

СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ГАЗОБЕТОНА С ОБЛИЦОВКОЙ ИЗ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Ограждающие стены из газобетона с облицовкой из силикатного кирпича, поэтажно опирающиеся на перекрытие, широко применяются в конструкциях монолитных и каркасно-монолитных жилых зданий. И сметные расчеты, и практика строительства показали экономическую эффективность и технологичность.

КОНСТРУКЦИЯ ОГРАЖДАЮЩЕЙ СТЕНЫ

Коэффициент теплопроводности сухого полнотелого силикатного кирпича — $0,56 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, а кладки из него — $0,69 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ [1]. Теплопроводность кладки полнотелых керамических кирпичей составляет $0,98 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Как видно, коэффициент теплопроводности полнотелого силикатного кирпича меньше коэффициента теплопроводности полнотелого керамического кирпича, значит, тепло он держит лучше. Поэтому для строительства фасадов зданий целесообразно использовать силикатный кирпич, который имеет лучшие теплоизолирующие свойства. Силикатный кирпич превосходит керамику по морозостойкости, и в варианте полнотелой окраски привлекает архитекторов возможностями выразительно-го оформления фасадов.

Газобетон как теплоизоляционный материал получил широкое распространение в каркасно-монолитном строительстве.

Комбинированная конструкция из кирпича и газобетона находится под внешними климатическими воздействиями, с одной стороны, и под воздействием пара, возникающего внутри помещений и движущегося наружу, с другой стороны. Стеновые заполнения из газобетона с наружной облицовкой кирпичом выполняют как с воздушной прослойкой, так и без нее (рис. 1).

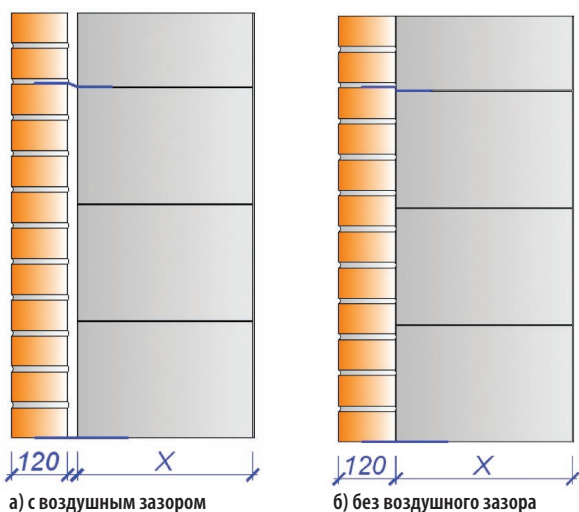


Рис. 1. Стеновые заполнения из газобетона с наружной облицовкой кирпичом

Прослойку используют для предупреждения переувлажнения газобетонного слоя ограждающей стены.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

Требуемое сопротивление теплопередаче

Определим требуемое сопротивление теплопередаче R_o^{tr} для жилого здания например, в Санкт-Петербурге или каком-либо другом районе Северо-Запада с нормальным влажностным режимом помещения.



При проектировании ограждающих конструкций должны соблюдаться нормы строительной теплотехники согласно СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника».

Исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий:

$$R_o^{tr} = \frac{n \cdot (t_b - t_n)}{\Delta t^n \cdot \alpha_b} = 1,322 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Здесь $n=1$ — коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности стены по отношению к наружному воздуху;

$t_b = 20 ^\circ\text{C}$ — расчетная температура внутреннего воздуха согласно ТСН 23-340-2003 «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по энергопотреблению и теплозащите»;

$t_n = -26 ^\circ\text{C}$ — расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92;

$\Delta t^n = 4 ^\circ\text{C}$ — нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности;

α_b — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены.

Напомним, что число градусо-суток отопительного периода для Санкт-Петербурга будет ГСОП = $(t_b - t_{от.пер.}) \cdot z_{от.пер.} = 4796 ^\circ\text{C сут.}$ Здесь, согласно СНиП 23-01-99* «Строительная климатология», $z_{от.пер.} = 220$ дней — продолжительность периода со средней суточной температурой $\leq 8 ^\circ\text{C}$, а $t_{от.пер.} = 1,8 ^\circ\text{C}$ — средняя температура этого периода.

