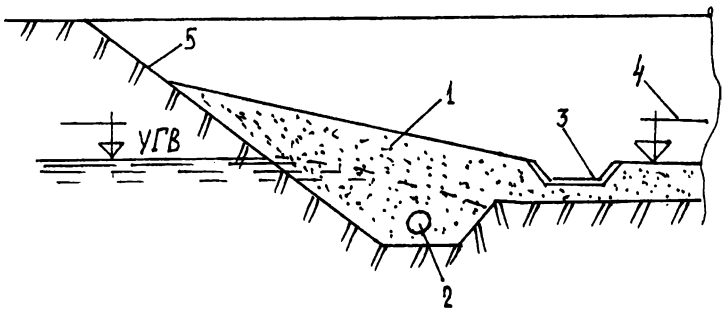


Рис. 78. Схема крепления откоса выемки:

- 1 – упорная призма (контрфорс); 2 – дренаж; 3 – лоток водоотвода;  
 4 – проектная отметка поверхности; 5 – первоначальная поверхность  
 склона

Нормальная работа любого подпорного сооружения зависит от его способности сопротивляться опрокидыванию и скольжению, сдвигу по контакту или ниже его с вовлечением основания.

На опрокидывание рассчитывают, рассматривая упорную призму (контрфорс) как гравитационное сооружение с распределением сил, обеспечивающим соответствующее направление равнодействующей.

Аналогичным образом контрфорс рассчитывают на сдвиг по контакту или ниже его с определением необходимой глубины заложения основания. Проверочные расчеты проводят в нескольких поперечных сечениях на разных отметках глубины, чтобы определить прочность упорной призмы на сдвиг.

Для снижения сдвигающих сил в искусственно созданной насыпи автомобильных дорог производят ее реконструкцию, частично заменяя грунт насыпи более легким, например, котельным шлаком или ракушечником.

В последнее время для уменьшения массы насыпи применяют полистирольные блоки и плиты. Во всех случаях сооружение пригрузочных насыпей сопровождается защитой от поверхностных, а при необходимости подземных вод.

Для мелкого, относительно небольшого по плотности оползня консеквентного скольжения при соответствующем обосновании применяют замену грунтов в плоскости скольжения песком. Песчаные тормоза устраивают, вреза первую штольню в нижнюю часть плоскости скольжения, от которой уступами делают несколько вертикальных, параллельных первой. Штольни заполняют песком, что создает условия, тормозящие движение земляных масс. Когда рассмотренные методы не позволяют стабилизировать оползневый склон, их сочетают с другими.

Механическое удерживание земляных масс на склоне обеспечивают контрфорсными сооружениями различных конструкций.

1. Подпорные стенки
2. Свайные ряды
3. Инъекционные преграды
4. Упорные призмы из грунта.

На рис. 79 показана схема крепления склона консольной подпорной стенкой на контрфорсах.

Подпорные стенки проектируют чаще всего для удержания неглубоких слоев, имеющих по четко определенной поверхности скольжения. В зонах с ответственными зданиями и сооружениями подпорными стенками удерживают и более мощные слои, потенциальные поверхности скольжения которых известны. Как правило, подпорные стенки значительной высоты проектируют на участках автомобильных дорог, где с их помощью стабилизируют естественные и искусственные склоны.

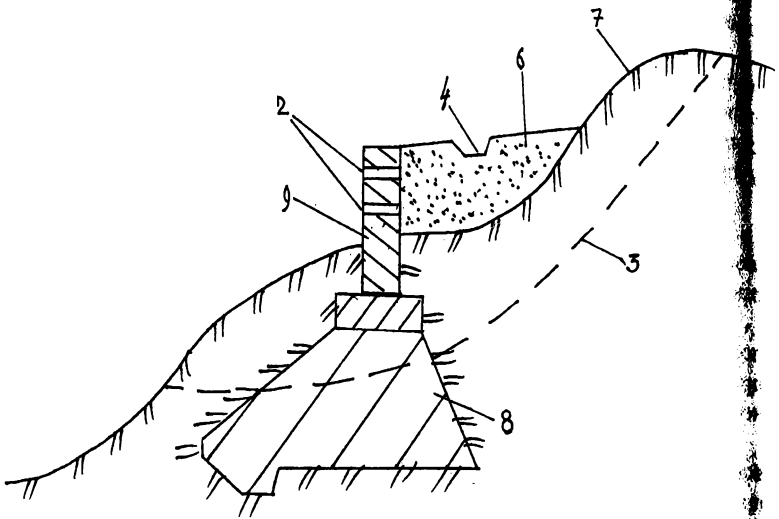


Рис. 79. Схема крепления склона консольной подпорной стенкой на контрфорсах:

- 1 – коренные породы; 2 – водовыпуск; 3 – плоскость скольжения;
- 4 – лоток; 5 – шпунтовый ряд; 6 – фильтрующая засыпка;
- 7 – поверхность естественного рельефа; 8 – контрфорс;
- 9 – подпорная стенка

Подпорные стенки делают из каменной кладки, бетона и бутобетона, железобетона, массивными или облегченными на свайном основании.

В некоторых случаях при проектировании автомобильных дорог на склонах прибегают к устройству массивных стенок из армированного грунта или анкерных креплений. Сооружения врезают основанием в несмещающийся слой грунта и защищают от подземных и поверхностных вод. На рис. 80 показана схема крепления склона массивной подпорной стенкой.

Массивная подпорная стенка может быть установлена ниже поверхности склона. Скрытая подпорная стенка не изменяет естественный пейзаж. Схема такого крепления склона показана на рис. 81.

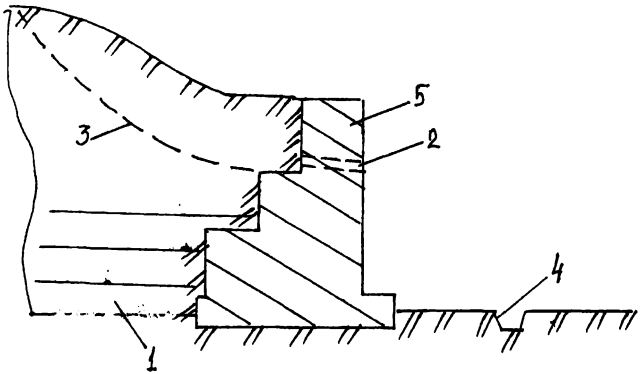


Рис. 80. Схема крепления склона массивной подпорной стенкой:  
 1 – коренные породы; 2 – водовыпуск; 3 – плоскость скольжения; 4 – лоток; 5 – подпорная стенка

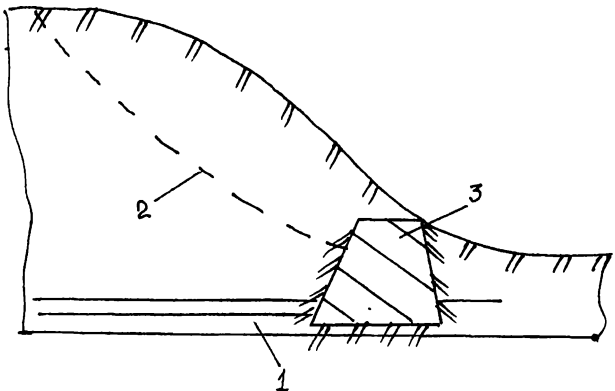


Рис. 81. Схема крепления склона скрытой массивной подпорной стенкой:  
 1 – коренные породы; 2 – плоскость скольжения; 3 – подпорная стенка

Более надежное крепление склона обеспечивает сочетание подпорной стенки со шпунтовым рядом. Схема подобного крепления склона показана на рис. 82.



Подпорная стенка может быть выполнена по консольному типу. На рис. 83 показана схема крепления склона консольной подпорной стенкой.

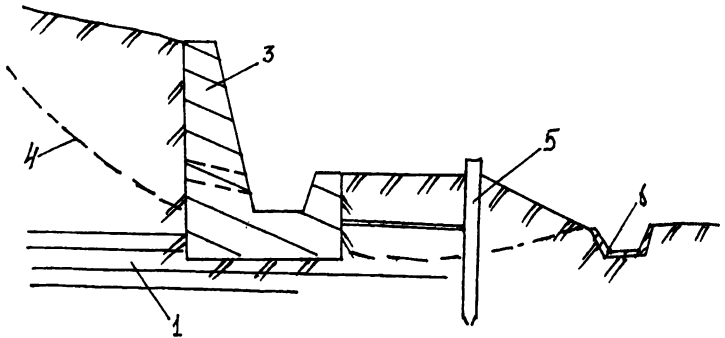


Рис. 82. Схема крепления склона подпорной стенкой в сочетании со шпунтовым рядом:

- 1 – коренные породы; 2 – водовыпуск; 3 – массивная подпорная стенка; 4 – плоскость скольжения;  
5 – шпунтовый ряд; 6 – лоток

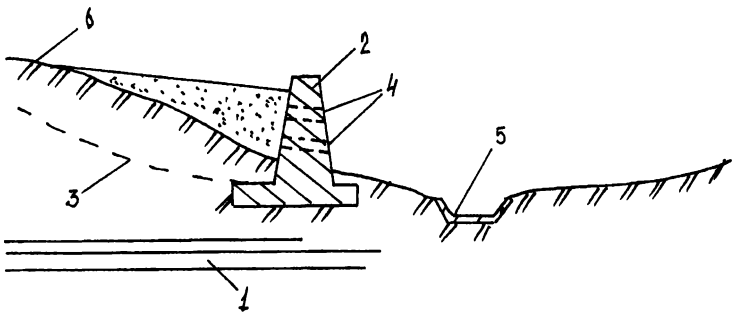


Рис. 83. Схема крепления склона консольной подпорной стенкой:

- 1 – коренные породы; 2 – подпорная стенка;  
3 – плоскость скольжения; 4 – водовыпуск; 5 – лоток;  
6 – естественная поверхность склона

Параметры удерживающих сооружений определяют расчетом на опрокидывание и сдвиг. При этом принимают коэффициент устойчивости склонов с небольшой глубиной смещения  $K_{уст.т.} = 1,3$  при значительной  $K_{уст.т.} = 1,5$ , в грунтах с подземными водами  $K_{уст.т.} = 1,5$  для любой глубины смещения.

Выбор ответственных удерживающих сооружений и их конструктивное решение обосновывают технико-экономическими расчетами.

Подпорные стенки из армированного грунта представляют собой крупные массивы из слоев грунта, проложенных тонкими металлическими полосами, способными выдержать большие внешние нагрузки. Вертикальную боковую поверхность стенки укрепляют бетонными неармированными плитами, а в некоторых случаях – металлом. Это удерживающее гравитационное сооружение, которое поставлено на устойчивое основание. Такой контрфорс оказывает сопротивление возникающим в склоне сдвигающим силам и обладает достаточной прочностью на опрокидывание и скольжение по контакту (или с захватом основания) и на скол внутри удерживающего сооружения. На рис. 84 показана схема подпорной стенки из армированного грунта.

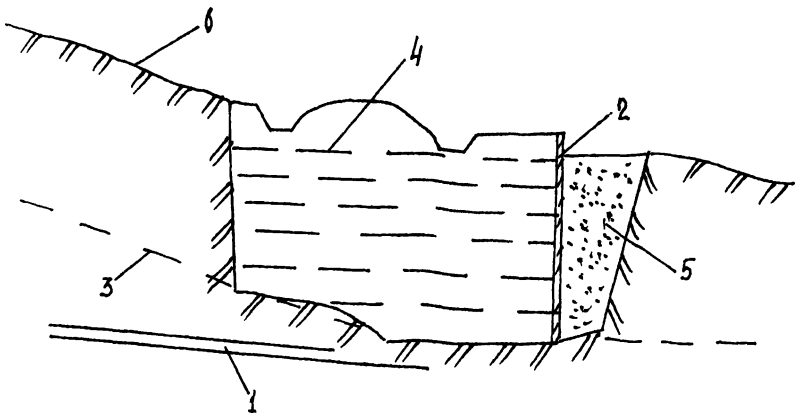


Рис. 84. Схема подпорной стенки из армированного грунта:  
 1 – коренные породы; 2 – облицовка; 3 – плоскость скольжения;  
 4 – арматура, заанкерованная в грунте; 5 – фильтрующая засыпка;  
 6 – естественная поверхность склона

Подпорные стенки с анкерами позволяют передавать усилия, испытываемые стенкой со стороны обратной засыпки, на достаточно

прочную породу, залегающую вне оползня, с помощью анкерных оттяжек. Эти оттяжки могут быть предварительно напряженными или постепенно напрягающимися в процессе эксплуатации сооружения. Их устраивают из тросов, штанг или проволоки, заделывая с помощью специальных устройств в коренной грунт. На рис. 85 показана схема крепления склона подпорной стенкой с анкерами.

Решение о применении анкеров должно быть подкреплено статическим расчетом, экономическим обоснованием и техническими возможностями производства работ. Анкерному креплению нередко отдают предпочтение в тех случаях, когда хотят избежать устройства защитной стенки в выемках скальных пород, где ее возведение связано с применением ручного труда.

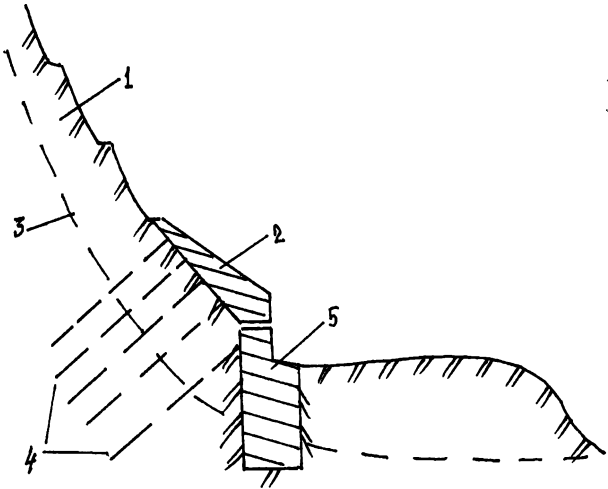


Рис. 85 Схема крепления склона подпорной стенкой с анкерами:  
1 - коренные породы; 2 - железобетонная плита;  
3 - плоскость скольжения; 4 - арматура, заанкеренная  
в грунте; 5 - подпорная стенка

Анкерное укрепление склона над автомагистралью, проложенной в выемке скальных пород с крутизной падения склона  $45^{\circ}$  и контактным поведением массива. Схема крепления склона скальных пород в выемке показана на рис. 86.

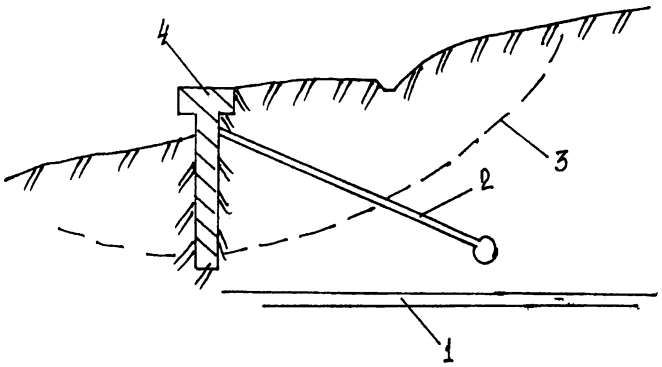


Рис. 86. Схема крепления склона скальных пород в выемке:  
 1 – коренные породы; 2 – анкерная свая с камуфлетной головкой;  
 3 – плоскость скольжения; 4 – подпорная стенка

Металлические анкеры располагают не строго перпендикулярно к предполагаемому направлению скольжения, а под некоторым углом, чтобы при движении анкеры натягивались. В некоторых случаях предварительное натяжение анкеров совмещают с цементацией грунта.

При дилатантном поведении скального массива (увеличении объема пород в процессе деформации) необходимость в предварительном напряжении анкеров отпадает: из-за плотного сопряжения анкеров с породой в них возникают небольшие растягивающие напряжения.

Анкерование как способ укрепления склонов связано с большими затратами, значительная доля которых приходится на предохранение анкеров от коррозии, поэтому использование этого крепления ограничивают такими случаями, когда другие средства крепления неосуществимы.

Конструкции типа свай или шпонок применяют, когда устройство упорных сооружений нецелесообразно по планировочным или другим соображениям. Обычно сваи и шпонки ставят при глубине ожидаемой поверхности смещения в пределах 1,5-2 м, если консистенция и структура грунта исключают его движение между сваями или шпонками. В этом случае их установка в сочетании с организацией поверхностного стока и дренажа экономически целесообразней, чем контрфорсы.

Сваи или шпонки располагают в плане в шахматном порядке и заглубляют в несдвигающийся грунт на глубину не менее 2 м. Их погружают в предварительно прорезанные на склоне или у его подножья

скважины. Сваи делают чаще всего из бетона или железобетона, а шпунки из гидравлической извести, иногда используют металлические сваи. На рис. 87 показана схема крепления склона консольной подпорной стенкой со сваями.

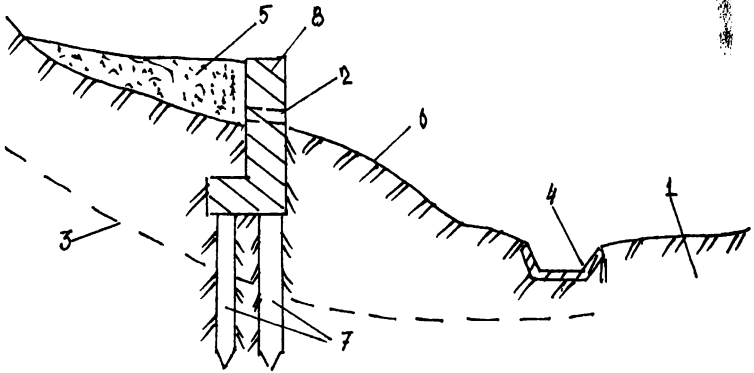


Рис. 87. Консольная подпорная стена со сваями:  
1 – коренные породы; 2 – водовыпуск; 3 – плоскость скольжения;  
4 – лоток; 5 – фильтрующая засыпка; 6 – поверхность  
естественного рельефа; 7 – свая; 8 – подпорная стенка

На рис. 88 приводится схема крепления склона из набивных свай.

