

УДК 624.6.012.2

А.С. ГОРШКОВ, канд. техн. наук,
Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна

Определение опрокидывающего и удерживающего моментов для поэтажно опертых стен, выполненных кладкой из газобетонных блоков

Рассмотрена работа фрагмента стеновой конструкции из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения при его поэтажном опирании на монолитное перекрытие здания с монолитным железобетонным каркасом и условия обеспечения устойчивости (невыпадения) рассматриваемого фрагмента в пределах одного этажа при действии на него опрокидывающего момента от ветровой нагрузки.

Ключевые слова: автоклавный газобетон, строительные материалы, технология строительства, проектирование, стандарт, качество, устойчивость, ветровая нагрузка, опрокидывающий момент, монолитный железобетонный каркас.

В последние 10–15 лет в практике проектирования и строительства жилых многоквартирных зданий наметился тренд на возведение зданий с монолитным железобетонным каркасом [1, 2] и заполнением поэтажно опертых наружных ограждающих конструкций кладкой из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения [3], выпускаемых по ГОСТ 31360–2007 «Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия».

При поэтажном опирании стен на монолитное железобетонное перекрытие нагрузки от собственного веса кладки, действующие в пределах одного этажа монолитно-

каркасного здания, обычно незначительны по сравнению с несущей способностью кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения марок D400–D600 классов по прочности на сжатие В2–В3,5. Однако помимо собственного веса кладки на стену действуют ветровые нагрузки, которые при значительной высоте здания (выше 30 м) могут достигать существенных значений [4]. В этой связи возникают вопросы обеспечения условий устойчивости (невыпадения) стенового заполнения, выполненного в виде кладки из ячеисто-бетонных блоков, для зданий с монолитным железобетонным каркасом [4].

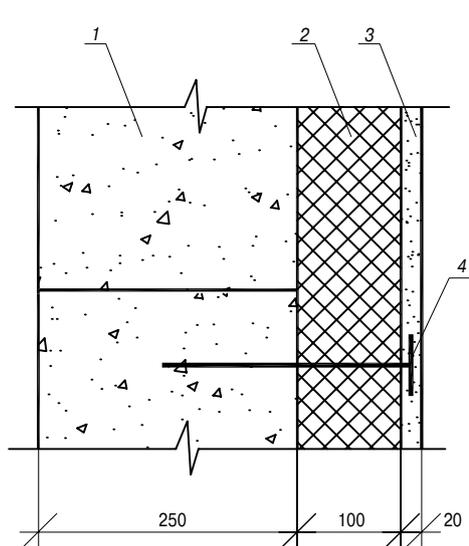


Рис. 1. Конструкция наружной стены: 1 – кладка из газобетонных блоков марки по плотности D600; 2 – утеплитель минераловатный; 3 – штукатурный слой; 4 – тарельчатый дюбель