В результате получаем значение сопротивления теплопередаче наружных стен, рассчитанное по предписываемому подходу, — 3,08. Выбирая наибольшее значение, окончательно получаем $R_o^{tr} = 3,08 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление ограждающей конструкции

Требуемое сопротивление теплопередаче применительно к рассматриваемой конструкции стены будет определять лишь минимальную толщину теплоизолирующего газобетонного слоя. Выбор проектной толщины слоя должен являться результатом технико-экономических расчетов. При этом подход к таким расчетам зависит от задач инвестора и заказчика-застройщика в инвестиционном проекте строительства здания. Если задача заключается в минимизации себестоимости квадратного метра площади, то требуется и минимальная толщина газобетона. Если инвестор и заказ-

чик-застройщик исходят из интересов собственника или пользователя жилых помещений, то увеличение толщины газобетона следует рассматривать как инвестиционный проект, направленный на экономию теплотер. Для расчетов необходимо задаться вопросами внутренней нормы рентабельности, прогнозируемой цены на тепловые ресурсы и многими другими.

Ни первая (относительно простая), ни вторая задача не являлись целью вопроса работы. Чтобы показать возможность обеспечения приемлемых характеристик ограждающей конструкции, выберем толщину газобетонной кладки, исходя из сложившейся практики. Толщину кладки силикатного лицевого пустотелого кирпича определим по его геометрическим размерам, толщину воздушной прослойки между кирпичем и газобетоном — технологической реализуемостью.

Табл. 1

Материал	Толщина δ , мм	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·°С	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па
Кладка силикатного лицевого пустотелого кирпича	120	0,7	0,14
Воздушная прослойка	30	0,025 (при $t=0$ °С)	
Кладка газобетона D400 B2,5	375	0,117	0,23

Термическое сопротивление такой ограждающей конструкции будет

$$R_k = \delta_{кирпич} / \lambda_{кирпич} + \delta_{газобетон} / \lambda_{газобетон} + R_{вн} = 3,536 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}.$$

Здесь $R_{вн} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$ — термическое сопротивление воздушной прослойки, значение которого взято из прил. 4 к СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника». Значение это весьма приближенное, и для более точных расчетов его следовало бы вычислять по аналогии с работой А. В. Улыбина и М. В. Петроченко [4].

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции

Используя полученное термическое сопротивление, определяем сопротивление теплопередаче рассматриваемой ограждающей конструкции.

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{вн}} + R_k + \frac{1}{\alpha_{н}} = 3,694 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}.$$

Здесь $\alpha_{вн} = 8,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°С}$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены и $\alpha_{н} = 23 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°С}$ — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены, определенные по СНиП II-3-79*.

Это значение больше, чем требуемое сопротивление $R_o^{тр} = 3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$. Таким образом, данная ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям по термическому сопротивлению.

Следует также отметить, что мы не учли в расчетах влияние анкеров, связывающих облицовочный кирпич и газобетон, однако и при более точных расчетах конструкция удовлетворяет теплотехническим нормам.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ

Требуемое сопротивление воздухопроницанию

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих стен должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию, определяемого по формуле:

$$R_u^{тр} = \frac{\Delta p_o}{G^n} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}},$$

где $G^n = 0,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ — нормативная воздухопроницаемость

ограждающих конструкций зданий и сооружений, принятая по СНиП II-3-79*;

$\Delta p_o = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_{вн}) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v^2$ — разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей стены.

Подставляя сюда высоту здания H , которую примем равной 50 м, и следующие значения:

— удельный вес наружного воздуха при температуре — 26 °С;

$\gamma_n = 11,82 \text{ н} / \text{м}^3$ — удельный вес внутреннего воздуха при температуре +20 °С;

$v = 4,2 \text{ м} / \text{с}$ — максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более (по

СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»);

получаем $\Delta p_o = 67,92 \text{ Па}$. Тогда

$$R_u^{тр} = 135,84 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}.$$

Расчетное сопротивление воздухопроницанию

Рассчитывая сопротивление воздухопроницанию нашей многослойной ограждающей конструкции, получаем:

$$R_u = R_{u \text{ газоб}} + R_{u \text{ кирпич}} = \frac{\delta_{газоб}}{i_{газоб}} + \frac{\delta_{кирп}}{i_{кирп}} = 7502 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}.$$

Здесь $i_{газоб} = 0,05 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ — коэффициент воздухопроницания газобетонной кладки;

$i_{кирп} = 60 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ — коэффициент воздухопроницания

кирпичной кладки.