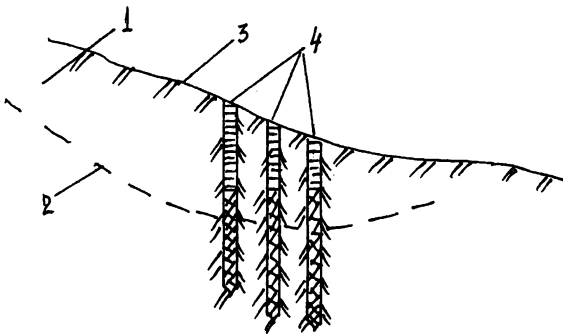


Рис. 88. Свайное поле из набивных свай:  
1 – коренные породы; 2 – плоскость скольжения;  
3 – поверхность естественного рельефа; 4 – набивная  
свая – шпонка, в верхней части заполненная глиной

На рис. 89 свайное поле выполнено из забивных свай.

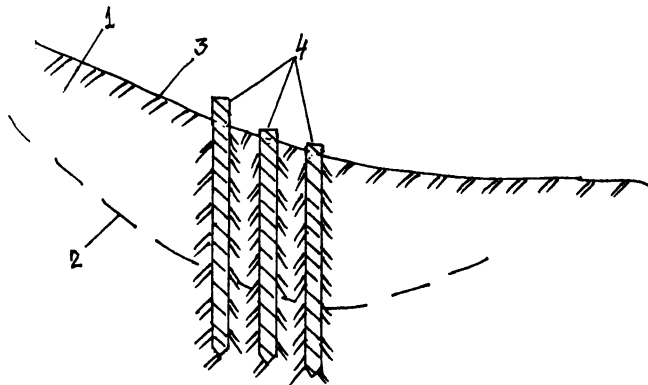


Рис. 89. Свайное поле из забивных свай:  
1 – коренные породы; 2 – плоскость скольжения;  
3 – поверхность естественного рельефа; 4 – забивная свая

Важнейшим мероприятием по укреплению склонов с действующими и возможными оползнями любого типа является организация поверхностного стока. Она способствует уменьшению веса неустойчивых масс и увеличению прочности грунтов, слагающих откосы. На склонах, где начались подвижки, особенно важно полностью отвести поверхностные воды с территории, прилегающей к склону, чтобы исключить возможность их инфильтрации в образовавшиеся трещины.

Отвод поверхностных вод предусматривают на прилегающей территории и непосредственно на оползневом склоне.

На прилегающей к склону территории дождевые и талые воды с площади водосбора перехватывают открытой или закрытой системой водоотвода в зависимости от назначения территории и характера рельефа.

Специфическими требованиями к организации водоотвода в этих условиях будут следующие.

1. Закрытые коллекторы и открытые лотки располагают на таком расстоянии от оползневого откоса, которое исключает возможность насыщения водой грунтов склона в случае нарушения систем в процессе эксплуатации.
2. При использовании открытой системы водоотвода принимают меры против инфильтрации в грунт вод из лотков и канав. С этой целью проектируют такие одежды, которые полностью защищают стенки и дно от инфильтрации.

3. Сброс ливневых вод осуществляют, как правило, вне защищаемой территории.

На оползневом склоне отвод поверхностных вод обеспечивают планировкой откоса, устройством лотков и канав, которые прокладывают на склоне с таким расчетом, чтобы его поверхность расчленилась на небольшие площадки. Это дает возможность сократить путь стекания воды по склону и обеспечить минимальную инфильтрацию поверхностных вод в грунт.

Предварительно производят планировку склона, придавая ему устойчивое очертание и обеспечивая отвод поверхностных вод равномерным потоком без размыва откоса и застоя воды.

Для уменьшения инфильтрации при движении воды по откосу нередко его засевают травами, покрывают дерном или асфальтом. Применяют также торкретбетон, бетонную облицовку и другие одежды, которые одновременно защищают откос от ветровой эрозии.

На склоне проектируют сеть магистральных ( водоотводящих ) и водосборных лотков.

Магистральные лотки трассируют поперек склона, водосборные лотки вдоль склона с учетом рельефа, обычно у подошвы спланированного откоса или на бермах склона.

Наиболее целесообразной конструкцией магистральных лотков на оползневых склонах является телескопический лоток. Конструкция телескопического лотка из сборного железобетона показана на рис. 90.

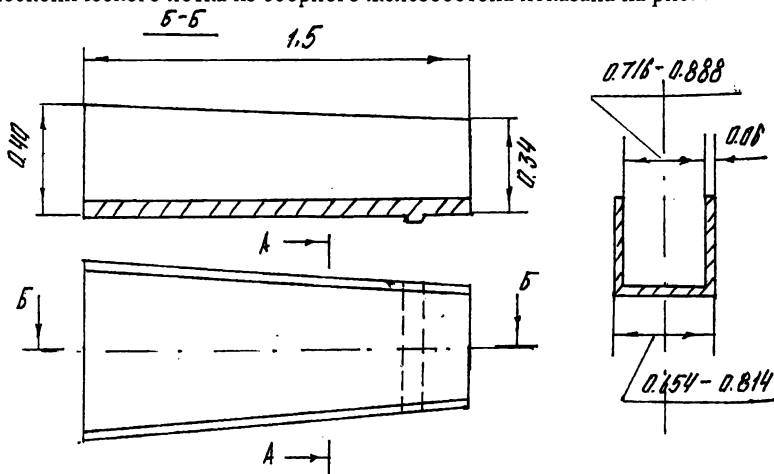


Рис. 90. Конструкция телескопического лотка из сборного железобетона:

1 – лоток в план; 2 – поперечный разрез лотка;  
3 – продольный разрез лотка

Водосборные лотки выполняют из монолитного бетона. Их устраивают с применением передвижной опалубки.

Рассмотренные методы организации поверхностного стока особенно эффективны в стабилизации оползневого склона, если их сочетают с подземными дренажными устройствами, перехватывающими грунтовые воды. Дренирование подземных вод предусматривают для предохранения грунтов откоса от насыщения водой. Это мероприятие проводят как для действующих, так и недействующих оползней. Подземные воды перехватывают, ограждая зону оползня. Возможно непосредственное осушение оползневого склона.

Обычно подземные воды дренируют одновременно на прилегающей территории и оползневом склоне, так как только полное исключение влияния подземных вод дает необходимый эффект. Это объясняется тем, что подземные воды, поступившие на склон, успевают негативно воздействовать на коренные отложения, поэтому осушение только тела оползня практически приводит лишь к уменьшению скорости подвижек.

Для перехвата подземных вод на прилегающей к склону территории устраивают дренажные сооружения, расположенные на безопасном расстоянии от зоны оползания. Тип и систему дренажных устройств проектируют в соответствии с гидрологическими условиями территории на основе требований.

На оползневом склоне проектируют специфические дренажные сооружения.

1. Откосные прорези
2. Наслонный дренаж
3. Каптажные колодцы
4. Наклонные скважины.

В качестве простейших систем могут служить лотки и канавы глубиной до 3 м. Область их применения - это защита неглубоких оползней типа сплывин. Лотки используют также в качестве элементов выпуска подземных вод из слоев грунта, близких к поверхности склона.

Откосные дренажи применяют обычно для осушения откосов, потенциально подверженных поверхностным оползневым смещениям при неясно выраженных водоносных слоях или при многочисленных выходах подземных вод наружу в виде ключей. В конструктивном отношении они представляют собой сравнительно неглубокие траншеи, закладываемые ниже поверхности возможного оползания и заполненные дренирующим материалом. На рис. 91 показаны план и профиль откосного дренажа

Их располагают поперек склона, а для наиболее полного перехвата грунтовых вод устраивают в виде призм разветвлениями различной формы на расстоянии друг от друга от 3 до 15 м в зависимости от характера и состояния осушаемых грунтов.



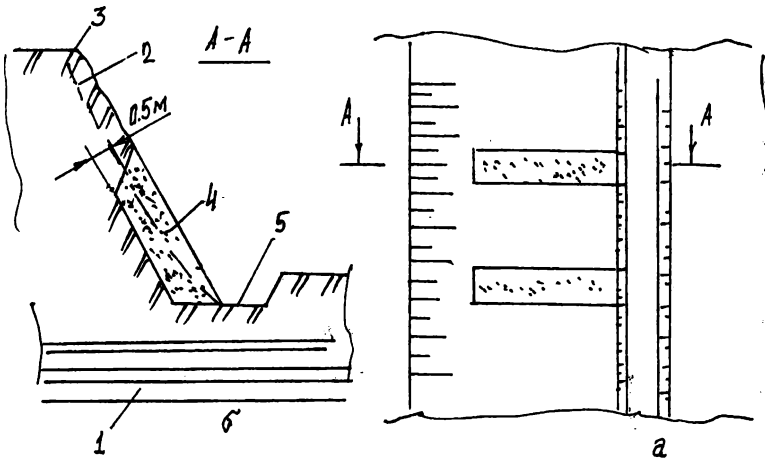


Рис. 91. План и профиль откосного дренажа:  
 а – план дренажа; б – профиль дренажа; 1 – коренные породы; 2 – поверхность скольжения; 3 – бровка откоса; 4 – дренажное устройство; 5 – лоток

Дренажные прорезы устраивают при осушении толщи наносов на оползневых склонах, где другие типы дренажей, даже при незначительных подвижках, быстро выходят из строя. Их закладывают на бровке, отводя воду из насыщенного слоя. На рис. 92 показаны план и профиль дренажа склона в виде дренажных прорезей.

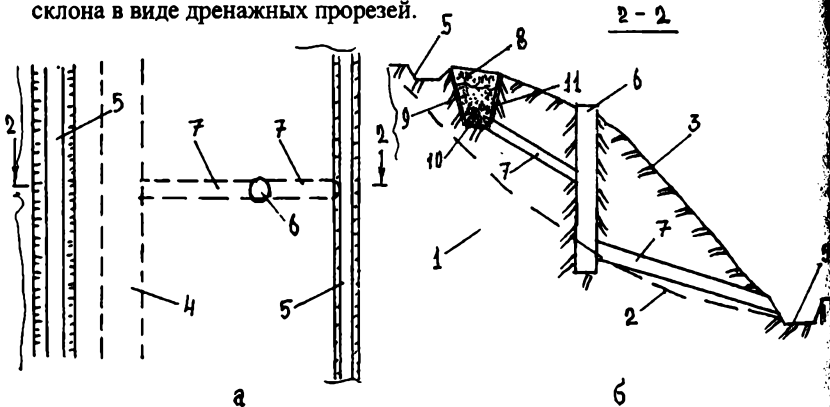


Рис. 92. План и профиль дренажа в виде дренажных прорезей:  
 а – план дренажа; б – профиль дренажа; 1 – коренные породы; 2 – поверхность скольжения; 3 – естественная поверхность склона; 4 – дренажное устройство; 5 – лоток; 6 – колодец; 7 – водоотводящие трубопроводы; 8 – грунт обратной засыпки; 9 – песок; 10 – гравий или щебень; 11 – бетонный лоток

Конструкция дренажного устройства показана на рис. 93.

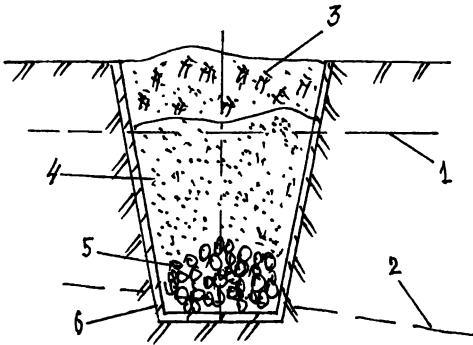


Рис. 93. Конструкция дренажного устройства:  
 1 – уровень грунтовых вод; 2 – поверхность скольжения;  
 3 – грунт обратной засыпки; 4 – песок; 5 – гравий  
 или щебень; 6 – бетонный лоток

Для ее сброса дренажные прорези соединяют трубопроводами с нижним лотком или другими водоотводящими сооружениями.

Прорези представляют собой траншею глубиной 6 - 12 м, выполненную дренирующим материалом и врезанную основанием в коренной грунт. Дренирующий материал подбирают по соотношению:

$$D_{обс} / d_{гор} = 5 \dots 10,$$

где  $D_{обс}$  – крупность частиц, масса которых в обсыпке составляет 50%;  
 $d_{гор}$  – крупность частиц, масса которых в грунте составляет 50%.

Прорези защищают от засорения, укладывают поверх дренирующего материала дерн корнями кверху или соломенные маты и другие материалы, и забивают траншею глиной и грунтом.

Если водоносные горизонты имеют выход на склон, то их осушают горизонтальными или наклонными скважинами, заложенными со стороны склона на отметках, близких к водоупору. Часть трубы перфорируют, превращая в фильтр. Механизм действия таких дрен заключается в следующем. При поступлении воды к откосу на участках, где заложены дрены, она постепенно поглощается перфорированной частью труб. В результате по мере приближения к откосу уровень грунтовых вод (УГВ)

понижается, образуя сводчатую депрессионную кривую, имеющую обратное падение вдоль дрен.

Расстояние между дренами, расположение их на склоне, длину и уклон труб, а также приток к скважинам определяют расчетом. На рис. 94 показаны план, продольный и поперечный профили дренажа из скважин.

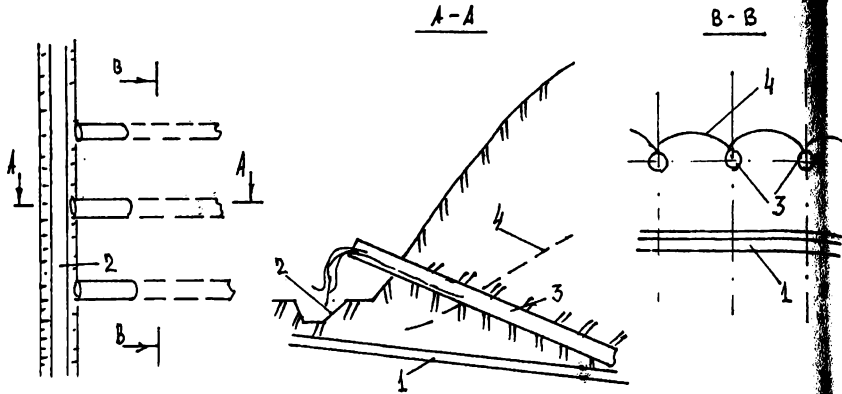


Рис. 94. План, продольный и поперечный профили дренажа из скважин:  
1 – коренные породы; 2 – лоток; 3 – дренажная скважина;  
4 – депрессионная кривая

При фронтальном выклинивании водоносного горизонта на оползневом склоне применяют наклонный дренаж, который укладывают на устойчивый откос на всю мощность водоносного горизонта. В конструктивном отношении он аналогичен пластовому дренажу и состоит из фильтра, дренажной трубы и утепляющего слоя. Толщину утепляющего слоя назначают с учетом глубины промерзания грунтов. Схема наклонного дренажа показана на рис. 95.

Когда грунтовые воды выклиниваются на склоне в виде родников, проектируют бетонные или железобетонные каптажные колодцы, снабженные обратными фильтрами в местах выхода одиночных родников. Дренажные воды, как правило, отводят из колодца через трубчатый водосброс в ливневую канализацию.

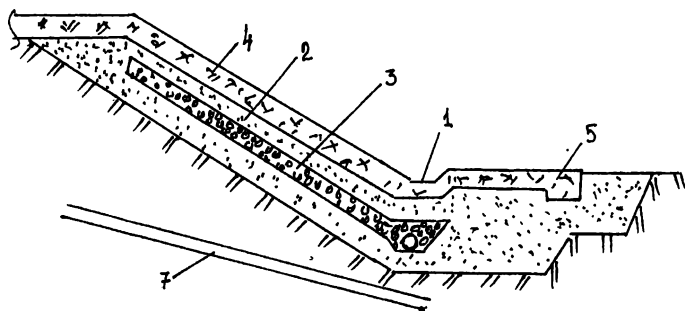


Рис. 95. Схема наклонного дренажа:

- 1 – лоток; 2 – песок; 3 – гравий или щебенка; 4 – утепляющий слой;  
5 – контрфорс; 6 – дренажная труба; 7 – коренные породы

Дренажные сооружения для стабилизации откосов в равной мере необходимы как на естественных склонах, так и при возведении искусственной насыпи. Здесь оползневые смещения могут появиться в грунтах основания из-за чрезмерного напряжения от массы насыпи и гидростатического давления подземных вод, режим которых нарушен.

Устройства для перехвата и понижения подземных вод и предотвращения оползневых процессов выбирают на основе технико-экономического сопоставления.

На прибрежных склонах основной причиной развития оползневых процессов является подмыв водами рек естественных склонов или искусственных откосов и морская абразия береговых уступов. Поскольку активизация оползневых процессов берегов тесно связана, то большая роль в комплексе противооползневых мероприятий надлежит берегоукреплениям.

Берегоукрепление может быть выполнено в виде откосов, когда защитные покрытия укладывают на предварительно спланированную поверхность откосов и набережных стенок (контрфорсов).

Они применяются из-за нехватки свободного пространства на прибрежной территории, а осуществление других мероприятий осложняется или становится невозможным.

Удерживающие сооружения свайного типа в отличие от аналогичных на естественном основании мало пригодны для защиты

морских обрывистых склонов, поскольку здесь чаще всего смещение массивов сопровождается течением грунта у подножия склона.

Берегоукрепление с точки зрения его влияния на режим водоемов относят к пассивным и проектируют в сочетании с активными наносодерживающими сооружениями: бунами и волнорезами.

Буны являются одной из самых распространенных конструкций, стабилизирующих морской берег. Они представляют собой массивные сооружения, которые размещают перпендикулярно или под углом к береговой линии, заглубляя их основание в коренную породу. На рис. 96 показан план и профиль бунного ряда.

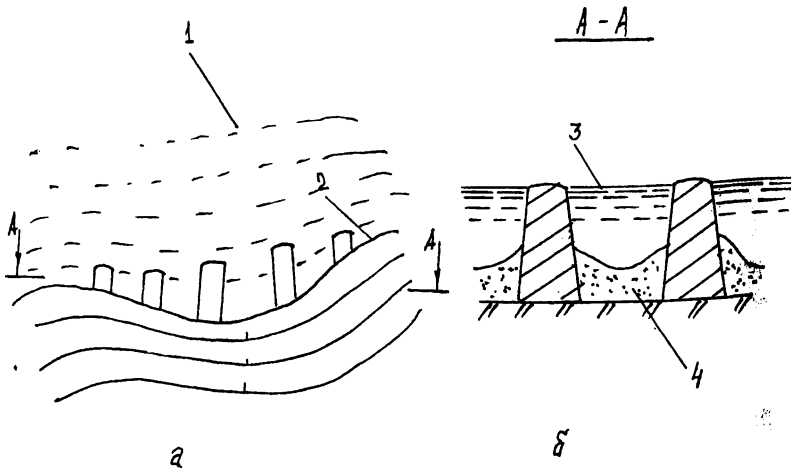


Рис. 96. План и профиль бунного ряда:  
 а – план; б – профиль; 1 – акватория; 2 – береговая линия;  
 3 – уровень воды; 4 – отложения наносов

Буны пересекают подвижную часть наносов и препятствуют их продольному транзиту. В результате наносы аккумулируются между бунами в прирезовой части акватории и частично гасят энергию волн. Степень воздействия бун на водный поток и стабилизацию берегового склона существенно зависит от их взаимного размещения и длины.

