

СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ В ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ С ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ

Преимущества фасадных систем с воздушным зазором известны давно. Конструкции с вентилируемым фасадом отлично выполняют основную функцию всех ограждающих систем, а именно — защиту от влияния окружающей среды и обеспечение безопасности жизнедеятельности человека.

Благодаря использованию вентфасадов внешний облик зданий всегда разный, однако эффективность действия применяемых систем всегда высока, как, к сожалению, и его стоимость. Для снижения расходов на строительство и повышения экономической эффективности необходимо разработать тип конструкции с использованием навесных фасадов, являющийся оптимальным для строительства жилого здания, которая удовлетворяла всем нормам и правилам, действующим на территории РФ и г. Санкт-Петербурга и Северо-Запада в частности.

Использование навесного вентилируемого фасада позволило отказаться от значительной величины толщины стенки благодаря повышению теплотехнических свойств конструкции. Развивая выбранное направление, следующим шагом необходимо сделать уменьшение толщины кирпичной стены с сохранением прочности благодаря совместному действию облицовочной, под облицовочной конструкции и самой кирпичной стены.

Известные специалисты, получившие основные результаты по данному научному направлению, — это Ю. Г. Барабанщиков, к. т. н., В. Г. Гагарин, д. т. н., А. В. Грановский, к. т. н., В. А. Езерский, д. т. н., проф., В. А. Ершов, В. В. Козлов, д. т. н., А. Н. Машенков, доцент, П. В. Монастырев, к. т. н., М. О. Павлова, к. т. н., Е. Ю. Цыкановский, к. т. н. Результаты их работы мы можем найти в нескольких изданиях [1,2].

Расчет их предшественниками ограждающих конструкций для Санкт-Петербурга, представляющих собой кирпичные стены, дал результат в виде толщины конструкции в 2–2,5 кирпича (510–640 мм). Использование навесного вентилируемого фасада уменьшает толщину кирпичной стенки до 1 кирпича (250 мм) благодаря повышению теплотехнических свойств конструкции.

Объектом исследования по изложенной выше проблеме является ограждающая конструкция, представляющая собой кирпичную стену в полкирпича, утеплитель расчетной толщины, подконструкцию вентфасада из стальных профилей и облицовку фасадными панелями, работающие совместно. В данной статье представлена разработка математической модели ограждающей конструкции, описывается поведение данного объекта исследования при воздействии на него окружающей среды, а также рассмотрена возмож-

ность повышения экономической эффективности конструкции за счет изменения схемы работы.

Исследование модели начинается с раскрытия цели, а именно — с рассмотрения методов повышения экономической эффективности конструкции с воздушным зазором, которая в данном случае должна выражаться в снижении общей стоимости материалов, затрат на производство СМР, что, ввиду изменения объемов работ, ведет к уменьшению сроков их выполнения, а также увеличению полезной площади здания. Варьируя численные значения основных показателей объекта исследования, можно анализировать экономическую целесообразность совокупности основных параметров, не превышающих предельные значения, оговариваемые нормами и правилами РФ, включенных в тепломеханическую и конструктивную часть.

Теплотехнический расчет

Методика теплотехнического расчета базируется на требованиях СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Расчет наружных стен с экраном и вентилируемой воздушной прослойкой основан на расчете теплотехнических характеристик стен. Теплотехнический расчет наружных стен с вентилируемой прослойкой включает в себя:

- выбор материала теплоизоляционного слоя;
- расчет и подбор слоя утеплителя;
- определение параметров воздухообмена в прослойке.

Определение толщины теплоизоляционного слоя

По температуре внутреннего воздуха и средней температуре отопительного периода и его продолжительности определяют градусо-сутки отопительного периода $D_{\text{от}}, ^\circ\text{C}\cdot\text{сут.}$, по формуле:

$$D_{\text{от}} = (t_{\text{int}} - t_{\text{нt}}) z_{\text{нt}}, ^\circ\text{C}\cdot\text{сут.} \quad (1)$$

где: t_{int} — расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$, принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494-96; $t_{\text{нt}}, z_{\text{нt}}$ — средняя температура, $^\circ\text{C}$, и продолжительность, сут., отопительного периода, принимаемые по СНиП 23-01-99 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10°C — при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых, и не более 8°C — в остальных случаях.