Расчетное значение существенно больше требуемого и, таким образом, данная ограждающая конструкция соответствует требованиям по воздухопроницанию.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРПРОНИЦАНИЮ

Необходимость подробного расчета

При анализе данной конструкции мы исходим из того, что дренирование воздушного промежутка между кирпичной и газобетонной кладкой отсутствует, и перед конструктором стоит задача вывода пара за пределы всей толщи многослойной стены. Эта задача решается как выводом пара за пределы стены, так и предотвращением проникания пара, образующегося внутри помещений при их эксплуатации.

Требования СНиП II-3-79* по своему смыслу направлены на предотвращение накопления влаги в толще многослойной стеновой конструкции. Они накладывают ограничение снизу на сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации. Плоскость возможной конденсации в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя. В нашем случае плоскость возможной конденсации — это плоскость газобетонной кладки со стороны воздушного зазора, отделяющего ее от кирпичной кладки. ●

Продолжение в следующем номере



Прежде всего определим сопротивление паропрооницанию внутреннего газобетонного слоя рассматриваемой конструкции:

$$R_n = \frac{\delta_{газоб}}{\mu_{газоб}} = 1,63 \frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{кг}$$

Согласно СНиП II-3-79*, вообще не требуется определять сопротивление паропрооницанию двухслойных наружных стен помещений с сухим или нормальным режимом, если внутренний слой стены имеет сопротивление паропрооницанию более $1,63 м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$. Полученное нами значение для внутреннего слоя оказалось несущественно больше порогового, и поэтому произведем полный расчет сопротивления паропрооницанию.

Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги

Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации имеет вид:

$$R_{nl}^{mp} = \frac{(e_b - E) \cdot R_{н.н.}}{E - e_n}$$

Здесь $e_b = 1\ 286 Па$ — упругость водяного пара при $t = +20^\circ C$ и $\phi_b = 55\%$;

$e_n = 775 Па$ — среднее парциальное давление водяного пара за год;

$R_{н.н.}$ — сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации;

E — упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации.

В нашем случае $R_{н.н.}$ — сопротивление паропрооницанию кирпичной кладки.

Упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации, в свою очередь, определяется как $E = (E_1 \cdot z_2 + E_2 \cdot z_1 + E_3 \cdot z_3) / 12$, где E_1, E_2, E_3 — сезонные упругости водяного пара, принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, осенне-весеннего и летнего периодов. Сезонные упругости участвуют в осреднении с продолжительностями z_1, z_2, z_3 зимнего, осенне-весеннего и летнего периодов.

Температуру в плоскости возможной конденсации при средней температуре периода t_i вычислим следующим образом:

$$t = t_b - \frac{(t_b - t_i) \left(\frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_{газоб}}{\lambda_{газоб}} \right)}{R_o}$$

Результаты расчета приведем в табл. 2.

Табл. 2

Сезонные периоды	Продолжительность z, мес.	Средняя температура периода t, °C	Температура в плоскости возможной конденсации t, °C	Сезонная упругость водяного пара E, Па
Зимний	2	-7,8	-4,98	403
Весенне-осенний	5	-0,24	1,81	697
Летний	5	13,9	14,52	1045

Тогда требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции $R_{nl}^{mp} = 0,759 м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$.

Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения влаги за период с отрицательными температурами

Теперь следует найти требуемое сопротивление паропрооницанию из второго условия, т.е. из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха:

$$R_{n2}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot z_o \cdot (e_b - E_o)}{\gamma_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta}$$

Здесь δ_w — толщина теплоизоляционного слоя;

γ_w — плотность материала увлажняемого слоя;

$w_{cp} = 6\%$ — предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления z_o (СНиП II-3-79*, табл. 14);

$z_o = 151 сут.$ — продолжительность периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха (СНиП 23-01-99);

η — поправка;

E_o — упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации, определяемая при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами.

Период с отрицательными среднемесячными температурами составляет 5 месяцев со средней температура периода $-4,96^\circ C$. Температура в плоскости возможной конденсации составит $-2,43^\circ C$ и тогда $E_o = 499 Па$.