Область эффективного использования бун для борьбы с противооползевыми явлениями – это стабилизация надводных склонов и пляжей.

Подводные склоны, особенно на большом протяжении, стабилизировать с их помощью не удастся, так как склоны могут обрушиться в результате подвижки земляных масс.

Для стабилизации склонов поэтому нередко проектируют не только бунны, но и волнорезы (волноломы). Их используют для защиты подводной части склона.

Волноломы делают как затопленного, так и незатопленного типа, из железобетонных массивов или оболочек, заполненных бетоном. Волноломы защищают от абразии берега. Они частично гасят волны и накапливают наносы на тех участках акватории, где в подводной части склона проявляются оползни выдавливания. На рис. 97 показана конструкция незатопленного волнолома.

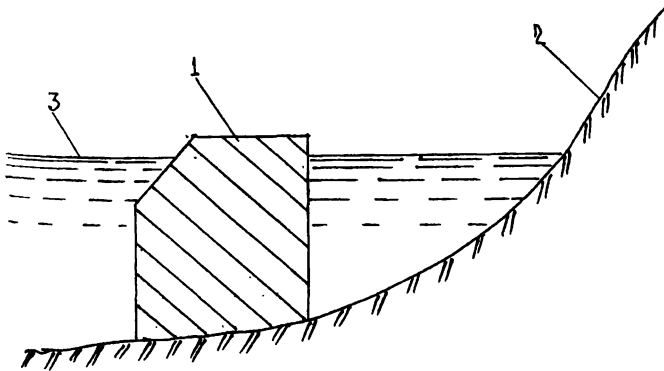


Рис. 97. Конструкция незатопленного волнолома:  
1 – волнолом; 2 – берег; 3 – акватория

На рис. 98 показан затопленный волнолом в сочетании с другими защитными мероприятиями.

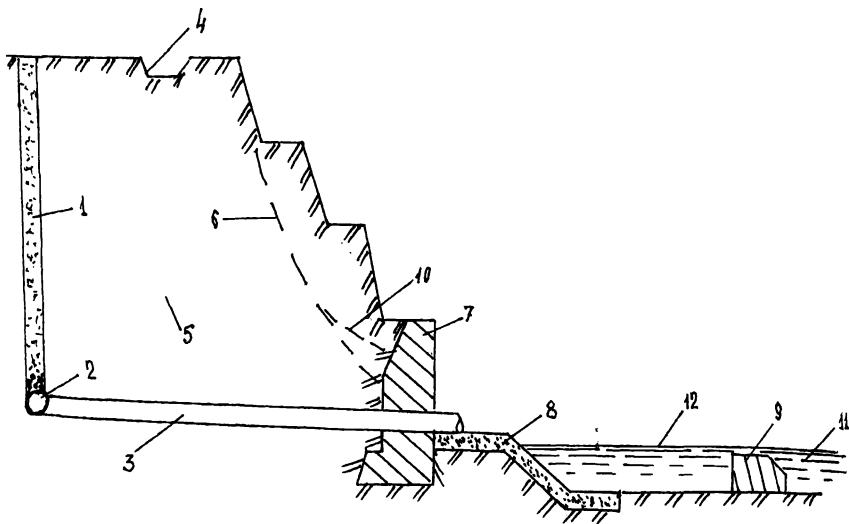


Рис. 98. Затопленный волнолом в сочетании с защитными мероприятиями:  
 1 – вертикальный фильтр; 2 – дренажная галерея; 3 – водоотводящая  
 штольня; 4 – лоток; 5 – коренные породы; 6 – плоскость скольжения;  
 7 – подпорная стенка; 8 – искусственный пляж; 9 – затопленный  
 волнолом; 10 – плоскость скольжения; 11 – акватория;  
 12 – уровень воды

## 8. Обустройство территорий, расчлененных оврагами

Освоение территорий, рельеф которых пересечен оврагами, включает комплекс мероприятий, направленных на предотвращение дальнейшей эрозии почвы и рациональное использование склонов и естественных выемок. Причины оврагообразования.

1. С геологической точки зрения образование оврагов является следствием струйчатой эрозии, вызванной периодической деятельностью воды. Во время снеготаяния и обильных дождей потоки поверхностных вод постепенно образуют на склонах поверхности вытянутые промоины-овраги, называемые еще депрессиями рельефа.

Отсутствие растительности и расчлененный рельеф (еще более усугубляет разрушительную деятельность воды).

В развитии оврагов могут участвовать и грунтовые воды, которые вскрываются при врезании дна и склонов оврага в толщу водоносных пород. Грунтовые воды способствуют нарушению устойчивости откосов в местах выхода их на поверхность и, суммируясь с потоком поверхностных вод, участвуют в дальнейшем интенсивном росте оврага.

Овраги могут быть следствием хозяйственной деятельности человека. Бессистемная разработка грунта на склонах и у их подножья, неорганизованный сброс отработанной воды, утечки из канализационных водопроводных сетей являются причинами оврагообразования.

Инженерная подготовка направлена на предотвращение развития процессов оврагообразования с учетом градостроительного предназначения осваиваемых земель. Возможны варианты освоения овражных территорий для парков, зеленых зон, спортивных площадок, гаражей, водоемов и прокладки транспортных и подземных коммуникаций, размещения складских, а в некоторых случаях и гражданских зданий.

Целесообразность вариантов использования территории для устройства парков увязывают с размерами оврагов, классификация которых по этому признаку предусматривает деление на мелкие, средние и крупные. Классификация типов оврагов приводится в табл. 15.

В верховьях неглубоких оврагов можно устраивать подземные гаражи и автостоянки.

При крутизне откосов оврага до 20% целесообразно размещать служебные помещения на предварительно спланированных террасах откоса.

В более глубоких средних и устьевых участках оврага с пологими склонами наиболее удобно создавать парки и сады.



## 15. Характеристика типов оврагов

Тип оврага	Параметры		
	длина, м	глубина, м	ширина, м
Мелкие	10 – 300	5 – 15	5 – 50
Средние	300 – 1000	10 – 30	50 – 100
Крутые	более 1000	более 30	более 100

Традиционным приемом использования оврагов, расположенных в городской черте, является прокладка транспортных магистралей по дну оврага, а в некоторых случаях устройство вводов железнодорожных линий с развязками и пересечениями в разных уровнях. Это создает наилучшие условия для увеличения скоростей сообщения автомобильного транспорта, безопасного его движения, а также снижает уровень шума на прилегающей территории.

По дну оврагов удобно прокладывать инженерные коммуникации, однако, глубокие коммуникации для этой цели использовать не рекомендуется, поскольку при большой разности отметок прилегающей территории и дна оврага усложняются условия присоединения разводящей сети к магистральным коллекторам.

Состав мероприятий и конструкций используемых сооружений при инженерной подготовке территории зависят не только от функционального использования территории, но и от того, где находится овраг: в городской черте или пригородной зоне. В табл. 16 приводится перечень основных мероприятий по реконструкции оврагов.

Меры защиты осуществляют как на прилегающей территории, так и в самом овраге.

Мероприятия на прилегающей территории существенно снижают влияние потоков поверхностных и грунтовых вод на развитие оврага. Они включают организацию поверхностного стока и каптаж грунтовых вод.

В пределах оврага стабилизируют склоны и дно. Для оврагов, расположенных в черте города, в первую очередь организуют поверхностный сток на прилегающей территории, предусматривая исключение сброса дождевых вод в овраг за счет обгонных водоотводящих систем, а при необходимости проектируют и дренажные устройства. Одновременно планируют склоны оврага, делая их более пологими, сопровождая вертикальную планировку защитой склонов от водной и ветровой эрозии.

## 16. Мероприятия по реконструкции оврагов

Размещение оврага	Задача инженерной подготовки	Мероприятия	
		на прилегающей территории	в овраге
На территориях в пределах городской черты	Предотвращение роста оврага	Организация поверхностного стока, при необходимости понижение уровня грунтовых вод	Вертикальная планировка склонов, организация поверхностного стока и перехват подземного стока, укрепление вершин, склонов и дна
	Ликвидация	То же	Полная или частичная засыпка или замыв вершин, частично дна. Вертикальная планировка, организация поверхностного стока, дренаж при наличии выхода грунтовых вод
На пригородных территориях	Предотвращение роста оврага	Лесомелиорация в сочетании с устройством малых гидротехнических сооружений	Противоэрозионные устройства на склонах и по дну оврага

Вертикальная планировка склонов оврага должна обеспечить их устойчивость. Поэтому угол уположенного откоса  $\alpha$ , пренебрегая сцеплением, условно принимают меньше угла внутреннего трения грунтов  $\psi$ , их слагающих, т.е. выдерживая зависимость

$$\alpha < \psi.$$

Предельная высота вертикального откоса из связанных пород, выше которой стенки земляного сооружения не будут удерживаться силами сцепления грунта

$$h_{np} = 2 \cdot c / \rho,$$

где  $h_{np}$  — предельная высота вертикальной части откоса, см;  
 $c$  — удельная сила сцепления, н/см<sup>2</sup>;  
 $\rho$  — плотность грунта, г/см<sup>3</sup>.

Координаты откоса ниже предельной высоты вертикальной части находят по уравнению В. В. Соколовского. При проектировании величину угла уположенного откоса в связных и сыпучих грунтах уменьшают, поскольку формула силы сцепления

$$Скр = \rho h / f(\alpha, \beta, \theta) = \rho h / k_{уст},$$

отражает его предельное состояние.

При высоте откосов более 5 – 6 м по соображениям обеспечения устойчивости устраивают бермы, ширину которых принимают не менее 2 м. Нередко бермы используют в качестве пешеходных дорожек, тогда их ширину назначают в соответствии с требованиями горизонтальной планировки. Поперечный уклон берм проектируют в сторону водоотводного лотка. Его размещают у основания вышележащего склона. На рис. 99 показана схема реконструкции оврага с дорогой по дну.

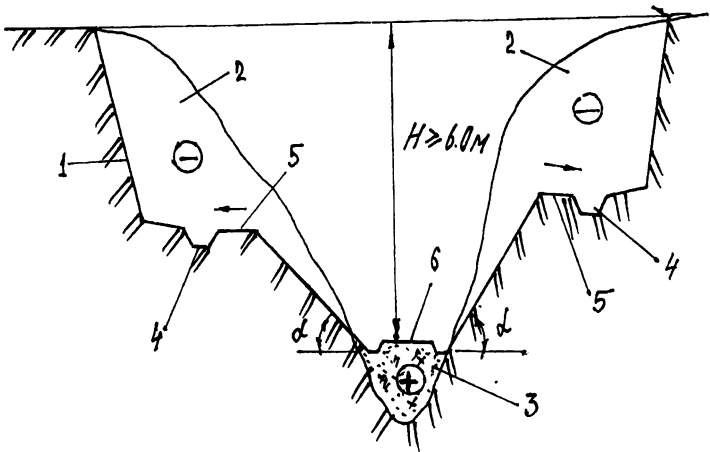


Рис. 99. Схема реконструкции оврага с дорогой по дну:  
1 – проектный профиль; 2 – срезка грунта; 3 – подсыпка  
грунта; 4 – водосток; 5 – берма; 6 – дорога

К террасированию склонов прибегают в тех случаях, когда на склонах оврага размещают здания. На рис. 100 показана схема реконструкции оврага с террасированием склонов.

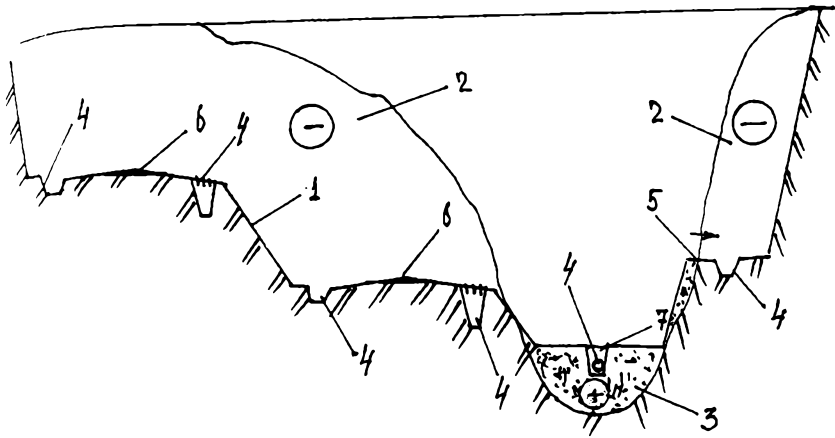


Рис. 100. Схема реконструкции оврага с террасированием склонов:  
 1 – проектный профиль; 2 – срезка грунта; 3 – подсыпка грунта;  
 4 – водосток; 5 – берма; 6 – дорожное полотно; 7 – дренаж

Уполаживание и террасирование склонов обычно сочетаются с креплением их поверхности. Для этого на склонах сеют травы, укладывают дерн, сажают деревья, а на некоторых участках применяют каменные материалы.

При вертикальной планировке стремятся так перераспределить в пределах оврага объемы земляных работ, чтобы достигнуть их баланса.

Целесообразно, например, срезаемый с откосов грунт использовать для подсыпки дна оврага.

Поперечное сечение оврага засыпают частично, когда по его дну проектируют дороги или другие инженерные сооружения. При такой частичной ликвидации оврага глубину засыпки назначают с учетом нормативных продольных уклонов дорог, пешеходных дорожек и нормальных условий размещения и эксплуатации подземных коммуникаций. На рис. 101 показана схема частичной ликвидации оврага.

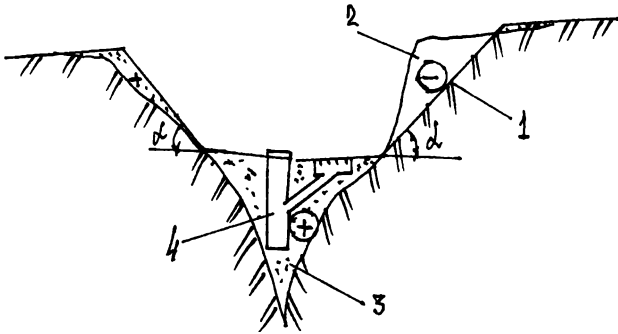


Рис. 101. Схема частичной ликвидации оврага:  
 1 – проектный профиль; 2 – срезка грунта;  
 3 – подсыпка грунта; 4 – водосток

Поперечное сечение оврага засыпают полностью, как правило, лишь в верховой части, где склоны круты, а ширина поверху незначительна. При необходимости засыпают и боковые ответвления – отвершки.

Ликвидация оврага должна быть обоснована технико-экономическими расчетами на основе анализа различных вариантов планировочного решения и соответствующего этим вариантам метода инженерного освоения овражных территорий.

Обычно полная ликвидация оврага вызвана строительством в непосредственной близости от бровки оврага капитальной застройки, так как для размещения зданий засыпанные овраги используют редко. Это объясняется рядом причин. Во – первых, даже при наличии оптимального гранулометрического состава засыпки и использования метода рефулирования здания возводят на свайных фундаментах. Во – вторых, стабилизация насыпного грунта требует времени, а при сухой укладке еще и предварительного уплотнения. В – третьих, при замыве оврага нельзя полностью исключить возможность обрушения склонов, особенно сложными глинистыми грунтами.

Приближение зданий к бровке уположенного откоса или засыпанного оврага ограничивают безопасным расстоянием. Это расстояние намечают не менее 20 м от бровки уположенного до устойчивого состояния откоса. На засыпных – определяют аналогично, т.е

расстояние исчисляют от вероятной линии уположенного откоса, которое легко установить, зная требуемый угол.

Поверхностный сток в овраге организуют, собирая ливневые воды системой лотков, расположенных на бермах или по дну, и отводя их в места сброса. На засыпанных участках оврага предварительно укладывают дождевой, а при необходимости и дренажный коллектор.

Для защиты от размыва лотки открытой системы укрепляют, а их поперечное сечение определяют с учетом пропуска расчетных расходов и создания неразмывающих скоростей.

Размещение лотков предопределяет проектные продольные уклоны дна оврага. При больших уклонах профиль лотков проектируют ступенчатым или крутонаклонным.

В отдельных случаях по планировочным или техническим соображениям сбрасывают в овраг поверхностные воды с прилегающей территории. Тогда по дну оврага проектируют комплекс специальных водопрпускных устройств. На рис. 102 показана секционная схема реконструкции откоса оврага.

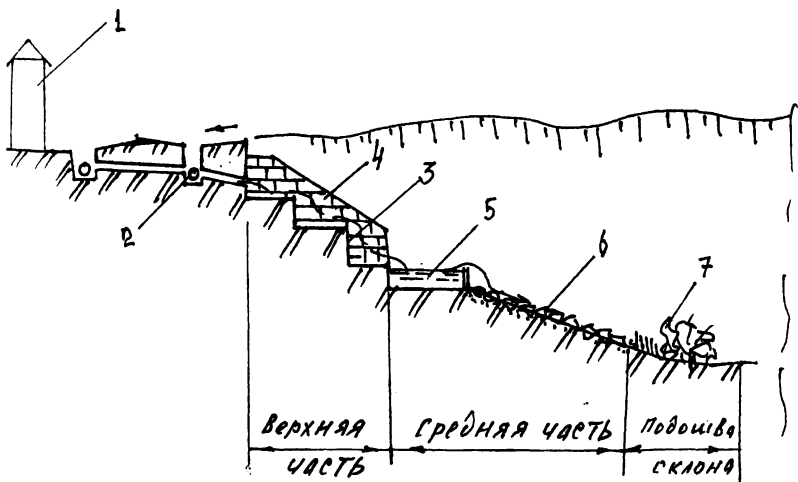


Рис. 102. Секционная схема реконструкции откоса оврага:

- 1 - застройка; 2 - водосточный коллектор; 3 - многоступенчатый перепад;
- 4 - бетонное укрепление склона; 5 - запруда; 6 - водоотбойное мощение;
- 7 - травяной покров и кустарники у подошвы склона

На вершине оврага предусматривают быстротоки или ступенчатые перепады с водобойными колодцами. На этом участке защиту дна от

размыва можно устраивать с помощью мощения камнем или облицовкой плитами по предварительно спланированной поверхности. Такое решение приемлемо на ранних стадиях развития оврага, когда «врезание» его дна в толщу грунтов только начинается.