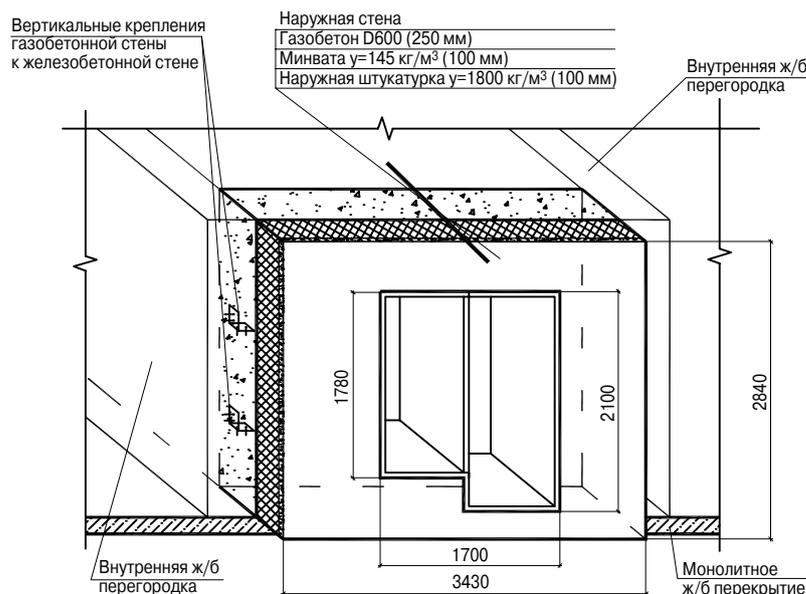


Рис. 2. Схема фрагмента стенового заполнения проема

Рассмотрим работу фрагмента стеновой конструкции, выполненной из газобетонных блоков, в пределах одного этажа при поэтажном опирании рассматриваемого фрагмента на монолитное перекрытие здания с несущим монолитным железобетонным каркасом и определим условия обеспечения устойчивости (невыпадения) рассматриваемого фрагмента стеновой конструкции при действии на него ветровой нагрузки.

Исходные данные для расчета

Рассмотрим 14-этажное здание монолитно-каркасной конструкции высотой 42 м с поэтажным заполнением наружных стен ячеисто-бетонными блоками из автоклавного газобетона марки по плотности D600 толщиной 250 мм. Конструкция наружной стены (рис. 1) состоит из трех слоев:

- кладка из газобетонных блоков марки по плотности D600 (250 мм);

Таблица 1

Ветровой район	II
Нормативное значение ветрового давления	0,03 кПа
Тип местности	B – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м
Тип сооружения	Вертикальные и отклоняющиеся от вертикальных не более чем на 15% поверхности

Таблица 2

Поверхность	Наветренная
Высота здания (14 этажей)	42 м
Шаг сканирования	3 м
Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	1,4

Таблица 3

Высота, м	Нормативное значение ветровой нагрузки, кПа	Расчетное значение, кПа
0	0,012	0,017
3	0,012	0,017
6	0,013	0,018
9	0,015	0,021
12	0,017	0,023
15	0,018	0,026
18	0,02	0,028
21	0,021	0,029
24	0,022	0,031
27	0,023	0,032
30	0,024	0,034
33	0,025	0,035
36	0,026	0,036
39	0,027	0,038
42	0,028	0,039

Таблица 4

Высота, м	Нормативное значение ветровой нагрузки, кПа	Расчетное значение, кПа
0	-0,009	-0,013
3	-0,009	-0,013
6	-0,01	-0,013
9	-0,011	-0,016
12	-0,013	-0,018
15	-0,014	-0,019
18	-0,015	-0,021
21	-0,016	-0,022
24	-0,017	-0,023
27	-0,017	-0,024
30	-0,018	-0,025
33	-0,019	-0,026
36	-0,02	-0,027
39	-0,02	-0,028
42	-0,021	-0,029

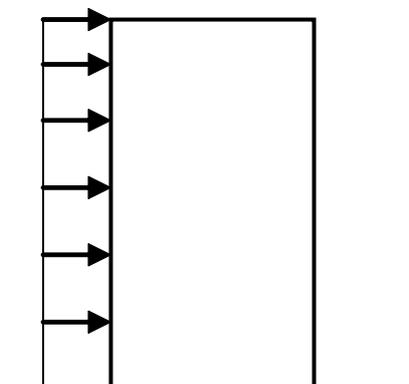


Рис. 3. Сбор ветровой нагрузки на наветренную поверхность

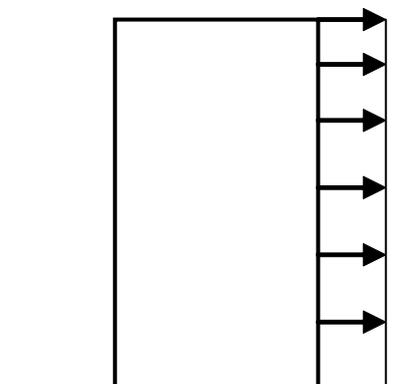


Рис. 4. Сбор ветровой нагрузки на подветренную поверхность

- утеплитель минераловатный плотностью 145 кг/м³ (100 мм);
- штукатурный слой плотностью 1800 кг/м³ (20 мм).