Поправка η определяется по формуле:

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_o - e_{но}) \cdot z_o}{R_{nm}}$$

Здесь $e_{но} = 402 Па$ — средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами (СНиП 23-01-99). Тогда $\eta = 41,02$ и требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции $R_{n2}^{mp} = 0,375 м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$. Оно оказалось меньше, чем требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции.

Расчетное сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции

Фактическое сопротивление паропрооницанию многослойной ограждающей конструкции, состоящей из силикатного кирпича и газобетона, следует определять по формуле:

$$R_n = R_{газоб} + R_{кирпн} = \frac{\delta_{газоб}}{\mu_{газоб}} + \frac{\delta_{кирпн}}{\mu_{кирпн}} = 2,487 \frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{кг}$$

Здесь $\delta_{газоб}$ — толщина слоя газобетона;

$\delta_{кирпн}$ — толщина слоя кирпича;

$\mu_{газоб}$ — коэффициент паропрооницаемости газобетона;

$\mu_{кирпн}$ — коэффициент паропрооницаемости кирпича.

Таким образом, фактическое сопротивление паропрооницанию оказывается больше, чем каждое из требуемых значений: $R_n = > R_{n1}^{mp} > R_{n2}^{mp}$. Следовательно, данная конструкция удовлетворяет требованиям по сопротивлению паропрооницанию.

Распределение водяного пара по толщине стены

Действительное парциальное давление водяного пара внутри помещения и снаружи стены определяется по следующей формуле:

$$e = \frac{\phi}{100} \cdot E.$$



Здесь ϕ — относительная влажность воздуха, а E — максимальное парциальное давление водяного пара, получаемые при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха. Для расчетных наружной $t_n = -26^\circ\text{C}$ и внутренней $t_b = 0^\circ\text{C}$ температур получаем парциальные давления $e_n = 49,02$ Па и $e_b = 1286$ Па.

Определим температуру на границе слоев, нумеруя слои от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам максимальное парциальное давление водяного пара:

$$\tau_i = t_b - \frac{(t_b - t_i) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_b} + \sum R\right)}{R_o}$$

Здесь $\sum R$ — термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации.

Таким образом, температура и максимальное парциальное давление водяного пара на внутренней поверхности ограждающей конструкции равны: $\tau_1 = 18,57^\circ\text{C}$ и $E_1 = 2140$ Па.

Проводя дальнейшие расчеты для границы первого и второго слоев, получаем $\tau_2 = -21,34^\circ\text{C}$ и $E_2 = 90,3$ Па, для второго и третьего слоев $\tau_3 = -23,34^\circ\text{C}$ и $E_3 = 74,3$ Па и для наружной поверхности ограждающей конструкции $\tau_4 = -25,46^\circ\text{C}$ и $E_4 = 60,24$ Па.

На границах слоев действительные парциальные давления водяного пара определяются по формуле:

$$e_i = e_b - \frac{(e_b - e_n) \cdot \sum R}{R}$$

Здесь $\sum R$ — сумма сопротивлений паропропусканию слоев, считая от внутренней поверхности;

R — сопротивление паропропусканию отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции.

Получаем, что действительное парциальное давление водяного пара на внутренней поверхности ограждающей конструкции равно $e_1 = 1286$ Па, на границе первого и второго слоев $e_2 = 475,5$ Па, на границе второго и третьего слоев $e_3 = 475,5$ Па и на наружной поверхности ограждающей конструкции $e_4 = 49,02$ Па.

Анализируя распределение действительного парциального давления и максимального парциального давления водяного пара по толщине ограждающей конструкции (рис. 2), видим, что в ограждающей конструкции возможна конденсация влаги. Об этом говорит пересечение графиков давлений.

Рис. 2. Распределение действительного парциального давления и максимального парциального давления водяного пара по толщине ограждающей конструкции при температуре наружного воздуха -26°C .

На рисунке красная линия — действительное парциальное давление водяного пара, фиолетовая линия — максимальное парциальное давление

Проводя аналогичные подсчеты для другой температуры наружного воздуха -10°C , получаем, что для расчетных наружной и внутренней температур парциальные давления равны $e_n = 221$ Па и $e_b = 1286$ Па. Температура, максимальное парциальное давление водяного пара и действительное парциальное давление на внутренней поверхности ограждающей конструкции равны $E_1 = 2206$ Па и $e_1 = 1286$ Па. На границе первого и второго слоев эти значения будут $E_2 = 415,5$ Па и $e_2 = 587,99$ Па; на границе второго и третьего слоев $E_3 = 330$ Па и $e_3 = 587,99$ Па; на наружной поверхности ограждающей конструкции $E_4 = 330$ Па и $e_4 = 221$ Па (рис. 3).