На более пологих участках в средней части дна проектируют запруды и водобойное крепление. Эти устройства являются малыми гидротехническими сооружениями, выполняющими противозерозионную роль. Их параметры определяются соответствующими расчетами. Водосливные запруды, расположенные поперек потока, позволяют уменьшить скорость воды и уполаживают дно за счет аккумуляции наносов между искусственно созданными преградами.

Запруды представляют собой сооружения высотой 0,5 – 1,5 м. Это одно – и двухрядные фашинные или каменные стенки. Промежутки между ними заполняют мятой глиной, камнем или фашинами. В ответственных случаях используют и стены из шпунтового ряда свай. Наиболее капитальные – бетонные и железобетонные запруды. Их делают монолитными или собирают из железобетонных плит. Участки между запрудами заполняют утрамбованной глиной, камнем или фашинами.

Для защиты дна от размыва на участке за запрудами создают водобойные крепления, которые устраивают длиной не менее 2,5 м. Их выполняют из каменной наброски или бетонных плит. Если высота запруд невелика, то водобойные крепления могут быть облегченными, так как размывающая сила потока не столь велика, как при высоких запрудах. Здесь достаточно устроить хворостяную выстилку по слою утрамбованной глины, обжимаемой ивовыми кольями. Подошвы откосов также закрепляют; укладывают плиты или сажают кустарник.

В устьевой части дна оврага, там, где продольные уклоны по дну незначительны, для закрепления достаточно использовать посадку кустарников у подошвы склона и посев трав в зоне движения потока.

В пригородах на прилегающей к оврагу водосборной площади проводят лесомелиоративные работы в сочетании с устройством простейших гидротехнических сооружений. Все это включает посадку защитных лесополос и создание системы нагорных перехватывающих и водоотводящих канав.

На землях сельскохозяйственного использования в первую очередь проводят агротехнические и мелиоративные мероприятия. Если же они неэффективны, то дополнительно проектируют земляные гидротехнические сооружения. Устраивают горизонтальные и наклонные валы – террасы, водозадерживающие и водоотводящие валы – канавы, распылители стоков.

Валы – террасы создают для сокращения скорости стока поверхностных вод и одновременно уменьшения уклонов на склонах. Террасы размещают поперек движения воды вдоль горизонталей рельефа,

обычно на обрабатываемых сельскохозяйственных угодьях с уклонами поверхности 3 – 8. Вдоль вала – террасы проектируют залуженный водосбор для излишней воды.

Для отвода дождевых вод проектируют водозадерживающие валы, которые располагают у вершины оврага или несколько ниже. Схема размещения водоотводящих валов показана на рис. 103.

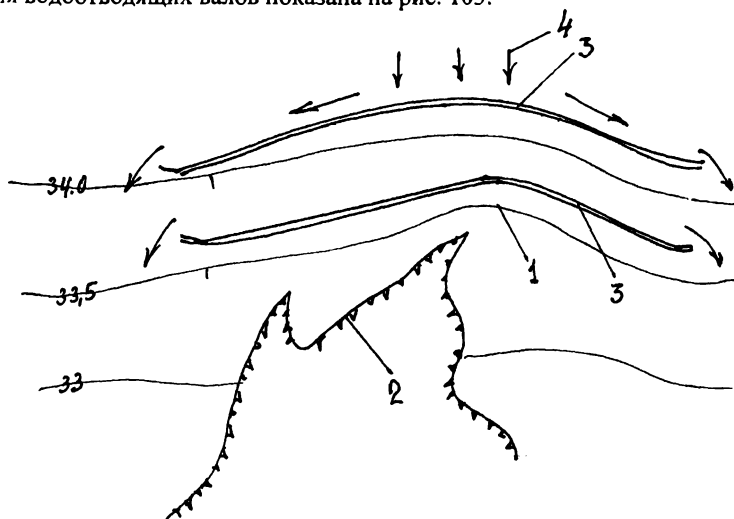


Рис. 103. Схема размещения водоотводящих валов:  
1 – горизонталь; 2 – вершина оврага; 3 – водоотводящий вал; 4 – сток поверхностных вод

Многорядная система валов, размещенных выше вершины оврага, связана с потерей больших площадей. Очевидные преимущества с этой точки зрения имеет устройство одного вала, задерживающего большие объемы стока.

На рис. 104 показана схема размещения водоудерживающего вала в вершине оврага.

Водозадерживающие валы особенно эффективны, когда имеются глубокие, сильно разветвленные овраги с крутыми откосами, а склоны водосборной площади равномерно, амфитеатром спускаются к оврагу.

Тогда размещают дугообразные в плане валы, охватывающие вершину оврага. Такие валы трассируют по горизонталям, обеспечивая задержание всего стока, направляющегося к вершине, и, исключая, таким образом, необходимость устройства дорогостоящих креплений вершины.



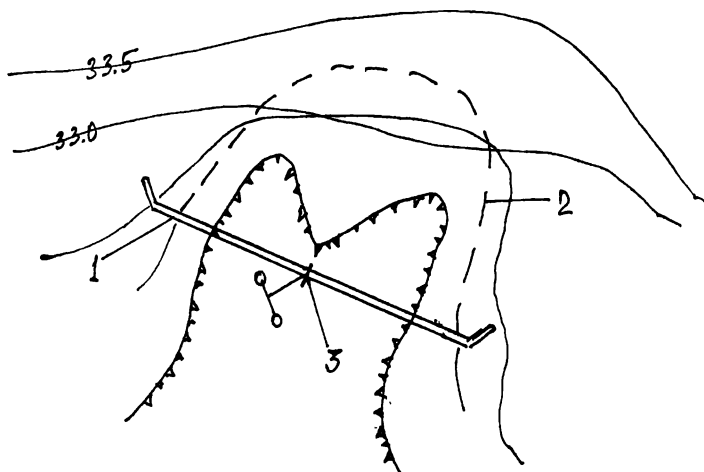


Рис. 104. Схема размещения водоотводящего вала в вершине оврага:  
1 – водоотводящий вал; 2 – граница увлажнения склона;  
3 – донный водовыпуск

Водозадерживающие валы играют вспомогательную роль в регулировании стока на прилегающей территории, поэтому их проектируют в сочетании с противозерозионными мероприятиями на откосах оврага.

Водоотводящие валы – каналы применяют для перехвата и отвода поверхностных вод от оврагов с большим числом ответвлений. Размещение их в плане определяется топографическими особенностями территории. На рис. 105 приводится схема водоотводящего вала со сбросным сооружением.

Поперечное сечение водозадерживающих и водоотводящих валов – каналов может быть двух вариантов. Параметры сечения определяют специальным расчетом для ливневого стока 10%-ной обеспеченности.

При этом отметку гребня проектируют обычно не менее, чем на 0,2 м выше расчетного уровня воды при расходах до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ , если расходы стока находятся в пределах  $1 - 10 \text{ м}^3/\text{с}$ , превышение делают не менее 0,4 – 0,5 м. На рис. 106а приводится треугольный поперечный профиль водозадерживающего (водоотводящего) вала – канала. На рис. 106б показан трапециевидный профиль водозадерживающего (водоотводящего) вала – канала.

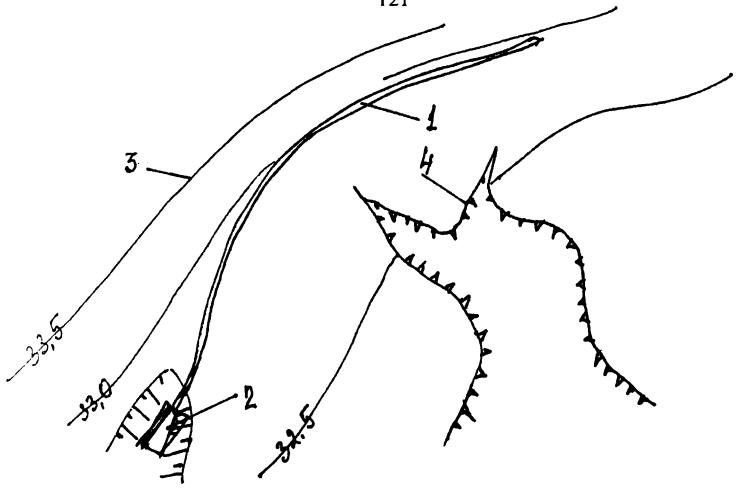


Рис. 105. Схема водоотводящего вала со сбросным сооружением:  
1 – водоотводящий вал; 2 – водосбросное сооружение; 3 – горизонталь; 4 – вершина оврага

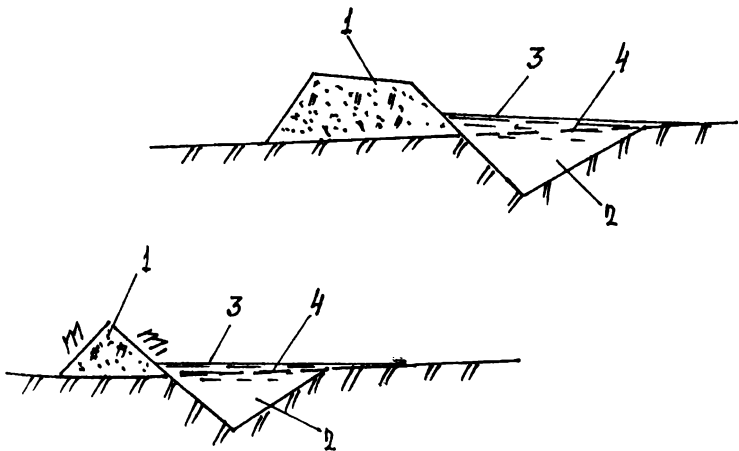


Рис. 106. Профили водоудерживающих (водоотводящих) валов – канав:  
1 – земляной вал; 2 – прудок – канава; 3 – расчетный уровень воды в прудке; 4 – уровень поверхности территории

Опыт строительства и эксплуатации валов показал, что наиболее телесообразны широкие валы-ложбины с пологими откосами ( $m = 5 - 8$ ),

имеющие глубину 0,5 – 0,6 м и ширину 1 – 1,5 м. Они не создают трудностей для прохождения механизмов и хорошо сохраняются при обработке полей.

Продольный уклон канав назначают по тем же принципам, что и открытой сети: скорость стекания воды вдоль вала должна быть менее критической размываемой и исключить заилиние. Если каналы имеют большую протяженность, то их поперечное сечение, определяемое расчетом, делают переменным по длине. По мере увеличения водосборной площади поперечное сечение канавы увеличивают, и лишь при небольших расходах (до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) каналы могут иметь постоянные размеры поперечного сечения.

При пересечении канавами глубоких ложбин необходимо обеспечить безопасный сброс воды из образующихся в ложбине прудков. Поэтому проектируют залужение дна канавы, а в теле земляного вала закладывают дренажную призму.

Распылители стока представляют собой простейшее земляное сооружение (валик) с параллельно расположенным лотком, перегораживающее ложбину под углом  $45^\circ$ . Такие сооружения позволяют рассредоточить водный поток и ослабить его разрушительную (размывающую) силу. На рис. 107 показан распылитель стока.

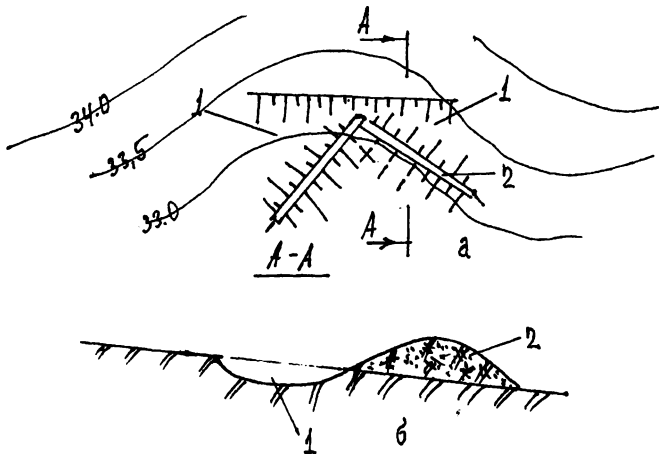


Рис. 107. Распылитель стока:  
а – план; б – поперечное сечение; 1 – лоток (выемка); 2 – распылитель стока (земляной вал)

При проектировании распылителей определяют длину валиков и выемок, их размещение на местности и конструктивные элементы. Специальных расчетов при этом не требуется, так как параметры зависят

от ширины и глубины естественной ложбины или других препятствий, вызывающих концентрирование стока. На рис. 108 приводится расчетная схема параметров водоотводящих сооружений для углублений.

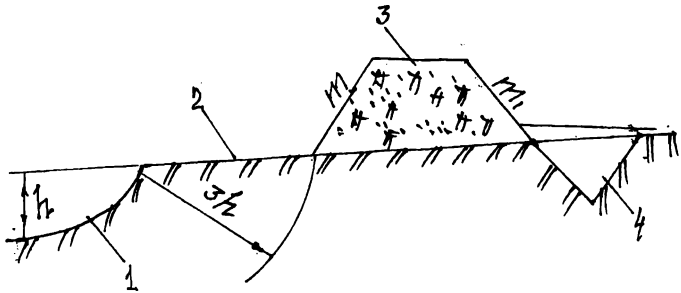


Рис. 108. Расчетная схема параметров водоотводящих сооружений для углублений:

- 1 – углубление; 2 – защитная полоса;  
3 – водоотводящий вал; 4 – прудок – канава

Рассмотренные выше водоотводящие сооружения проектируют комплексно. Они в сочетании с другими мероприятиями составляют общую систему регулирования поверхностного стока на прилегающей территории. Так, защитные лесопосадки, размещенные поперек стока, способны повлиять на его регулирование и задержать эрозионные процессы. Правда, как единственное противозерозионное мероприятие, они чаще всего неэффективны, но в сочетании с валами – канавами и другими водоотводящими сооружениями дают положительный результат.

Ширину приовражных лесополос определяют, учитывая противозерозионный эффект леса и условия рационального использования приовражной территории.

В состав элементов водоотводящих систем входят устраиваемые в оврагах головные, донные и русловые противозерозионные сооружения, которые применяются в городе. Однако их конструкции выполняют из менее дорогостоящих материалов. Например, быстротоки устраивают из хвороста или фашин, реже – камня, а запруды делают из простейших конструкций.

К закреплению склонов оврага на пригородных территориях прибегают в тех случаях, когда необходимо в короткий срок предотвратить его разрушение. Тогда предварительно срезают верхнюю часть откоса и перемещают грунт в его нижнюю часть. Это обеспечивает формирование устойчивого откоса. Для закрепления склонов используют многолетние травы, дерн, плетни и камень, в некоторых случаях даже хворост.

Террасирование склонов оврага на природных территориях экономически целесообразно в случае использования террас под лесные и плодовые насаждения, что высвобождает площади равнинных земель под посев других сельскохозяйственных культур.

## 9. Обустройство заторфованных территорий

Использование территорий, ранее считавшихся неблагоприятными, стало настоящей проблемой развитых стран мира, где остаются все меньше свободной и удобной для использования земли. В последнее время вследствие заметного недостатка таких земель был расширен круг использования территорий, классифицированных ранее как непригодные. К их числу относятся заторфованные территории. Освоение таких участков, особенно в районах с мощными слоями торфа, является сложной инженерной задачей.

Структура заторфованных территорий и строительные свойства торфяных грунтов. Заболоченные территории характеризуются длительным стоянием грунтовых вод на глубине менее 0,5 метра от поверхности. В геологическом отношении такие земли представлены неразложившейся органической массой – торфом и аморфным перегноем. К болотам относят участки со слоем торфа более 0,3 м.

Причины переувлажнения заторфованных территорий объясняют как особенностями природных характеристик, так и почвенными биологическими процессами, связанными с неблагоприятными для разложения органических остатков условиями.

Отсутствие кислорода в почве приводит к расщеплению органических остатков, а не к их сгоранию. В результате накапливаются органические остатки и аморфный перегной, и повышается влагоемкость грунта.

Переувлажненность усугубляется в определенных условиях из-за глубокого промерзания зимой и медленного оттаивания весной.

В стабильном состоянии этот процесс необратим, поскольку на лишенных минеральных частиц влагонасыщенных почвах не могут расти леса, способные транспирировать влагу, растут только мох и трава, постепенно увеличивая мощность торфяного слоя.

Заторфованные территории характеризуются высокой сжимаемостью торфяных залежей, длительностью и неравномерностью деформации как в результате осушения, так и действия внешней нагрузки.

Структура торфяных грунтов представлена грубодисперсными фракциями, образующими каркас залежи, и высокодисперсными, заполняющими этот каркас.

Грубодисперсные фракции являются растительными остатками, обладают признаками твердого тела, но подвержены значительной деформации.

Высокодисперсные фракции, продукт разложения растительных остатков – представлены гумусом, придающим торфу свойства связности. На рис. 109 показана микроструктура болот первого типа.

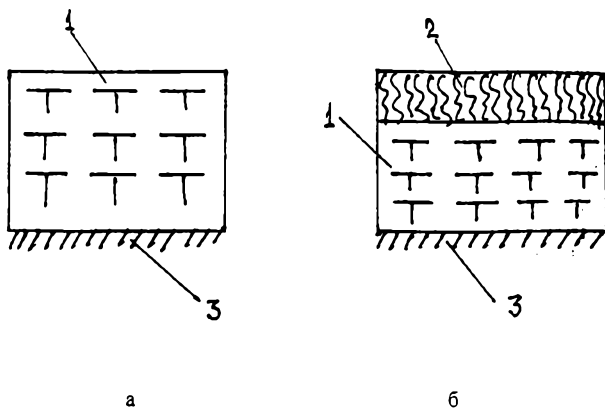


Рис. 109 Микроструктура болот первого типа:  
 а – болото с однородным грунтом; б – болото с  
 волокнистой толщей поверху; 1 – плотный  
 торфяной грунт; 2 – волокнистый грунт;  
 3 – минеральное дно болота

На рис. 110 приводится микроструктура болот второго типа.