Схема заполнения проема поэтажно опертого фрагмента стены, расположенного между двумя железобетонными монолитными перегородками в пределах одного этажа здания, представлена на рис. 2. Рассматриваемый фрагмент имеет следующие размеры: длина (протяженность) $l = 3430$ мм; высота $H = 2840$ мм; толщина $\delta = 250$ мм (слой утеплителя и штукатурки в дальнейших расчетах не учтены по причине того, что непосредственно не опираются на несущие элементы каркаса здания). Исходные данные для проектирования приведены в табл. 1.

Расчет ветровой нагрузки

Произведем сбор ветровой нагрузки на наветренную (рис. 3) и подветренную (рис. 4) поверхности наружных ограждающих конструкций рассматриваемого здания. Здание 14-этажное, монолитно-каркасной конструкции. Расчет выполнен в соответствии со СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия» с учетом изменения № 2. Данные для расчета ветровой нагрузки приведены в табл. 2–4.

Для дальнейших расчетов рассмотрим условия обеспечения устойчивости (невыпадения) фрагмента стеновой

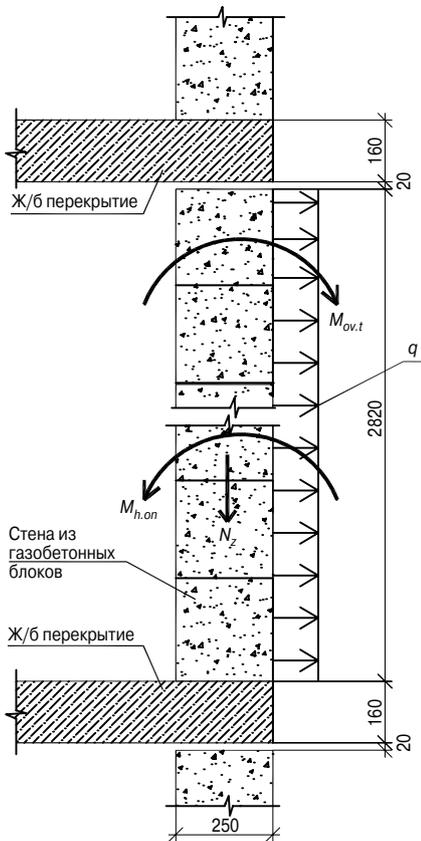


Рис. 5. Схема действующих на фрагмент стенового заполнения опрокидывающего ($M_{ov.t}$) и удерживающего ($M_{h.on}$) моментов

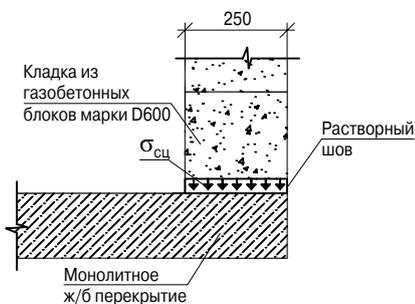


Рис. 6. Схема сцепления первого ряда кладки с монолитным перекрытием

конструкции наружу из плоскости стены. В качестве фрагмента стеновой конструкции примем участок стеновой конструкции, расположенный в пределах одного этажа между железобетонными перекрытиями верхнего (технического) и нижнего этажей в вертикальном направлении и между двумя соседними внутренними железобетонными перегородками монолитного каркаса в горизонтальном направлении. Рассматриваемый фрагмент стенового заполнения проема можно вывести из проектного положения двумя возможными способами:

- за счет опрокидывания фрагмента (рис. 5);
- за счет его горизонтального смещения из проектного положения (рис. 9).