По градусо-суткам отопительного периода, отличающихся от табличных, определяют приведенное сопротивление теплопередаче стены по формуле:

$$R_{\text{req}} = aD_{\text{от}} + b, \text{ кв. м}^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (2)$$

где: $D_{\text{от}}$ — градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C}\cdot\text{сут.}$, для конкретного пункта; a, b — коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 4 СНиП 23-02-2003.

Термическое сопротивление R , кв. м $^\circ\text{C}/\text{Вт}$, однородного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R = \delta/\lambda, \text{ кв. м}^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (3)$$

где: δ — толщина слоя (м); λ — коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м $^\circ\text{C}$).

Термическое сопротивление ограждающей конструкции R_k , кв. м $^\circ\text{C}/\text{Вт}$, с последовательно расположенными однородными слоями следует определять как сумму термических сопротивлений отдельных слоев:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{a,1}, \text{ кв. м}^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (4)$$

где: R_1, R_2, \dots, R_n — термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, кв. м $^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяемые по формуле (3); $R_{a,1}$ — термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, кв. м $^\circ\text{C}/\text{Вт}$, принимаемое по таблице 7 СП 23-101-2004.



Сопrotивление теплопередаче R_o , кв. м⁰С/Вт, однородной однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями или ограждающей конструкции в удалении от теплотехнических неоднородностей не менее чем на две толщины ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_o = R_{si} + R_k + R_{se}, \text{ кв. м}^0\text{С/Вт} \quad (5)$$

где: $R_{si} = 1/\alpha_{int}$, α_{int} — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/кв. м⁰С, принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02-2003; $R_{se} = 1/\alpha_{ext}$, α_{ext} — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, Вт/кв. м⁰С, принимаемый по таблице 8 СП 23-101-2004 [9]; R_k — то же, что и в формуле (4).

В основу конструктивных решений наружных стен при определении приведенных сопротивлений теплопередаче главных фрагментов принимаются толщины утеплителя, рассчитанные по формуле:

$$\delta_{ym} = \left(\frac{R_{req}}{\tau} - R_1 - R_n - \frac{1}{\alpha_{int}} - \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \cdot \lambda_{ym}, \text{ м} \quad (6)$$

где: R_{req} — требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен, кв. м⁰С/Вт; R_1 , R_n — то же, что и в формуле (4); α_{int} , α_{ext} — то же, что и в формуле (5); τ — коэффициент теплотехнической однородности.

Характеристика объекта и нормативные требования

Климатические параметры района строительства принимаются по СНиП 23-01-99:

- средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_{ext} = -30$ °С;
- средняя температура отопительного периода $t_{ht} = -1,8$ °С;
- продолжительность отопительного периода $z_{ht} = 220$ сут.

Для расчета принято многоэтажное (25-этажное) жилое здание, расположенное в Санкт-Петербурге.

Наружные стены двух вариантов: с внутренним слоем из кирпича толщиной 0,25 м и толщиной 0,12 м ($\lambda_b = 0,87$ Вт/м⁰С).

Снаружи кирпичной стенки располагается эффективный минераловатный утеплитель (например, продукция Rockwool, Paroc, Linerock, Ursa) толщиной, определяемой расчетом с $\lambda = 0,045$ Вт/м⁰С, покрытые паропроницаемой влаговетрозащитной пленкой. Несущий каркас монтируется на перекрытия и состоит из стальных кронштейнов и линейных вертикальных направляющих, на которые навешивается экран — облицовочный слой из фасадных панелей. Фасадные панели, к примеру фирмы «Краспан», шириной 1,25 м, длиной 2 м и толщиной 4 мм. Панели, укрепленные на несущем каркасе, установлены с воздушным зазором относительно слоя утеплителя 60 мм. В нижней части экрана (у цоколя) устраивается приточное входное щелевое отверстие, а в верхней части (у карниза) — вытяжное выходное щелевое отверстие. Кроме того, обмен воздуха происходит через зазоры горизонтальных стыков отдельных кассетных панелей. Толщина утеплителя определяется соответствующими расчетами.

Требования к теплотехническим характеристикам конструкций содержатся в СНиП 23-02-2003.

Требования к сопротивлению теплопередаче конструкций составлены, исходя из санитарно-гигиенических, комфортных условий и условий энергосбережения.

Ниже представлены исходные расчетные данные:

$t_{int} = 20$ °С — для жилой комнаты;

$t_{ht} = -1,8$ °С;

$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht} = (20 + 1,8)220 = 4796$ °С сут.;

$R_{req} = aD_d + b = 0,00035 \cdot 4796 + 1,4 = 3,08$ кв. м⁰С/Вт.