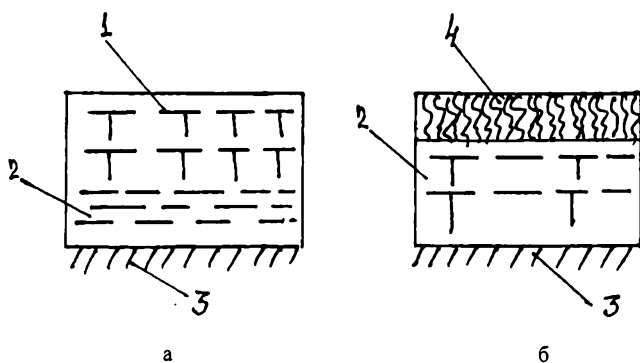


Рис. 110. Микроструктура болот второго типа:  
 а – болото со слабыми придонными отложениями; б – болото с  
 разжиженным торфом; 1 – плотный торфяной грунт;  
 2 – разжиженный торф; 3 – минеральное дно;  
 4 – волокнистый грунт

На рис. 111 приводится микроструктура болот третьего типа. В основу строительной классификации болот положена величина деформации торфа под нагрузкой. По этому признаку выделяют три типа болот. В табл. 17 дана характеристика разного типа болот.

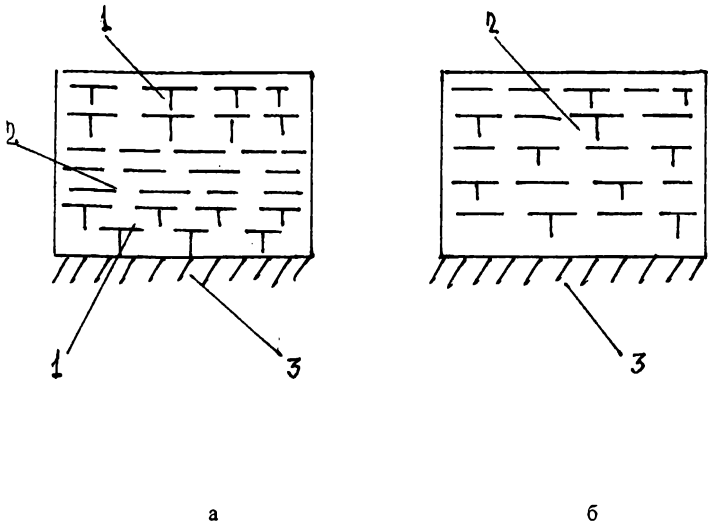


Рис. 111. Микроструктура болот третьего типа:  
 а – болото со слабой прослойкой; б – болото с несколькими слабыми прослойками; 1 – плотный торфяной грунт; 2 – разжиженный торф; 3 – минеральное дно

Различные строения пластов торфа характеризуются макроструктурой, дисперсностью, степенью разложения остатков, деформация предопределяет методы строительства и осушения территории.

Болота III типа не осваивают, а I и II требуют проведения специальных мероприятий для использования территории.



## 17. Строительная характеристика болот

Тип болота	Характеристика	Подтипы и условия залегания грунтов	Деформация под нагрузкой
I	Губчато-волокнистое строение высокое структурное сцепление; степень разложения 50%, подстилаются достаточно плотными минеральными грунтами	А. Торф в осушенных или уплотненных пластах Б. Торф рыхлый, полностью водонасыщенный	Преимущественное сжатие в пределах контура залегания
II	Пластичная консистенция, структура аморфная или зернистая; степень разложения торфа > 50%, подстилаются органическими или полуорганическими илами (сапропелями)	А. Торф высокой степени разложения, ил сапрпель, осушенные мелкодисперсные или зернистые Б. Торф хорошо разложившийся, неуплотненный, при влажности близкой к полной влагоемкости	Возможно выдавливание из контура загрузки
III	Текучая консистенция; структурное сцепление отсутствует	Жидкие слои болот с плавающим на поверхности торфяным ковром – сплавной (зыбун)	Несущая способность практически отсутствует

В табл. 18 приводятся нормативные показатели болотных грунтов.

## 18. Нормативные показатели болотных грунтов

Характеристика	Нормативные показатели для типов болот	
	I	II
Влажность при полной влагоемкости $W_n, \%$	10..14	6..11
Плотность твердой фазы $\rho, \text{кг/см}^3$	0.014..0.016	0,015..0.016
Модуль деформации при полной влагоемкости $E_0, \text{Па}$	22..11	31..15

При освоении заторфованных территорий реализуют три цели.

Устраняют чрезмерную сжимаемость грунтов под воздействием нагрузок и осушения. Обеспечивают нормативные санитарные условия самоочищения грунтов от патогенных микроорганизмов (аэрацию). Гарантируют положение уровня грунтовых вод, соответствующее норме осушения.

Инженерная подготовка заторфованных территорий включает комплекс общих и специальных мероприятий для болот. Устранение большой сжимаемости заторфованных грунтов под нагрузкой достигается пригрузкой слоем минерального грунта, частичным или полным выторфовыванием. На рис. 112 показаны схемы подготовки болота без изъятия торфа.

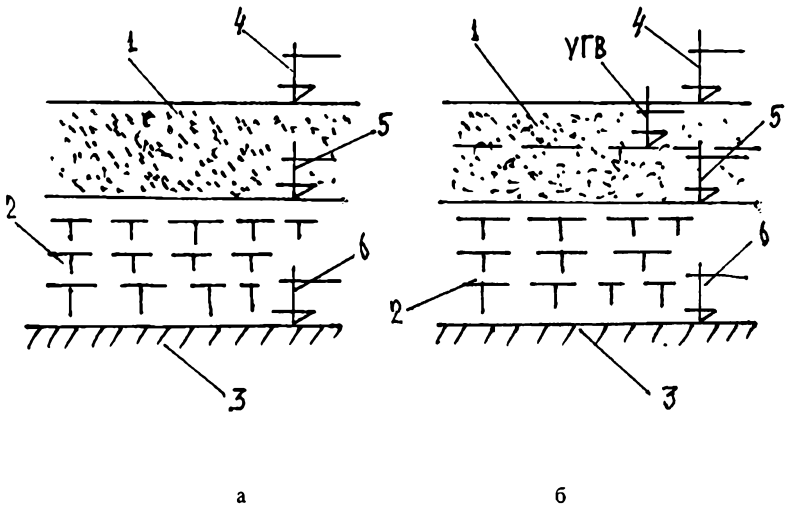


Рис. 112. Схемы подготовки болота без изъятия торфа:

а – пригрузка слоем минерального грунта; б – подсыпка поверхности;

1 – насыпь минерального грунта; 2 – торф; 3 – минеральное дно;

4 – отметка проектной поверхности; 5 – отметка поверхности проектного торфа;

6 – отметка поверхности минерального дна

На рис. 113 показаны схемы подготовки болота с изъятием торфа.

Требования к инженерной подготовке обусловлены характером использования территории. Для каждой функциональной зоны города необходим соответствующий комплекс общих и специальных мероприятий.

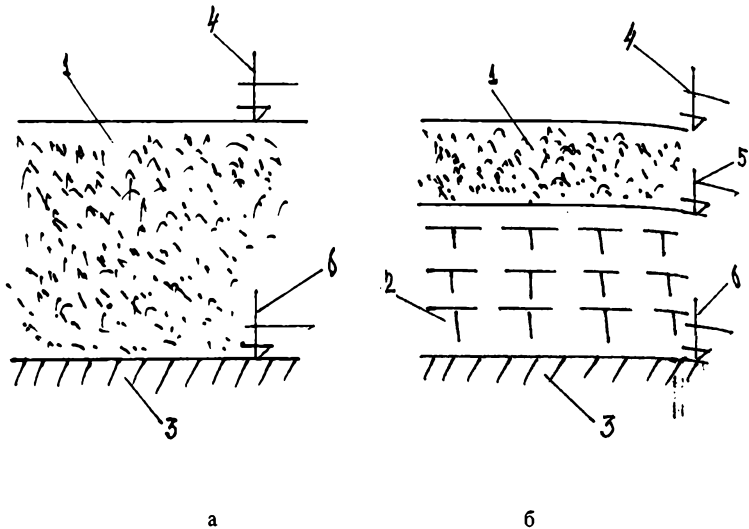


Рис. 113. Схемы подготовки болота с изъятием торфа:  
 а – полное удаление торфа; б – частичное удаление торфа;  
 1 – насыпь минерального грунта; 2 – торф; 3 – минеральное дно;  
 4 – отметка проектной поверхности; 5 – отметка поверхности  
 проектного торфа; 6 – отметка поверхности минерального дна

На участках селитебной зоны, для стабилизации поверхности необходимо использование метода пригрузки. Здесь же следует обеспечивать повышенную по сравнению с другими городскими зонами норму осушения и специальные условия для зеленых насаждений. Эти зоны объединены в первую группу.

Участки, представленные во второй группе осваивают не только методом пригрузки. В отдельных случаях возникает потребность выторфовывания. Это объясняют необходимостью исключения сверхнормативных упругих деформаций дорожных покрытий при движении транспорта. Кроме того, на городских улицах размещают подземные коммуникации, для которых требуется надежное основание.

На территориях промышленных предприятий и коммунально-складских зон применяют те же методы. Выбор метода или мероприятия зависит от конкретных условий отдельных участков.

Инженерная подготовка на внегородских территориях, принадлежащих ко второй группе, ограничивается осушением торфяных грунтов.

В инженерном освоении заторфованных территорий немалую роль отводят благоустройству естественных водоемов, которые проектируют в общем комплексе с разработкой решений осушения, поэтому наряду с очисткой водоемов и обеспечением нормативной чистоты воды предусматривают понижение ее уровня на глубину, необходимую для усиления дренирования прилегающих территорий.

Мероприятия по инженерной подготовке заболоченных территорий позволяют наряду со стабилизацией поверхности создать условия для формирования культурного и растительного покрова, обеспечивают соблюдение санитарных и градостроительных норм осушения. В табл. 19 приводятся мероприятия на заболоченных участках разного характера использования.

### 19. Комплекс мероприятий на территориях различного характера использования.

Функциональное использование территории	Комплекс мероприятий по инженерной подготовке		
	специальные методы	общие мероприятия	специальные мероприятия
1. Жилые кварталы и микрорайоны, зеленые насаждения общего пользования и спортивные сооружения	Пригрузка слоем минерального грунта (насыпь)	Вертикальная планировка и организация водоотвода	Дренирование
2. Улицы и площади селитебных зон, дороги внеселитебных зон	Пригрузка или выторфовывание (полное или частичное) с заменой минеральными грунтами	Тоже	
3. Промышленные, коммунально-складские и прочие территории	Тоже		Тоже, и агролесотехнические
4. Санитарно-защитные полосы и загородные места отдыха	—	Осушительная сеть	

Методы пригрузки болот аналогичны методам подсыпки пойменных территорий. Следует только учесть, что водопроницаемость торфяной залежи при ее уплотнении резко снижается. В результате фильтрационная консолидация пригрузки из глинистых грунтов на торфах при гидронамыве требует значительно больших сроков, чем при намыве на основание из проницаемых минеральных грунтов. Для сокращения сроков

консолидации торфяной залежи при пригрузки используют предварительное осушение заторфованных территорий. Если же освоение территории не лимитирует сроки консолидации торфяных грунтов, то устройство временной осушительной сети необязательно.

Методы пригрузки так же, как и частичного выторфовывания, позволяют ликвидировать просадочность торфяной залежи за счет создания насыпи, воспринимающей динамические нагрузки при движении транспорта и статические – от различных сооружений.

При возведении зданий торфяной слой прорезают фундаментами, которыми передают нагрузку на прочные подстилающие слои.

Толщину насыпного слоя устанавливают специальным расчетом с учетом величины осадки поверхности торфяного пласта.

На затопляемых пойменных территориях толщину слоя пригрузки определяют не только с условием ликвидации посадочности, но и в соответствии с требованиями защиты от затопления.

Мощность насыпного слоя должна быть достаточна и для организации рельефа, прокладки подземных коммуникаций с обеспечением условий для удаления дождевых, дренажных и хозяйственно-бытовых вод.

Толщину насыпного слоя устанавливают специальным расчетом с учетом величины осадки торфяного пласта. На затопляемых пойменных территориях толщина слоя пригрузки определяется не только условием ликвидации просадочности, но и требованиями защиты от затопления.

Мощность насыпного слоя должна быть достаточна и для организации рельефа, прокладки подземных коммуникаций с обеспечением условий для удаления дождевых, дренажных и хозяйственно-бытовых вод.

При увеличении мощности насыпи можно достичь большого уплотнения торфяных грунтов, что способствует повышению их устойчивости и снижению деформации под действием временных нагрузок. Однако такой путь оказывается часто экономически нецелесообразным и влечет к увеличению сроков стабилизации поверхности. Поэтому рекомендации по выбору минимального слоя толщины пригрузки должны быть обоснованы тщательным анализом материалов о строении торфяной залежи и ее мощности.

Для более точных расчетов величины конечной осадки  $S_p$  насыпи имеется несколько формул. Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений рекомендует к использованию формулу:

$$S_p = 3P \cdot H / (3E_0 + 4p),$$

где  $p$  – удельное давление пригрузки на поверхность торфяного

- грунта, Па/м<sup>2</sup>;
- $H$  – мощность слоя торфяной залежи в бытовых условиях (до пригрузки), м;
- $E_0$  – модуль начальной линейной деформации при полной влагоемкости торфа, Па/м<sup>2</sup>.

На предварительных стадиях проектирования задают

$$S_p = \lambda \cdot H$$

где  $\lambda$  – относительная деформация. Ее определяют по натурным наблюдениям.

Если же нагрузки на торфяной слой находятся в пределах от 2 до 6 Па, что соответствует толщине пригрузки в 1..3 м, значения  $\lambda$  ориентировочно можно принять по табл. 20.

## 20. Значения относительной деформации $\lambda$

Мощность пласта торфяных грунтов, м	Относительная деформация $\lambda$ при толщине слоя насыпи, м		
	2..3	1..2	До 1
4..6	0,30	0,22	0,15
2..4	0,38	0,30	0,22
2	0,46	0,38	0,30

На основе расчетов осадок, выполненных по вышеприведенным формулам (для  $S_p$ ), следует сделать вывод, что толщины насыпи под местными дорогами, прокладываемыми на торфах, можно принять не менее указанных в табл. 21.

## 21. Толщина насыпи под местными дорогами

Мощность пласта торфяных грунтов, м	Минимальная толщина насыпи, м, при плотности скелета используемых грунтов, г/см <sup>3</sup>		
	0,18	0,13	0,08
6	1	1,40	1,4
3	1	1,35	1,4
1	1	1,25	1,3

На магистралях с интенсивным движением транспорта прочность покрытия можно обеспечить, приняв толщину подстилающей насыпи в пределах величин, приведенных в табл. 22.

## 22. Толщина насыпи под магистральными дорогами

Мощность пласта торфяных грунтов, м	Толщина насыпи, м, для покрытий		
	капитальных усовершенствованных	облегченных усовершенствованных	пешеходных
8	4,5	4	3,5
6	4	3,5	3
4	3	2,5	2
2	2,5	2	1,5

Трещины в дорожных одеждах появляются в результате неодинаковых по частоте и амплитуде колебаний, вызванных скоростным и интенсивным движением транспорта различной грузоподъемности.

Поэтому при определении толщины насыпи под магистралями в каждом конкретном случае необходимы поверочные динамические расчеты.

На межмагистральных территориях толщину подсыпки выбирают по специальным нормам, разработанным для осваиваемых районов страны, а ориентировочно принимают по данным табл. 22 с поправочным коэффициентом 0,7.

Метод полного выторфовывания заключается в изъятии торфяного грунта с последующей его заменой минеральным. В таких случаях мощность насыпи определяют как разность планировочных отметок поверхности территории и отметок минерального дна болота. Этот метод радикальный и его достоинство заключается в том, что при использовании песчаных грунтов практически исключены деформации оснований зданий. Однако метод имеет и недостатки.

Как показывает практика выторфовывания, при мощности слоя торфа более 2м, объемы земляных работ значительно возрастают по сравнению с объемами работ при методе пригрузки. Обычно затраты на увеличение объемов работ оправдывают тем, что отпадает необходимость устройства дорогостоящих свайных фундаментов зданий. Однако в слабых грунтах минерального дна болота приходится проектировать такие фундаменты, тем более, что само тело насыпи является беззащитным только тогда, когда ее возводят из песчаных грунтов.

Выемка и складывание торфа являются довольно сложной задачей, особенно если осваивают участки в черте города. Правда, когда торфяная масса пригодна для использования в качестве удобрения или топлива, этот недостаток компенсируется ее утилизацией.

Основание под городскими улицами укрепляют двумя методами. Предусматривают устройство усиленного основания на проезжей части улиц по сохраняемому слою торфяных грунтов. На рис. 114 показана схема реализации этого метода.

Дополнительно предусматривают устройство временных покрытий проезжей части улиц из сборных плит.

Деформацию оснований за период стабилизации осадки торфяных грунтов относительно легко устраняют, так как покрытия заменяют постоянными. Для инженерных сетей делают искусственные основания из

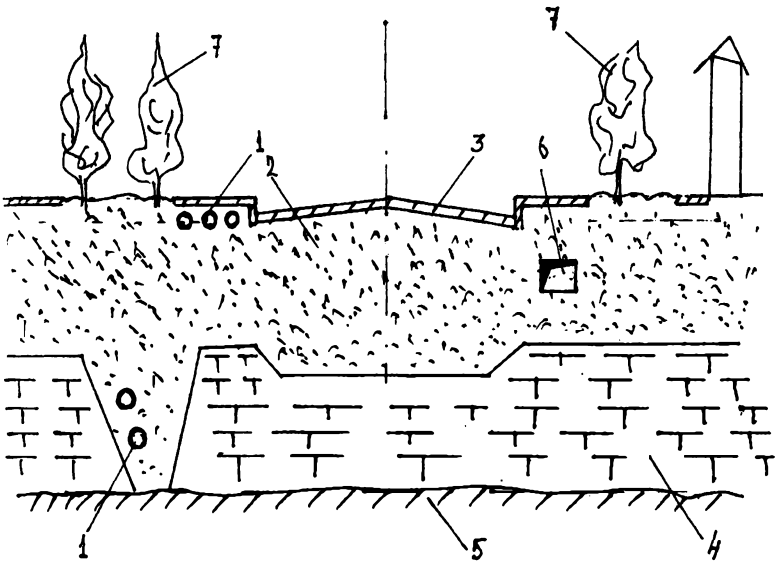


Рис. 114. Схема устройства дороги по сохраняемому слою торфа:  
 1 – подземные коммуникации; 2 – насыпь минерального грунта;  
 3 – проезжая часть улицы; 4 – торф; 5 – минеральное  
 дно; 6 – коллектор; 7 – деревянные насаждения

песчаных и щебеночных подушек или свай.