Ниже подробно рассмотрены оба способа выведения стенового заполнения из проектного положения. Все по-

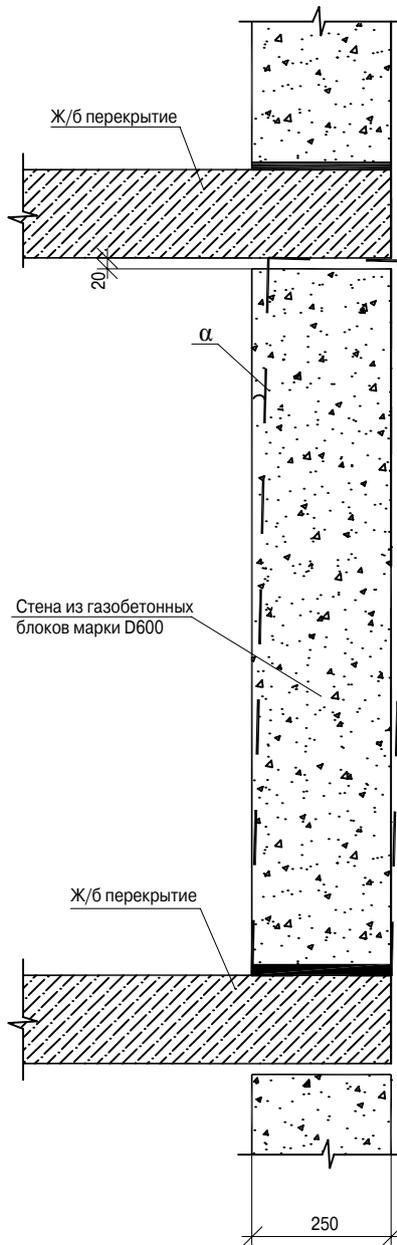


Рис. 7. Схема возможного опрокидывания фрагмента стенового заполнения и его заземления верхним перекрытием

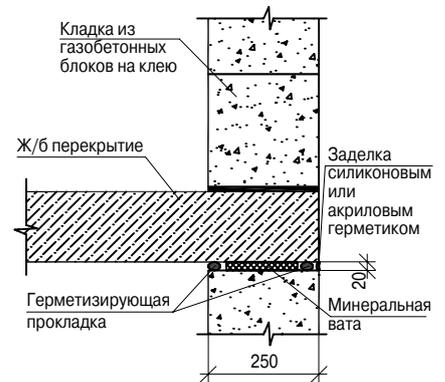


Рис. 8. Схема устройства верхнего края кладки в месте ее примыкания к монолитному перекрытию

следующие расчеты произведены для верхнего (14-го) этажа здания, где численное значение расчетной ветровой нагрузки максимально.

Вариант опрокидывания фрагмента стенового заполнения из проектного положения за счет действия опрокидывающего момента от ветровой нагрузки. В соответствии со схемой, представленной на рис. 5, на рассматриваемый фрагмент стены действуют два противоположно направленных момента. В первом приближении примем допущение, согласно которому фрагмент стенового заполнения свободно стоит на поверхности монолитного перекрытия под действием собственного веса, т. е. рассмотрим случай, когда раствор между перекрытием и первым рядом кладки отсутствует; и кроме того, примем, что фрагмент стены не связан посредством каких-либо механических или химических связей с внутренними монолитными стенами, между которыми располагается данный фрагмент. В этом случае на фрагмент стены действуют два момента: опрокидывающий $M_{ov.t}$ обусловленный отрицательной ветровой нагрузкой с подветренной

стороны фасада (табл. 4), и удерживающий опорный момент $M_{h.on}$, обусловленный собственным весом фрагмента стены.

Условием обеспечения устойчивости (невыпадения) рассматриваемого фрагмента стены при принятых допущениях является следующее неравенство:

$$M_{ov.t} \leq M_{h.on} \quad (1)$$

т. е. опрокидывающий момент $M_{ov.t}$ должен быть меньше удерживающего опорного $M_{h.on}$.

Опрокидывающий момент $M_{ov.t}$ от действия ветровой нагрузки ($q^p = w_e \cdot l$) определяется следующим выражением:

$$M_{ov.t} = \frac{1}{2} \cdot w_e \cdot H^2 \cdot l \cdot \gamma_e \quad (2)$$

где w_e – расчетное значение ветровой нагрузки на подветренную поверхность фасада; H – высота заполнения проема; l – расчетная длина заполнения проема; γ_c – коэффициент надежности ($\gamma_c = 1,1$).