Расчет толщины теплоизоляции

Конструкция ограждения представляет собой следующий набор слоев:

- штукатурка толщиной 0,01 м;
- кирпичная стенка толщиной 0,25 м и 0,12 м;
- утеплитель;
- воздушный зазор толщиной 0,06 м;

- фасадные панели толщиной 0,004 м.

$\lambda_{штук} = 0,275$ Вт/м⁰С

$\lambda_{кирп} = 0,82$ Вт/м⁰С

$\lambda_{утеп} = 0,045$ Вт/м⁰С

$\lambda_{пан} = 0,3$ Вт/м⁰С

Толщина теплоизоляции (эффективного минераловатного утеплителя) кирпичной стенки толщиной в 1 кирпич (250 мм) стены равна:

$$\delta_{ymen} = (3,08/0,72 - 0,25/0,82 - 0,004/0,3 - 0,1 - 0,01/0,275 - 1/8,7 - 1/23) \cdot 0,045 = 0,164 \text{ м,}$$

где: 3,08 — приведенное сопротивление теплопередаче стен жилого дома, кв. м⁰С/Вт; 0,72 — коэффициент теплотехнической однородности (при проемности 25 %); 0,10 — термическое сопротивление вентилируемой воздушной прослойки условно принимаем равным 3 % от приведенного сопротивления теплопередаче, кв. м⁰С/Вт; 0,045 — коэффициент теплопроводности этой теплоизоляции, Вт/м⁰С.

Принимаем толщину утеплителя равной 180 мм (представленный ряд теплоизоляции имеет шаг 20 мм).

Толщина теплоизоляции кирпичной стенки толщиной в 1/2 кирпича (120 мм) стены равна:

$$\delta_{ymen} = (3,08/0,72 - 0,12/0,82 - 0,004/0,3 - 0,1 - 0,01/0,275 - 1/8,7 - 1/23) \cdot 0,045 = 0,172 \text{ м.}$$

Принимаем толщину рассматриваемого утеплителя равной 180 мм.

Расчет прочности кирпичной стенки

Рассмотрим вертикальную кирпичную стенку как часть ограждающей конструкции с воздушным зазором.

Расчет армированных изгибаемых элементов прямоугольного сечения со стержневой арматурой производится по формулам:

а) при двойной арматуре:

$$M \leq R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \quad (7)$$

при этом положение нейтральной оси определяется по формуле:

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x; \quad (8)$$



б) при одиночной арматуре:

$$M \leq 1,25R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (9)$$

при этом положение нейтральной оси определяется по формуле: $R_s A_s - 1,25R_b b x$. (10)

Высота сжатой зоны кладки должна во всех случаях удовлетворять следующим условиям:

$$x \leq 0,55h_0 \text{ и } x \geq 2a' \quad (11)$$

Расчет изгибаемых элементов на поперечную силу производится по формуле:

$$Q \leq R_{tw} b z \quad (12)$$

При прямоугольном сечении размер z определяется по формуле:

$$z = h_0 - \frac{x}{2} \quad (13)$$

Если прочность кладки при расчете на поперечную силу окажется недостаточной, необходима установка хомутов или устройство отгибов в арматуре, расчет которых производится в соответствии с указаниями СНиП 2.03.01-84.

Армирование стен должно предусматриваться с соблюдением следующих правил:

- горизонтальная арматура стен, как правило, располагается в швах кладки;
- при однозначной нагрузке устанавливается одиночная продольная арматура с растянутой стороны стены, а при знакопеременной нагрузке — двойная (двусторонняя арматура).

В нашем случае имеет место случай применения двойной арматуры.

Для расчета изгибаемой кирпичной стенки выделим полосу длиной, равной расстоянию между профилями, с учетом крепления ее концов к профилям навесного фасада. Высота сечения (при горизонтальном воздействии на стенку, на рисунке она определяется как ширина полосы) равна: $(2 \cdot 6,5 + 1 = 14 \text{ см})$, ширина сечения — 12 см.

Примем длину полосы равной 1 м (это определяет расстояние между профилями).

Расчетная схема в нашем случае — это балка, шарнирно закрепленная на двух концах, с пролетом 1 м и сечением 14·12 см.