Метод песчаных коридоров коммуникаций заключается в устройстве насыпи по всей ширине улицы с предварительным выторфовыванием. На рис. 115 показана схема устройства дороги с изъятием торфа.

По верху возведенной насыпи укладывают постоянные покрытия проезжих улиц, а инженерные сети прокладывают в теле насыпи. Этот метод может обеспечить определенный эффект в местах, где заторфованные территории представлены неглубокими болотами с относительно плотными грунтами минерального дна. В дорожном строительстве этот метод используют обычно при глубине 2...2,5 м.



Вертикальная планировка территорий и организация поверхностного стока на пригруженных болотах имеет такие же особенности проектирования, как и на пойменных территориях, защищаемых от затопления подсыпкой.

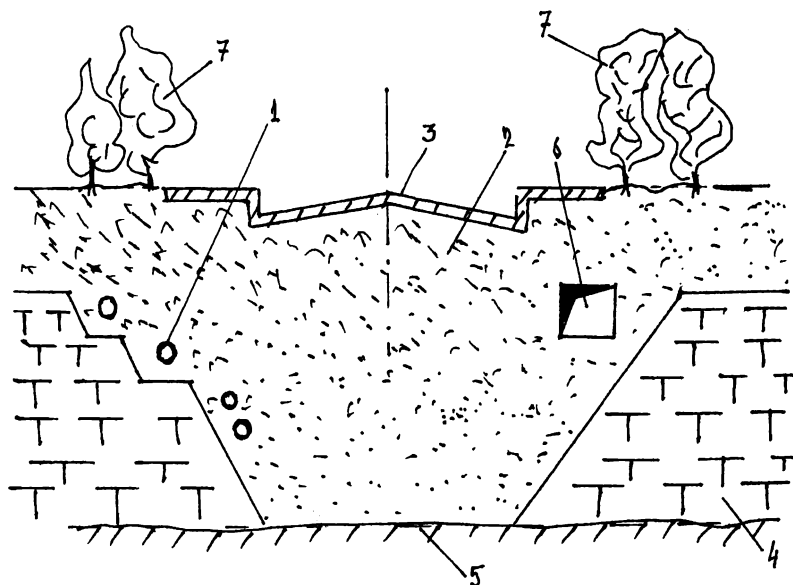


Рис. 115. Схема устройства дороги с удалением торфа:  
 1 – подземные коммуникации; 2 – насыпь минерального грунта;  
 3 – проезжая часть улицы; 4 – торф; 5 – минеральное  
 дно; 6 – коллектор; 7 – деревянные насаждения

При небольшой мощности пригрузки проектирование этих мероприятий осложняется трудностями, связанными с созданием минимальных уклонов, необходимых для организации поверхностного стока и применения самотечных канализационных сетей.

Аналогично проектируют и искусственный рельеф внутри микрорайонных территорий, который представляет собой как бы гофрированную поверхность. Схема проектирования организации стока показана на рис. 116.

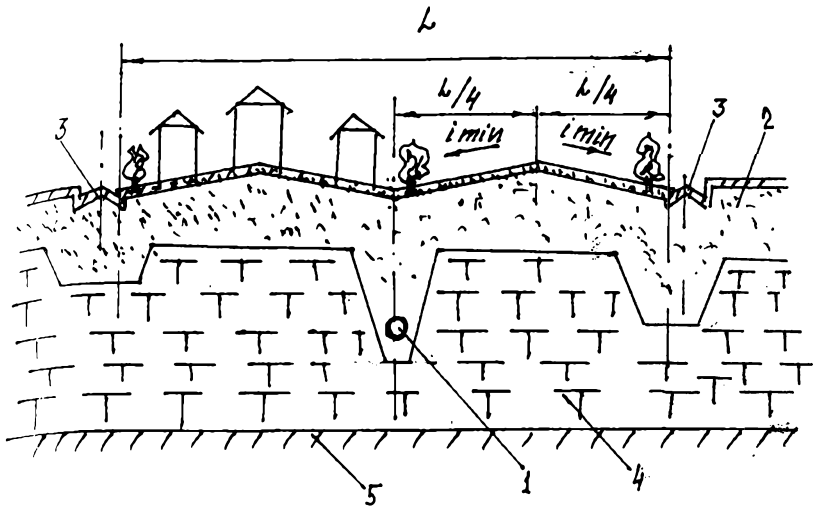


Рис. 116. Организация поверхностного стока на заторфовавшей территории:  
 1 – водосток; 2 – насыпь минерального грунта;  
 3 – проезжая часть; 4 – торф; 5 – минеральное дно

Осушительную сеть используют для временного понижения уровня грунтовых вод перед пригрузкой торфяной залежи, проектируют открытого типа, предусматривая традиционную многоступенчатую систему: осушитель, собиратель, магистральный канал.

Осушители располагают в плане равномерно на расстоянии, зависящем от водопроницающих свойств торфяной залежи. Обычно при уклоне поверхности 0,5 % (0,005) и более трассируют перпендикулярно направлению потока грунтовых или поверхностных вод.

На участках территории с крутизной менее этой величины допускают трассирование осушителей как вдоль, так и поперек горизонталей с соответствующим обоснованием принятого варианта.

Магистральные каналы, транспортирующие воду за пределы осушаемой территории в водоприемники, трассируют по наиболее пониженным отметкам дневной поверхности. Для предварительного осушения могут быть применены и методы, используемые на торфоразработках.

Для определения осадки поверхности территории торфяников в результате осушения применяют эмпирические формулы. В одной из них осадка является производной от мощности залежи и осушаемого слоя

$$S_0 = L \cdot \sqrt[3]{H} \cdot \sqrt{y},$$

- где  $L$  – коэффициент, зависящий от пористости торфа в бытовых условиях (для преувлажненных торфяных грунтов он приблизительно равен 1,0...1,3);  
 $H$  – мощность залежи торфа до осушения, м;  
 $y$  – мощность осушаемого слоя, м

Для ускорения процесса стабилизации насыпи и упрочения основания дорог устраивают вертикальные песчаные закрытые дрены.

В зарубежной практике используют картонные вертикальные закрытые дрены, которые применяют не только по трассам дорог, но и для ускорения консолидации пригрузки на больших площадях.

Если временную осушительную сеть продолжают эксплуатировать, то размещают ее и с учетом планировочной структуры городских территорий. Проектирование дренажей для пригруженных торфяных грунтов имеет особенности, связанные с изменением бытового режима грунтовых вод. Из-за резкого уменьшения коэффициента фильтрации торфяных грунтов в результате пригрузки происходит обводнение грунтов гравитационной водой.

Она скапливается в пониженных участках кровли обжатого торфа, который можно практически рассматривать как водоупор, поэтому традиционные схемы дренажей здесь оказываются малоэффективными. Они требуют коррекции на основе прогноза уровня грунтовых вод.

Большую роль в выборе тех или иных решений играют усилия гидравлической связи между водоносными горизонтами торфа и подстилающих грунтов.

При отсутствии гидравлической связи между первым и водоносным горизонтом – болотными и подземными водами – целесообразно использовать линейные дренажи. Их размещают выборочно в понижениях рельефа кровли торфа, увязывая трассу с планировочной структурой застройки.

При малой толщине подсыпки линейные дрены проектируют в сочетании с сетью локальных дренажей, располагаемых вблизи защищаемого объекта: по контурам зданий и сооружений или вдоль трассы инженерных коммуникаций.

Когда торфяные отложения подстилают песчаные грунты и болотные воды составляют с подземными единый водоносный горизонт, применяют радикальные методы понижения. Здесь целесообразно использовать вертикальный дренаж, который позволит оторвать поверхность грунтовых вод от подошвы торфяной залежи.

Если песчаный пласт имеет небольшую мощность, то приходится проектировать локальные дренажи у зданий и сооружений.

Если в обводнении торфяной залежи участвуют подземные воды глубоких горизонтов, фильтрующиеся через относительно водоупорное ложе минерального дна или через отдельные разрывы в нем, то применяют вертикальный дренаж с систематическим размещением колодцев.

## 10. Защита территорий от селевых потоков

При строительстве населенных пунктов в горных районах учитывают возможность возникновения селевых потоков, поэтому те участки, которым угрожает разрушение при прохождении селевого потока, не осваивают, а на других, где разрушительное влияние не столь велико и может быть уменьшено, проектируют застройку, предусматривая специальные инженерные мероприятия, которые нередко необходимы и для защиты уже существующих зданий и линейных сооружений

Сели представляют собой кратковременные горные потоки, состоящие из смеси воды и твердого материала. Они возникают в горных районах на склонах большой крутизны во время выпадения дождей, при интенсивном таянии ледников, при прорыве моренных озер или завалов и плотин в долинах, где имеются большие запасы крупнообломочного материала. Твердая составляющая потока при прорыве плотин формируется и за счет материала сооружения.

Основным признаком селя является его внезапность и кратковременность действия.

Для потоков невулканического происхождения движение начинается с небольшого потока, сильно нагруженного обломочным материалом и обладающего большой энергией, которая по мере движения потока все нарастает. Ее величина пропорциональна размеру потока, увеличивающегося по мере поступления увлекаемого им материала.

Потоки движутся по существующим руслам рек и ручьев, которые называют селевыми водотоками. Если же поток возникает на склоне впервые, то он достаточно быстро прорезает русло. Часть более глубокого материала создает нагромождение на месте, образуя естественный вал, а жидкий материал перемещается вниз по руслу. Поток распространяется на большое расстояние, пока не «отложит свой груз» в долине с небольшим уклоном или у подножия гор.

Селевая масса движется быстро. Обычно они пульсируют в виде валов. Такое движение связывают с периодическим поступлением материала из области питания или с повторяющимися запруживанием русла обломочными массами.

Площадь, в пределах которой зарождается сель, называют селевым бассейном.

В нем выделяют три зоны.

1. Зону формирования, где находятся очаги твердых составляющих потока.
2. Транзитную зону. Здесь сель движется по руслу. Режим движения селя отличается относительным постоянством. В этой зоне наблюдают

небольшие отложения селевого материала в виде валов или небольшого количества рыхлообломочной породы, размытой с бортов долины. На мелких селеносных водотоках зона транзита может отсутствовать, тогда зона формирования сразу же переходит в третью зону – зону затухания.

3. Зона затухания, или разгрузки. Здесь образуются конусы выноса селевого материала. В тех случаях, когда сель разгружается в крупный водоток, зона затухания не так ярко выражена, поскольку конуса не образуются, а материал откладывается более или менее равномерно ниже по руслу.

Селевые потоки с градостроительной точки зрения классифицируют по следующим признакам.

1. Гранулометрический состав твердой составляющей.
2. Состояние воды.
3. Характер движения потока.

По гранулометрическому составу твердой составляющей выделяют следующие сели.

1. Грязевые потоки.
2. Грязекаменные потоки.
3. Водокаменные или наносовидные потоки.

Грязевые потоки представляют собой вязкую массу, включающую до 50% частиц, соответствующих по размерам песчаной, пылевой и глинистой фракциям.

В грязекаменных потоках вода практически не отделена от твердой фазы, а промежутки между обломками горной породы, составляющей 60-70 % потока, наполнены грязью.

В водокаменных или наносоводных потоках вода переносит обломочный материал, который по мере уменьшения скорости движения откладывается в русле. Содержание обломочного материала в таком потоке может достигать 60%.

По состоянию жидкой составляющей селевые потоки делят на связные и несвязные.

Связные потоки, когда вся вода находится в связанном состоянии. Это обычно грязекаменные и грязевые потоки.

Для несвязанных ( водокаменных ) потоков характерно большое количество свободной воды.

Селевые потоки могут двигаться в ламинарном и турбулентном режимах. Несвязные потоки движутся в турбулентном, поскольку состоят из механической смеси воды с твердым материалом, и крупные включения перемещаются только за счет данного течения. Для таких потоков характерно растекание в пределах русла, а на конусе выноса-некоторое распределение материала по крупности фракций.

В ламинарном режиме движутся обычно связные потоки. Их движение происходит практически прямолинейно со слабым растеканием

в сторону, твердые включения транспортируются во взвешенном состоянии. При остановке такие потоки не распадаются на составные части, а как бы застывают. По структуре ламинарный селевой поток несколько напоминает бетонную массу,двигающуюся по лотку.

Разрушительную силу селевого потока характеризуют многими факторами, но наиболее существенными из них являются содержание твердого материала и скорость движения потока. Для характеристики соотношения количества твердого материала и жидкого вещества используют понятие плотности потока. Плотность селевых потоков колеблется обычно в больших пределах, хотя приближенные границы для основных типов селей все-таки можно указать:

- для водокаменных или наносоводных от 1100 – 1500 кг/м<sup>3</sup>;
- для грязекаменных – 2100 – 2500 кг/м<sup>3</sup>;
- для грязевых – 1600 – 2000 кг/м<sup>3</sup>.

Скорость движения потоков находится в пределах от 2,5 до 3 м/с.

В отдельных случаях, обычно в бассейнах горных рек и естественных понижениях рельефа, при значительных их уклонах скорость может достигать 6 м/с.

В развитии селевых потоков не последняя роль принадлежит оползневым процессам. Они способствуют первоначальному сдвигу твердой части селя. При эрозионном характере зарождения сдвига перенос осуществляет вода или суспензия.

В районах, находящихся в селеопасных бассейнах, проектирование начинают с определения степени опасности участков, предполагаемых для размещения зданий и сооружений. Ее оценивают по объему выноса материала после прохождения одного потока.

К первой степени опасности относятся участки, где объемы выноса превышают 1 млн. м<sup>3</sup>.

Наиболее разрушительной силой обладают грязекаменные потоки. Степень воздействия селя любого типа зависит и от зоны селеопасного бассейна. Поэтому при выборе территории для нового строительства город стремятся вынести из транзитной зоны селеопасных водотоков. В зоне затухания поток не имеет столь разрушительной силы, как в других зонах потока. При размещении в ней городской застройки неизбежно загромождение улиц наносами. На вновь застраиваемых территориях сооружения по возможности не размещают и в зоне конуса выноса.

Размеры и емкость защитных сооружений определяют, рассчитывая основные гидрологические параметры селевого потока. К таким параметрам относят максимальный расход, плотность потока и соотношение его жидкой и твердой фаз, скорость течения и отметку уровня селевого потока заданной вероятности.

Противоселевые мероприятия можно подразделить на три основные группы.

1. Оповещение.
2. Предупредительные или профилактические мероприятия.
3. Инженерная защита участка.

Цель оповещения заключается в том, чтобы исключить жертвы и максимально снизить материальный ущерб от селей, предотвратить который невозможно или нерентабельно. Для этого используют специальную аппаратуру, принимающую сигнал, возбуждаемый только селевым потоком.

Предупредительные или профилактические мероприятия включают комплекс организационно-хозяйственных и агролесомелиоративных мероприятий, которые проводят в границах бассейна селевого потока.

В организационно-хозяйственные задачи входит стабилизация крутых склонов селеносного бассейна путем ограничения режима их эксплуатации. Здесь необходимо сохранение леса или контроль за его вырубкой, полное запрещение или только регулированный выпас скота, особенно на эродируемых участках. Ограничения по режиму эксплуатации склонов очень важны в тех случаях, когда имеет место потенциальная возможность развития селевых потоков с оползневой сдвижкой твердой составляющей.

В дополнение к организационно-хозяйственным предусматривают такие агролесомелиоративные мероприятия, как пропашку и обработку склонов (террасирование), посадку растительности и регулирование поверхностного стока в бассейне водосбора. Эти профилактические меры аналогичны противозрозионным, используемым для стабилизации овражных склонов. Их назначают с учетом требований, исключающих оползневые подвижки, возможные на крутых склонах.

Поверхностный сток в зоне зарождения селевых потоков регулируют следующими методами.

1. Изменяют режим снеготаяния.
2. Спускают ледниковые и подпрудные озера.
3. Переносят центр ливня.

Процесс снеготаяния регулируют, создавая дымовые экраны, вызывающие стабилизацию температуры приземного слоя или зачернение снежного покрова, увеличивая этим воздействие солнечных лучей. В первом случае происходит замедление снеготаяния, а во втором, напротив, ускорение за счет уменьшения отражательных свойств снежного покрова.

Искусственное перенесение центра ливня за пределы возможного очага развития селя относится к методам регулирования погоды. Экспериментальные работы в этом направлении успешно проводят в нашей стране и за рубежом.

Профилактические работы выполняют по всему селеносному бассейну в комплексе с защитными инженерными мероприятиями,



которые включают создание регулирующих, улавливающих и селеотводящих сооружений.

Регулирующие и улавливающие сооружения проектируют для уменьшения разрушительной силы потока в транзитной зоне, а иногда и в зоне затухания. К ним относят следующие сооружения.

1. Береговые подпорные стенки.
2. Запруды (называемые иногда барражами).
3. Наносоуловители.
4. Донные пороги.
5. Плотины.

Поперечные запруды устраивают в русле селевого потока для уменьшения продольного уклона дна и расширения русла. Так же, как и в оврагах, запруды в русле селевого потока способствуют снижению его скорости и уменьшают тем самым размыв дна. Кроме того, запруды задерживают и некоторую часть твердой составляющей, поэтому по мере их эксплуатации происходит заиливание пазух запруд. Это обстоятельство учитывают при определении расчетной емкости запруд и других регулирующих сооружений.

Поперечные запруды выполняют в виде бетонных или железобетонных подпорных стен, перед которыми для амортизации селевого удара устраивают засыпку из каменных материалов. На рис. 117 показана конструкция бетонной подпорной стенки.

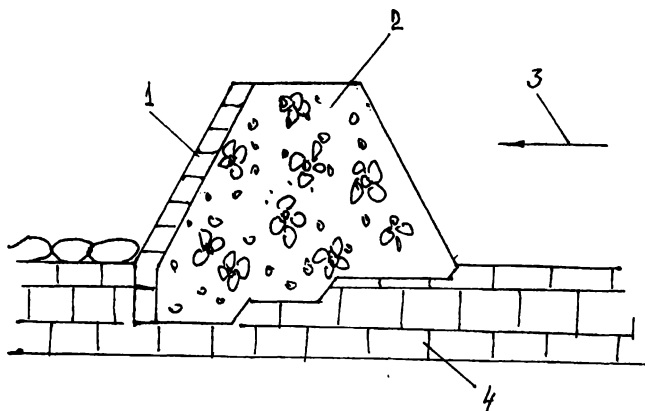


Рис. 117. Конструкция бетонной подпорной стенки:  
1 – каменная кладка на растворе; 2 – каменная наброска;  
3 – направление движения селя; 4 – коренные породы

На рис. 118 показана конструкция железобетонной подпорной стенки.