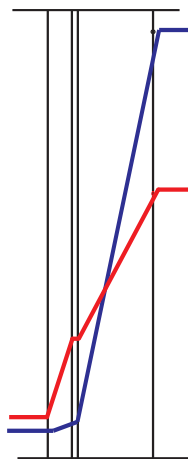


Рис. 3. Распределение действительного парциального давления и максимального парциального давления водяного пара по толщине ограждающей конструкции при температуре наружного воздуха -10°C .

На рисунке красная линия — действительное парциальное давление водяного пара, фиолетовая линия — максимальное парциальное давление

И, наконец, при температуре наружного воздуха, равной -1°C , парциальные давления равны $e_n = 443,51$ Па и $e_b = 1286$ Па. Температура, максимальное парциальное давление водяного пара и действительное парциальное давление на внутренней поверхности ограждающей конструкции равны $E_1 = 2245$ Па и $e_1 = 1286$ Па. На границе первого и второго слоев эти значения будут $E_2 = 747$ Па и $e_2 = 727,27$ Па; на границе второго и третьего слоев $E_3 = 700$ Па и $e_3 = 727,27$ Па; на наружной поверхности ограждающей конструкции $E_4 = 652$ Па и $e_4 = 433,51$ Па (рис. 4).

Рис. 4. Распределение действительного парциального давления и максимального парциального давления водяного пара по толщине ограждающей конструкции при температуре наружного воздуха -1°C .

На рисунке красная линия — действительное парциальное давление водяного пара, фиолетовая линия — максимальное парциальное давление

Во всех трех рассмотренных случаях, то есть в широком диапазоне отрицательных температур, в толще ограждающей конструкции происходит конденсация влаги. Однако при этом, как показывает практика строительства, за годовой период эксплуатации не происходит накопление влаги, а также за период с отрицательными температурами воздуха не возникает недопустимое массовое приращение влаги.

В заключении можно отметить, что поскольку газобетонные стены с облицовкой в полкирпича составляют более половины поэтажно опертых наружных стен монолитных зданий в Санкт-Петербурге и на остальной территории Северо-Запада, то проведенный анализ был призван подтвердить (или опровергнуть) соответствие такой конструкции требованиям строительных норм.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. При средней температуре отопительного периода $-1,8^\circ\text{C}$ во





внешних слоев облицованной кирпичом газобетонной кладки вполне возможна конденсация влаги.

2. При этом не происходит накопление влаги за годовой период эксплуатации и не возникает недопустимое массовое приращение влаги за период с отрицательными температурами воздуха. А значит, рассмотренная конструкция наружного ограждения пригодна для возведения в условиях Санкт-Петербурга и всего Северо-Запада.

3. Полученные расчетом данные хорошо согласуются с результатами натурных испытаний [5]. При этом представляется целесообразным в рамках следующей работы провести сравнительный анализ конструкций, аналогичных рассмотренной, отличающихся друг от друга типом воздушной прослойки: рассмотреть конструкцию с замкнутой и с вентилируемой воздушной прослойками и сравнить режим работы теплоизоляционного слоя таких конструкций. ●

Н. И. ВАТИН, д. т. н., проф., зав. кафедрой «Технология,

организация и экономика строительства»
инженерно-строительного факультета ГОУ СПбГПУ,
Г. И. ГРИНФЕЛЬД, начальник отдела технического развития
компании «АЭРОК»,
О. Н. ОКЛАДНИКОВА, инженер ГОУ СПбГПУ,
С.И. ТУЛЬКО, генеральный директор Павловского завода
строительных материалов

Литература

1. Строева Е. Знакомьтесь заново: силикатный кирпич. Павловский завод строительных материалов.
2. Строить легко // СтройПРОФИль. — № 5(19). — 2002. — С. 15.
3. Почему к газобетону проявляется повышенный интерес // СтройПРОФИль. — № 2(24). — 2003. — С. 80–81.
4. Улыбин А.В., Петроченко М.В. Паропроницаемый экран железобетонной башенной градирни.
5. Галкин С.Л., Сажнев Н.П. Применение ячеистого бетона: теория и практика. — Минск: Стринко, 2006. — 447 с.