Зададимся следующими параметрами для расчета изгибаемой армированной кирпичной кладки:

- кирпич марки 150;
- раствор марки 75;
- продольная арматура АIII, поперечная — АI.

Тогда исходные данные для расчета выглядят следующим образом:

- $b = 14 \text{ см}$,
- $h = 12 \text{ см}$,
- $l = 100 \text{ см}$;
- $R_s = 4 \text{ 000 кг/кв. см}$ (для арматуры АIII),
- $R_{sc} = 3 \text{ 600 кг/кв. см}$ (для арматуры АI),
- $R = 20 \text{ кг/кв. см}$ (для кирпича марки 150 и раствора 75),
- $R_{tw} = 2,5 \text{ кг/кв. см}$ (при марке раствора 50 и выше).

Расчет кирпичной стенки на действие «бытовых» нагрузок

Горизонтальные нагрузки на вертикальную стенку (кроме ветровой, а в нашем случае ветровую нагрузку воспринимает конструкция вентилируемого фасада, передавая ее на несущий каркас здания), являющейся ограждающей, в нормативных документах не прописаны. Поэтому сами поставим задачу расчета прочности стенки при действии на нее «бытовых» нагрузок, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации здания.

Оценим нагрузку, которая может приходиться на вертикальную ограждающую конструкцию жилого здания. Максимальной такой нагрузкой, скажем так, будет вес человека с инструментом, стоящего на стремянке, опирающейся на кирпичную стенку, — 150 кг.

Сила, действующая на стенку, определяется реакцией H_2 , которая в свою очередь равна H_1 . При условии равновесия системы,



т. е. когда лестница не перемещается под действием силы тяжести человека, H_1 равняется силе трения лестницы о пол.

$$\text{Тогда } H_1 = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \gamma_r$$

Максимальный коэффициент трения μ для полов жилых зданий равен 0,6;

реальный угол наклона стремянки составляет $45 - 70^\circ$, при этом максимальный $\cos \alpha$ принимает значение 0,7; $\gamma_r = 1,2$. Тогда $H_1 = 0,6 \cdot 150 \cdot 1,2 \cdot 0,7 = 75 \text{ кг}$.

Из уравнений равновесия найдем значения реакций.

Реакции на опорах:

$$R_a = R_b = F \sqrt{2} = 75 \sqrt{2} = 37,5 \text{ кг}$$

Максимальный момент:

$$M = Fl/4 = (75 \cdot 100)/4 = 1875 \text{ кг·см}$$

Максимальное значение поперечной силы:

$$Q = 37,5 \text{ кг}$$

Положим, что проектируемая арматура — симметричная, диаметр ее равен 3 мм, толщина защитного слоя — 18 мм (расстояние от оси арматуры до поверхности бетона — 20 мм).

Найдем положение нейтральной оси по формуле (8) при условии, что $x \leq 0,55h_0$ (14) и $x \geq 2a'$ (15) и проектируемая арматура — симметричная:

$$x = A_s (R_s - R_{sc}) / R_b$$

$$x = 0,126 \cdot (4 \text{ 000} - 3 \text{ 600}) / (20 \cdot 14) = 0,18 \text{ см}$$

Учитывая, что x должен удовлетворять условиям (14) и (15), принимаем высоту сжатой зоны $x = 4 \text{ см}$.

Подставим полученные значения в формулу (7):

$$1 \text{ 875 кг·см} < 20 \cdot 4 \cdot 4 \cdot (10 - 2) + 3 \text{ 600} \cdot 0,126 \cdot (10 - 2) = 12 \text{ 589 кг·см}$$

Неравенство выполняется.

При расчете на поперечную силу используем формулы (12) и (13):

$$z = 10 - 2 = 8 \text{ см}$$

$$37,5 \text{ кг} < 2,5 \cdot 14 \cdot 8 = 280 \text{ кг}$$

Неравенство выполняется.

Продолжение следует

Н. И. ВАТИН, д. т. н., проф., зав. кафедрой инженерно-строительного факультета ГОУ СПб ГПУ,

И. С. ГОЛУБ, ген. директор ЗАО «Павловский завод строительных материалов»,

Н. Ю. НЕЧАЕВА, инженер ГОУ СБ ГПУ

Литература

1. Машенков А. Н., Чебурканова Е. В., Ершов В. А., Щедров А. В. «Тепловлажностный расчет фасадных систем с воздушным зазором»: Метод указания. — Н. Новгород, 2005 г.

2. «Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий». — М, 2002 г.