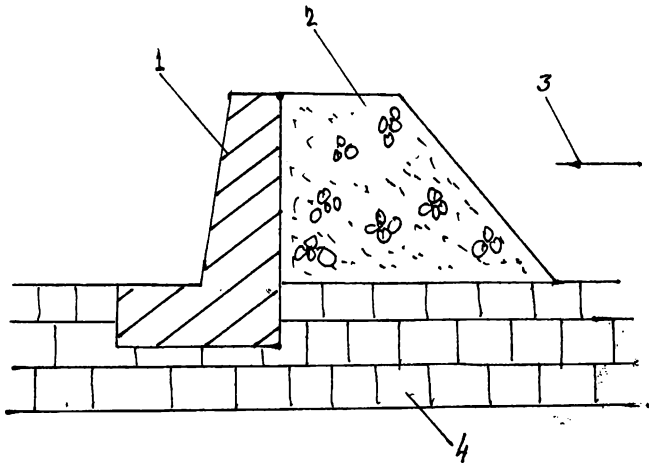


Рис. 118. Конструкция железобетонной подпорной стенки:  
1 – железобетонная конструкция; 2 – каменная наброска;  
3 – направление движения селя; 4 – коренные породы

Запруда может быть сделана и из деревянных ряжей с загрузкой их камнем. Такая конструкция может оказаться надежной при прохождении грязевого потока.

Для грязекаменных и водокаменных селевых потоков часто используют решетчатые металлические или железобетонные конструкции. Такие запруды улавливают твердую часть потока, осветленная вода движется дальше по руслу.

Размеры запруд, расстояние между ними определяют расчетом, размещая так, чтобы обеспечить проектный уклон «профиля равновесия»; при таком уклоне прекращается перемещение наносов заданной крупности. Обычно уклон «профиля равновесия» ( $i_0$ ) устанавливают по данным наблюдений за селевыми потоками в районе строительства, а приближенно определяют по формуле:

$$i_0 = 0,093 \cdot d/R,$$

где  $d$  – средний размер частиц наносов, м;

$R$  – гидравлический радиус живого сечения потока, м;

*i* – естественный уклон дна русла селевого потока.

Для пропуска бытовых и малых паводковых расходов в ее основании устраивают донный водовыпуск их железобетонных труб. В том случае, когда наносы забивают трубы, сбрасывают воду через водослив, расположенный рядом с плотиной. Его рассчитывают на пропуск катастрофического селевого потока.

Наиболее надежными защитными сооружениями являются высокие и массивные плотины, верхние бьефы которых служат селехранилищами. Для такого рода сооружений потери воды из водохранилища большого значения не имеют, поэтому их можно устраивать в виде так называемых «завальных плотин». Их возводят из местных каменных материалов способом направленного взрыва с последующим наращиванием взорванного материала в виде насыпи. Примером такого уникального сооружения высотой 150 м является плотина, возведенная в 1967 году в урочище Медео.

Получают распространение облегченные сквозные селеоградительные сооружения из стальных канатов и тросов, а также железобетонные конструкции трамплинного типа.

Селеотводящие сооружения устраивают для ограждения городских территорий, железных и автомобильных дорог. С этой целью предусматривают дублирующие отводящие каналы, перепускные сооружения над дорогами и транспортными сооружениями. Над горными дорогами, пересекающими трассы селевого потока, делают навесы или же прокладывают их в тоннелях.

В заключение отметим, что противоселевые мероприятия обязательно должны включать и борьбу со снежными лавинами, которые способны создавать заторы селевых русел. Прорыв заторов вызывает резкое увеличение расходов селевых потоков и усиливает их разрушающее действие, поэтому профилактические меры должны включать посадки высокоствольного леса, устройство траншей и террас, удерживающих снежные лавины.

В защитных инженерных мероприятиях, в свою очередь, необходимо предусматривать создание специальных сооружений. Они должны принимать сели, лавины. В состав таких сооружений входят лавинообрезы, направляющие отбойные стенки и дамбы. Для пропуска лавин над защищаемыми объектами следует проектировать навесы, галереи и тоннели.

## 11. Восстановление нарушенных территорий

В отечественной и зарубежной практике довольно часто возникает необходимость в инженерной подготовке территорий, нарушенных в результате производственной деятельности человека. Значительную площадь в числе нарушенных территорий составляют участки в местах разработок угольных, рудных и нерудных месторождений.

Нарушение поверхности при добыче полезных ископаемых сводят к двум основным типам.

1. Нарушения аккумулятивного типа.
2. Нарушения денудационного типа.

Нарушения аккумулятивного типа представляют собой образования без повреждения земной поверхности. К ним относятся отвалы пустых шахтных пород, отходов перерабатывающих производств, золо- и шлакоотвалы. Распространенной формой шахтных отвалов является террикон. На рис. 119 показан профиль отвала.

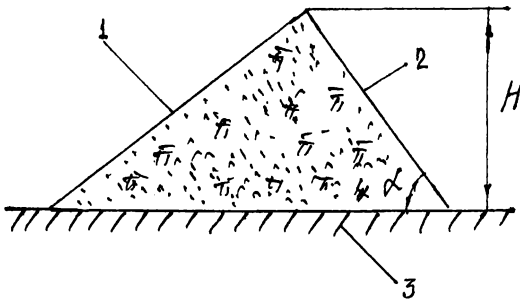


Рис. 119. Профиль отвала:  
1 — хвостовой склон; 2 — лобовой склон;  
3 — естественная поверхность

Поскольку породы, их образующие, свободно падают с разгружаемых на вершине вагонеток или скипов, лобовой склон отвалов находится в пределах угла естественного откоса материала. Хвостовой склон обычно складывается под углом  $12 - 20^\circ$ . Высота терриконов может достигать 50 м и больше.

Определенные шахтные породы способны самовозгораться, если они сложены в отвалы высотой более 10 метров. Терриконы высотой 20-25 м, образованные пористыми крупнокусковыми и слабоветривающимися породами, самовозгораются через 24 года после складирования, а сложенные из плотных быстро ветривающихся и имеющих высоту 40 метров, самовозгораются через 4-7 лет.

Если породы крупнокусковые и мало ветривающиеся, то они начинают самовозгораться значительно раньше, через 2-4 года, даже в отвалах высотой 20-25 м.

Отвалы вскрыши – это отходы открытых разработок полезных ископаемых, обычно вскрышная порода.

Размеры и форма отвалов различны и зависят от горнотехнических условий, определяющих технологию отвалообразования. Отличительной особенностью таких отвалов является значительная площадь, занимаемая ими. Размеры территорий, находящихся под отвалами вскрыши, могут превосходить площадь отработанного карьера в 3-4 раза. На рис. 120 приводятся профили отвалов.

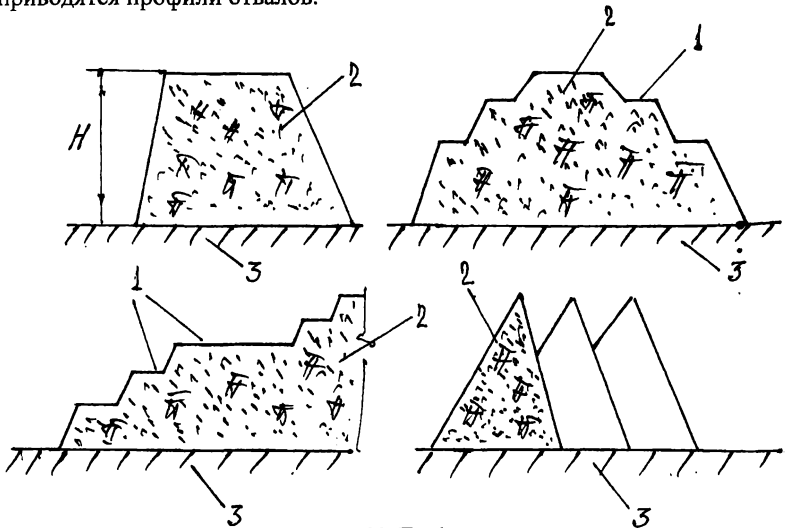


Рис. 120. Профили отвалов:  
1 – терраса; 2 – отвал; 3 – естественная  
поверхность

Земную поверхность обнажают в процессе разрушения и удаления горных пород при добыче полезных ископаемых. К числу таких нарушений относят карьеры, различные подземные выработки, провалы, трещины, прогибы, проседания поверхности.

Карьеры являются горными выработками, образуемыми при добыче полезных ископаемых открытым способом.

Обычно они имеют регулярные склоны, спускающиеся вниз террасами. На рис. 121 показан профиль карьера.

С течением времени эти склоны теряют геометричность форм под действием ветра, атмосферных осадков.

Карьеры, оставляемые в результате разработки строительных материалов, обычно расположены вдоль речных берегов и занимают небольшие площади. Они часто оказываются залитыми грунтовыми и поверхностными водами. Крупные карьеры, расположенные на больших площадях, охватывают водоразделы и чаще всего не обводнены.

Выработанные подземные пространства представляют собой заброшенные штольни, штреки и подземные галереи. Они занимают иногда значительные площади. На рис. 122 показан план подземной выработки.

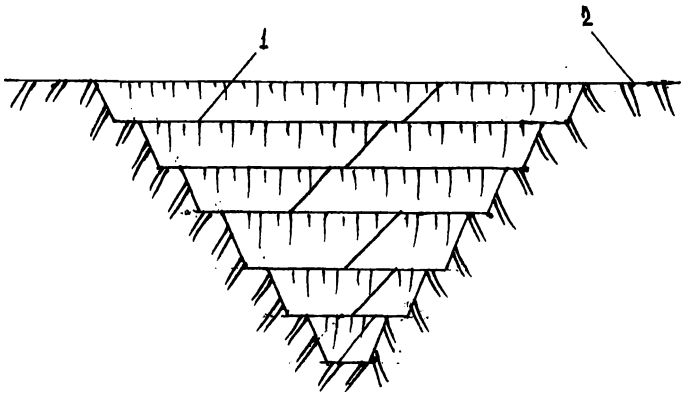


Рис. 121. Профиль карьера:  
1 – терраса; 2 – естественная поверхность

В подземных выработках слабые грунты стабилизируют во время разработки, устанавливая крепи, которые постепенно разрушаются. Незакрепленная порода крыши представляет собой потенциальную опасность обвалов. На рис. 123 показана схема установки крепи штольни.

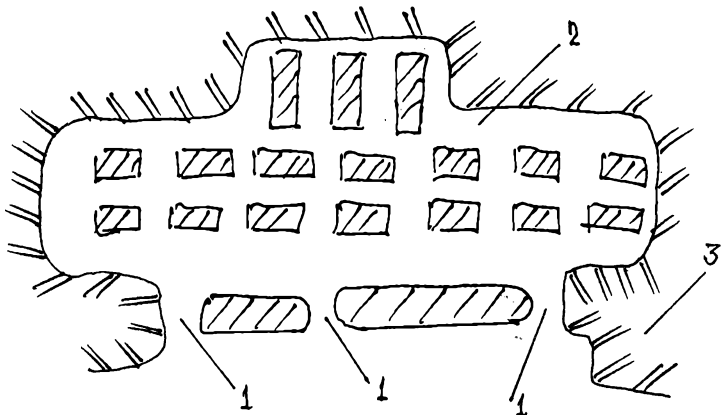


Рис. 122. План подземной выработки:  
1 – вход; 2 – штольни и штреки; 3 – коренные породы.

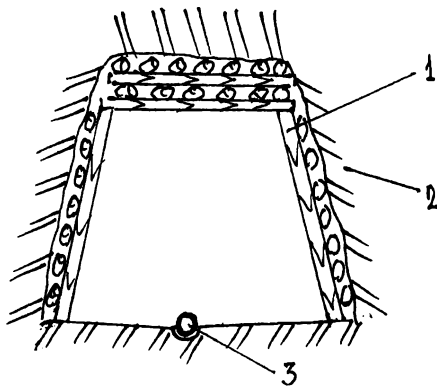


Рис. 123. Схема установки крепи штольни:  
1 – крепь; 2 – коренная порода; 3 – лоток

Выемки в скальных породах, например, штольни в каменоломнях, крепят не всегда. Под действием химически агрессивной среды, например, насыщенной щелочами и кислотами воды, крыша теряет прочность и начинает разрушаться. Провалы и прогибы на поверхности земли образуются в результате обрушения крыши подземных выработок и пустот, когда они залегают на небольшой глубине. На рис. 124 показаны профили провалов и прогибов поверхности.

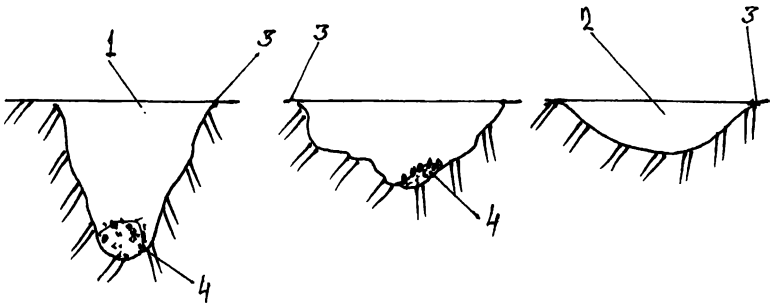


Рис. 124. Профили провалов и прогибов поверхности:  
 1 – провал; 2 – прогиб; 3 – естественная поверхность;  
 4 – осыпь грунта

Объем разрушений нередко бывает значительным, если геология участка представлена песчаными и глинистыми наносными грунтами.

Провалы иногда охватывают большие площади, где оседают породы. Глубина воронок обрушения достигает 50 м.

Провалы и прогибы зависят от многих факторов, в частности, от глубины выработки, геологического строения, условий увлажнения, мощности  $C$  вынутаго пласта. Максимальная осадка достигает  $0,9C$  и уменьшается по мере увеличения глубины залегания пустот (при прочих равных условиях).

Вопрос о восстановлении нарушенных территорий сводится к определению условий целесообразности освоения и выбору комплекса инженерных мероприятий.

Градостроительное использование территорий предусматривает размещение жилищного, культурно-бытового и промышленного строительства, устройство водоемов, садов и парков. В пригородной зоне восстановленные территории используют для организации мест отдыха или сельскохозяйственных угодий. Подземные выработки с прочной или специально укрепленной крышей могут служить местами размещения объектов инженерного оборудования города, системы социального обслуживания, торговых и общественных центров, гаражей и автостоянок, вокзалов рельсового и безрельсового транспорта, сооружений со специальными акустическими и геотермическими режимами. Градостроительная практика знает примеры успешного использования



подземного пространства для размещения предприятий точных приборов, складских помещений, хранилищ нефти и газа.

Инженерные мероприятия по восстановлению нарушенных территорий имеют специфические особенности, определяемые типом нарушения поверхности. В табл. 23 приводятся типы инженерных мероприятий.

### 23. Типы инженерных мероприятий

Тип нарушения	Характеристика мероприятий
Аккумулятивные шахтные отвалы	Ликвидация, частичная разработка, переформирование, озеленение
Отвалы вскрыши	Разравнивание, озеленение, полная разработка и их перемещение
Денудационные провалы и прогибы	Засыпка до отметок дневной поверхности, засыпка до сниженных отметок по отношению к дневной поверхности, выравнивание бортов и дна, озеленение, подготовка чаши для устройства водоемов.
Карьеры	Засыпка полная или частичная, выравнивание бортов и дна, подготовка чаши для устройства водоемов

Инженерное решение выбирают на основе технико-экономического сравнения, учета инженерно-геологической характеристики участка и его расположения в плане города. Мероприятия инженерной подготовки практически сводятся к вертикальной планировке, а при необходимости к устройству дренажных и водоотводных систем, устранению причин провалов и просадок.

При вертикальной планировке не только организывают сток поверхностных вод, но и разбирают терриконы, засыпают воронки обрушения, уменьшают уклоны склонов отвалов и выемок.

Шахтные терриконы и отвалы вскрыши ликвидируют полностью и частично. Ликвидация терриконов и отвалов необходима, если они попадают в зону застройки и являются препятствием для дальнейшего строительства. Полная разработка терриконов оправдывает себя в тех случаях, когда породы, их слагающие, используют как сырье для производства строительных материалов. Она допустима для вертикальной планировки и засыпки местных понижений – провалов. Чаще терриконы

разбирают частично до высоты 10-15 м; чтобы исключить их самовозгорание, устраивают пологие откосы. На рис. 125 показана схема реконструкции террикона.

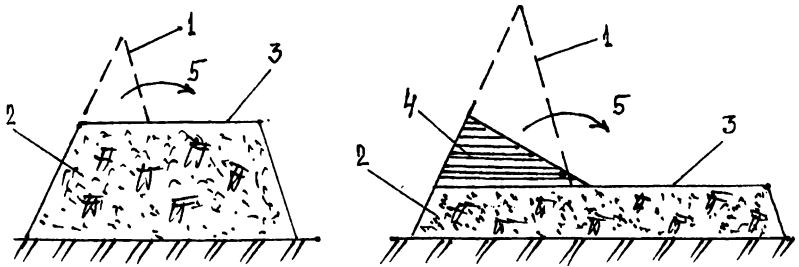


Рис. 125. Схема реконструкции террикона:  
 1 – существующая поверхность; 2 – сохраняемые породы;  
 3 – проектная поверхность; 4 – слой глины;  
 5 – направление перемещения грунта

Отвалы вскрыши обычно разравнивают или срезают до определенного уровня, отметку которого назначают с учетом последующего градостроительного использования территории. Удаляемый грунт применяют для подсыпки прилегающей территории или закладывают в резерв для вертикальной планировки близлежащих участков. На рис. 126 показана схема реконструкции отвалов вскрыши.

Склоны отвалов планируют, обеспечивая проектные уклоны склонов, менее угла внутреннего трения пород. Для крепления откосов высаживают травы, кустарники и деревья. На рис. 127 показана схема реконструкции откосов отвала.

Ассортимент кустарников и деревьев подбирают с учетом пыле- и газоустойчивости. Растительный слой наносят с одерновкой или при посеве травянистой смеси.

Для упрощения инженерных мероприятий по последующему использованию терриконов и отвалов разработаны новые методы их отсыпки. Откосы формируют еще в процессе образования насыпей. Это позволяет осваивать территории, занятые ими, сразу же после отсыпки, но только в качестве садов и парков, площадок для пассивного и активного отдыха.

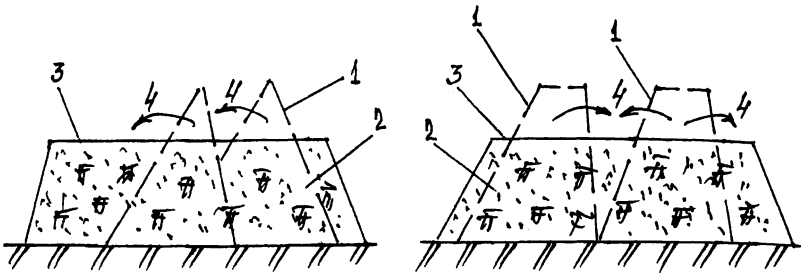


Рис. 126. Схема реконструкции отвала вскрыши:  
 1 – существующая поверхность; 2 – сохраняемые породы  
 или насыпной грунт; 3 – проектная поверхность;  
 4 – направление перемещения грунта

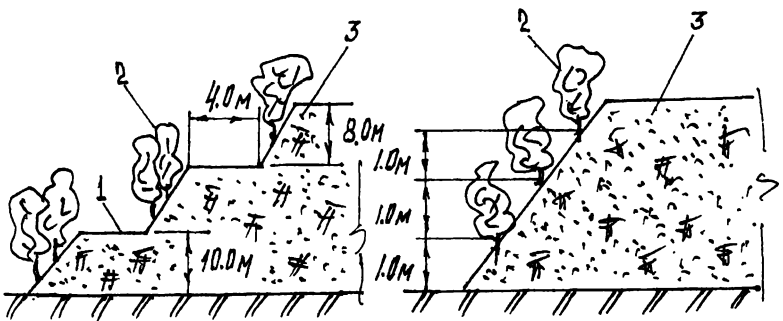


Рис. 127. Схема реконструкции откосов отвала:  
 1 – террасированный откос; 2 – древесные и  
 кустарниковые посадки; 3 – отвал

Насыпи, формируемые из терриконов и отвалов, используют в основном для зеленых массивов, свободных от застройки, поскольку процесс стабилизации грунтов завершается через 15-20 лет с момента их складирования и даже после этого плотность основания составляет примерно 86 % от плотности целика – грунта в основании.

Освоение под застройку территорий с терриконами и отвалами допускают после стабилизации осадок. При этом должен быть проведен технико-экономический анализ вариантов размещения застройки на сельскохозяйственных угодьях, заброшенных и считавшихся ранее неудобных землях. Необходимо также учитывать интенсификацию использования существующих селитебных зон за счет повышения плотности застройки.

В последнее время разработан еще один вариант освоения насыпи из отработанных пород: метод обжига основания. Практика показывает его эффективность лишь при условии высокой стоимости земли в районе освоения.

Карьеры могут быть полностью засыпаны до уровня дневной поверхности, если они расположены среди городской застройки, где предусматривают устройство зеленых зон или возведение зданий. На рис. 128 показана схема реконструкции карьера.

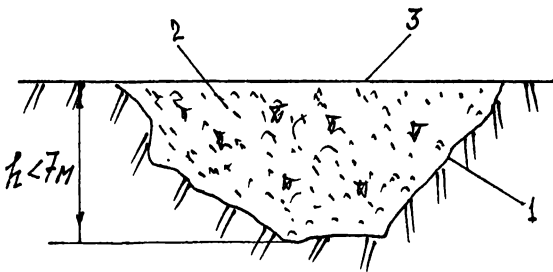


Рис. 128. Схема реконструкции карьера:  
1 – существующая поверхность; 2 – насыпной грунт;  
3 – проектная поверхность

Обычно к такому мероприятию прибегают, если глубина карьера не превосходит 7 м.

Для засыпки используют грунт, разрабатываемый в котлованах фундаментов, или отходы промышленных производств. Этот материал

подбирают с учетом несущей способности оснований для зданий и сооружений. Здания возводят только после завершения процесса стабилизации поверхности земли.

Особую сложность представляет освоение естественных обводненных карьеров, для которых тщательно отработывают методы засыпки. Здесь предусматривают специальный подбор закладочного материала, его разделение глинистыми и щебеносными переемычками, аэрирование, размещение на поверхности засыпки слоя растительного грунта и даже дренаж, если карьер используют не для водоема.

Полную засыпку применяют в карьерах, где ранее были отработаны мощные пласты залежей, покрытые маломощной вскрышей. Здесь учитывают дальность доставки закладочного материала и градостроительную ценность восстанавливаемого участка. При большой дальности перевозки предусматривают частичную засыпку карьера до сниженных по отношению к дневной поверхности отметок. На рис. 129 показана схема частичной засыпки карьера.

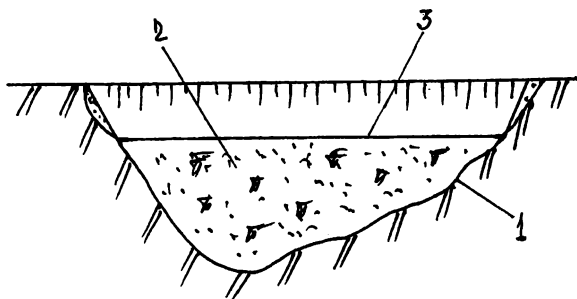


Рис. 129. Схема частичной засыпки карьера:  
1 – существующая поверхность; 2 – насыпной грунт; 3 – проектная поверхность

В карьерах без засыпки устраивают водоемы, которые выполняют декоративные функции, регулируют сток поверхностных и подземных вод. При использовании карьеров для создания прудов предварительно уменьшают крутизну их откосов. При этом учитывают, что для эксплуатации водоема желательно исключить фильтрацию воды в водопроницаемые породы и ее прорыв в рабочее пространство бывших шахт. Поэтому в слабых грунтах чашу водоема выстилают водонепроницаемым экраном из глины или тяжелого суглинка. Для

исключения фильтрации через покровную толщу сутлинков или смытого почвенного слоя грунты уплотняют или солонцуют. Учитывают и условия водообмена, необходимые для поддержания санитарного состояния воды. Объем подпитки из городского водопровода уменьшают, устраивая искусственный водоем вблизи рек на базе отработанных карьеров гравия, известняка, песка. Это обеспечивает дополнительную подпитку водоема и очищение фильтрационных вод при прохождении песчаных грунтов.

Карьерное пространство используют не только для водоемов и зеленых зон, но и размещения транспортных сооружений, гаражей, тоннелей, а на линейных выемках- и для участков транспортных магистралей.

В открытых сооружениях откосы укрепляют в соответствии с требованиями, предъявляемыми к устойчивости горных разработок. Ими предусмотрена планировка склонов, перехват поверхностных вод и уположивание дна карьера. В насыпных сооружениях конструкции рассчитывают как подземные на действие грунта и временных нагрузок.

Освоение территорий с провалами и просадками имеет свои сложности. Они заключаются в том, что все провалы обводнены, а осушение довольно затруднительно. Дополнительную трудность представляет выбор соответствующего закладочного материала. Провалы, расположенные на территории ликвидированных шахт, могут быть засыпаны породой терриконов, а вблизи действующих шахт пустой породой, выдаваемой на поверхность. Для защиты от самовозгорания их прикрывают слоем глины. На рис. 130 показана схема ликвидации провала.

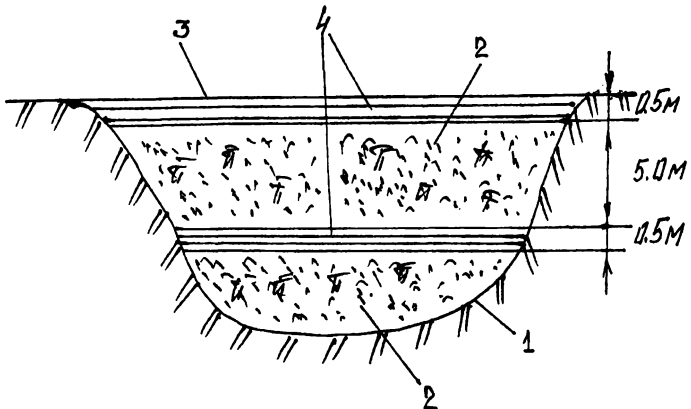


Рис. 130. Схема ликвидации провала:

- 1 – существующая поверхность; 2 – насыпной грунт;  
3 – отметка проектной поверхности; 4 – слой глины

При размещении восстанавливаемого участка с провалами в пределах застройки предусматривают полную их засыпку до отметок дневной поверхности.

Частичную засыпку производят, когда уровень планировки не связан с отметками заложения фундамента и входами в здание.

Провалы выравнивают за счет грунта межпровальных пространств до сниженной по отношению к дневной поверхности земли отметки. Схема ликвидации провала за счет грунта межпровальных участков показана на рис. 131.

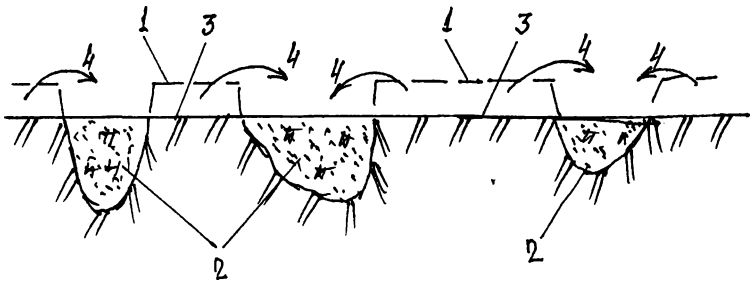


Рис. 131. Схема ликвидации провала за счет грунта межпровальных участков:

- 1 – существующая поверхность; 2 – насыпной грунт; 3 – отметка проектной поверхности;
- 4 – направление перемещения грунта

На таких участках, освоенных для городского строительства, осложняется организация водоотвода и условия их подключения к существующему канализационному коллектору. С этой точки зрения наиболее целесообразна полная засыпка провала, конечно, при наличии закладочного материала, характеристика которого отвечает требованиям, предъявляемым к основаниям зданий и сооружений.

Здания размещают на провалах, ликвидируемых полностью или частично только после окончания процесса осадки. На тех территориях, где этот процесс не завершен, чаще всего устраивают водоемы или размещают некапитальные сооружения и зеленые зоны.

## 12. Техничко-экономическое обоснование проектных решений

Освоение пойменных территорий при создании водохранилищ и надпойменных террас требует больших затрат на инженерную подготовку.

Защитные мероприятия, связанные с возведением инженерных сооружений, оказывают в ряде случаев неблагоприятное влияние на планировочную структуру города. Поэтому при освоении пойменных территорий, прежде чем сделать выбор метода защиты, для сравнения рассматривают варианты размещения застройки вне зоны затопления. Оценивая каждый из альтернативных вариантов по технико-экономическим показателям, делают вывод о целесообразности планировочного решения города.

Практика градостроительства свидетельствует о том, что освоение пойменных территорий является экономически целесообразным лишь в случае интенсивного их использования, размещая застройки с максимальной плотностью. В связи с этим для пойменных территорий, занятых соответствующими малоэтажными зданиями, анализируют вариант постепенного выноса застройки за пределы затопляемой территории, а это уже вопросы реконструкции планировочной структуры города. Следовательно, обоснование защитных мероприятий органически связано с проектом территориального развития города.

При технико-экономическом сравнении возможных вариантов территориального развития города учитывают факторы, определяющие градостроительную ценность территории, и обосновывают экономическую эффективность использования пойменных территорий.

С этой целью рассматриваемый вариант сопоставляют с другими вариантами территориального развития города. Критерием эффективности является минимум приведенных затрат

$$П = E \cdot K_i + C,$$

где  $П$  – усредненный коэффициент эффективности или приведенные затраты, тыс. руб;

$E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый равным 0.12;

$K_i$  – капитальные вложения в защитные мероприятия, тыс. руб;

$C$  – среднегодовые эксплуатационные расходы за расчетный период, тыс. руб.

Принимают усредненный коэффициент эффективности, соответствующий сроку окупаемости, равному 8,3 года ( $1/0.12 = 8.3$ ),



поэтому этой формулой можно пользоваться только при сравнении сопоставимых вариантов.

При анализе альтернативных решений следует предварительно определить фактический срок окупаемости

$$T = K/U_c,$$

где  $T$  – срок окупаемости, год;  
 $K$  – сметная стоимость мероприятий по инженерной подготовке, тыс. руб;  
 $U_c$  – среднегодовой (средний многолетний) ущерб от затопления при современном состоянии городской застройки, тыс. руб;  
 Максимальный ущерб можно определить по методике, разработанной Найфельдом:

$$U_c = B \cdot H \cdot A,$$

где  $B$  – удельная величина абсолютного ущерба, отнесена на  $1\text{ м}^2$  жилого фонда зоны затопления при подъеме уровня воды на  $1\text{ м}$ . Она составляет в среднем  $10\text{ руб.}$  на каждый метр глубины затопления;  
 $H$  – глубина затопления при максимальном уровне вероятностью  $1\%$ , м;  
 $A$  – площадь жилого фонда в зоне затопления при максимальном уровне вероятностью  $1\%$ ,  $\text{м}^2$ .

В тех случаях, когда сложно установить наносимый ущерб, величину определяют на основе соответствующих прогнозных смет ущербов. Для предварительных расчетов используют аналогии по другим городам.

Наводнения приносят народному хозяйству прямой и косвенный ущерб.

Затраты от прямого ущерба оценивают в суммах, необходимых для восстановления разрушенных или утраченных материальных ценностей.

Косвенные затраты необходимы на компенсацию недоданной предприятиями продукции. Они обусловлены перебоями в снабжении всеми видами ресурсов из-за наводнений и отвлечением рабочих на аварийно-спасательные работы. Если нет точных данных, второй вид ущерба принимают в процентах от первого.

Экономический эффект методов защиты от затопления рассчитывают по формуле:

$$П = E \cdot K_i + C.$$

Определяют значения составляющих  $P$ . Коэффициент  $E$  находят по фактическому сроку окупаемости.

Для расчета единовременных капитальных вложений  $K_i$  учитывают затраты на строительство не только водозащитных сооружений, но и возведение мостов, дорог и других сооружений.

Аналогично учитывают расходы на эксплуатацию  $C$ .

Отдельно рассчитывают стоимость изъятия сельскохозяйственных земель и убытки, приносимые народному хозяйству в результате потерь урожаев, получаемых ранее с этих угодий. Учитывают и другие факторы, связанные с конкретными фактами освоения территорий.

При оценке методов защиты в выбранном варианте планированного решения учитывают и способы возведения водорегулирующих сооружений, предусматривая одновременно сочетание различных методов защиты, обеспечивающих сокращение работ при их возведении.

Выбирая трассу водооградительной дамбы, профиль береговой полосы и конструкцию, стремятся к уменьшению затрат, предусматривают смещение дамбы вглубь территории. Такое решение наряду со снижением затрат на крепление берегов позволяет исключить разрушение дамбы в случае размыва берегового откоса и дает возможность использовать прибрежную территорию для устройства пляжей, дачных станций и т.д.

Стоимость мероприятий по защите от затопления в большей степени зависит от конкретных градостроительных условий и технических особенностей сооружений. Ориентировочные показатели затрат на защитные мероприятия приведены в табл. 23.

Экономическая эффективность предусмотренных защитных мероприятий зависит и от надежной работы сооружений, которая может быть достигнута лишь при комплексном проектировании инженерных мероприятий в пределах всего бассейна реки.

## 24. Затраты на защитные мероприятия

Наименование мероприятий	Величина затрат
1. Обвалование территорий, тыс.руб./га	4...10
2. Повышение отметок территории методом:	
1. намыва, тыс.руб./га	15...35
2. сухой укладки, тыс.руб./га	20...45
3. Устройство набережных типа подпорных стенок (тыс.руб./км) высотой,м	
1. до 3,0	350...600
2. >5,0	500...900
3. >7,0	700...1200
4. Укрепление берегового откоса (тыс. руб/км) при высоте,м:	
1. до 5,0	150...200
2. >10,0	250...350
3. >30,0	1000...1200
5. Укрепление морских берегов с противооползневыми мероприятиями (тыс. руб/км)	1500...10000

## Литература

1. Бабиков Б.В. Гидротехнические мелиорации лесных земель. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 192 с.
2. Голованов А.И., Сурикова Т.И., Сухарев Ю.И. и др. Основы природообустройства. – М.: Колос, 2000. – 258 с.
3. СНиП 2.01.14–83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
4. Корнеев Н.А. Таблицы удельных расчетных расходов дождевых стоков селитебной территории. – М.: Стройиздат, 1980. – 115 с.
5. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
6. Клеорина Г.И., Осин В.А., Шумилов М.С. Инженерная подготовка городских территорий. – М.: Высшая школа, 1984. – 271 с.
7. Богоя И.О., Теодоронский В.С. Озеленение населенных мест. – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
8. Розанов Н.П., Бочкарев Я.В., Лапшинков В.С. и др. Гидротехнические сооружения. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

## Содержание

Введение.....	3
1. Обустройство городских и промышленных ландшафтов.....	4
2. Защита территорий от затопления и подтопления.....	18
3. Защитные береговые сооружения.....	33
4. Организация стока поверхностных вод на защищаемой территории.....	44
5. Регулирование русла реки .....	55
6. Обустройство территорий с оползневыми явлениями.....	74
7. Мероприятия по борьбе с оползневыми явлениями.....	88
8. Обустройство территорий, расчлененных оврагами.....	111
9. Обустройство заторфованных территорий.....	125
10. Защита от селевых потоков.....	140
11. Восстановление нарушенных территорий.....	147
12. Техничко–экономическое обоснование проектных решений.....	159
Литература.....	163

Учебное пособие

Касьянов Александр Евгеньевич  
Алтунина Галина Сергеевна

## Гидротехническое обустройство ландшафта

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2001 г. доп.

Компьютерный набор и верстка А. Е. Касьянова

Издательство Московского государственного университета леса  
Лицензия на издательскую деятельность ЛР №020718 от 02. 02. 1998 г.  
Лицензия на полиграфическую деятельность ПД № 00326 от 14.02.2000 г.

---

Подписано к печати  
Объем 10,5 п. л.

07.03.01

Тираж 200 экз.  
Заказ № 172

---

141005. Мытищи – 5. Московская обл. 1 – я Институтская, МГУЛ.  
Телефон: (095) 588-57-62  
e-mail: [izdat@mgul.ac.ru](mailto:izdat@mgul.ac.ru)