Удерживающий опорный момент $M_{h,on}$ от собственного веса заполнения проема (N_z):

$$M_{h,on} = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot N_z \cdot 0,9 = \frac{1}{2} \cdot \delta^2 \cdot H \cdot l \cdot \rho \cdot 0,9, \quad (3)$$

где δ – толщина заполнения проема; H, l – то же, что и в формуле (2); ρ – плотность кладки (для марки D600 плотность кладки на клею $\rho = 680 \text{ кг/м}^3$ – по табл. 6.4 СТО 501-52-01–2007 Часть I. «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации»); γ_n – коэффициент надежности ($\gamma_n = 0,9$).

Вычисления опрокидывающего и удерживающего моментов по формулам (2), (3) на высоте 42 м от уровня земли (верхний этаж здания) дают следующие численные значения:

- опрокидывающий момент $M_{ov,l} = 44,1 \text{ Нм}$;
- удерживающий момент $M_{h,on} = 207 \text{ Нм}$.

Условие (1) при принятых допущениях не выполняется.

Связано это с тем, что в расчете, произведенном по формулам (2) и (3), не учтена адгезия растворного шва,

расположенного между монолитным перекрытием и первым рядом кладки стен из газобетона (рис. 6).

Численное значение усилия сцепления раствора с газобетоном при нормально приложенном усилии отрыва составляет $\sigma_{сц} = 0,11 \text{ МПа}$. Таким образом, для отрыва газобетона от монолитного перекрытия помимо удерживающего момента необходимо преодолеть также силу сцепления $F_{сц}$ (рис. 6), численное значение которой определяется по формуле:

$$F_{сц} = \sigma_{сц} \cdot S_{нов} = \sigma_{сц} \cdot \delta \cdot l = 943,25 \text{ Н}, \quad (4)$$

где $S_{нов}$ – опорная площадь поверхности заполнения проема стены на монолитное перекрытие; δ, l – то же, что и в формуле (3).

Для преодоления рассчитанного значения силы сцепления $F_{сц}$ необходимо приложить к рассматриваемому фрагменту стены опрокидывающий момент $M_{ov,l} = 664,26 \text{ Нм}$, что существенно выше фактического значения данного параметра (44,1 Нм).

Кроме того, необходимо принять во внимание, что опрокидывание рассматриваемого фрагмента стены от действия опрокидывающего момента невозможно по причине того, что имеющегося зазора между верхним краем фрагмента стены и монолитным перекрытием недостаточно, чтобы даже в случае преодоления сил сцепления опрокинуть рассматриваемый фрагмент стены из проектного положения (рис. 7).

Зазор между кладкой и верхним монолитным перекрытием при высоте кладки стен из газобетона 2820 мм составляет всего 20 мм (рис. 3, 7, 8). Это означает, что при повороте фрагмента на угол $\alpha = 1^\circ 45'$ кладка упрется верхним краем в нижнюю поверхность монолитного перекрытия, что создаст дополнительное расклинивающее усилие, величина которого будет определяться расчетным сопротивлением кладки сжатию. Для кладки из газобетонных блоков марки M50 по плотности D600 на клею марки M50 расчетное сопротивление кладки сжатию составляет 1300 кПа (табл. 6.6 СТО 501-52-01–2007).

Необходимо также принять во внимание, что в соответствии с предлагаемым техническим решением зазор между кладкой и перекрытием должен быть заполнен слоем утеплителя и герметиком (рис. 8), что еще более осложняет возможность любых угловых перемещений рассматриваемого фрагмента стенового заполнения.

Таким образом, устойчивость рассматриваемого фрагмента стенового ограждения от действия ветровой нагрузки при заданных условиях его закрепления (наличие горизонтальных швов кладки и раствора между первым рядом кладки и нижним перекрытием) и фактических геометрических параметрах стенового заполнения

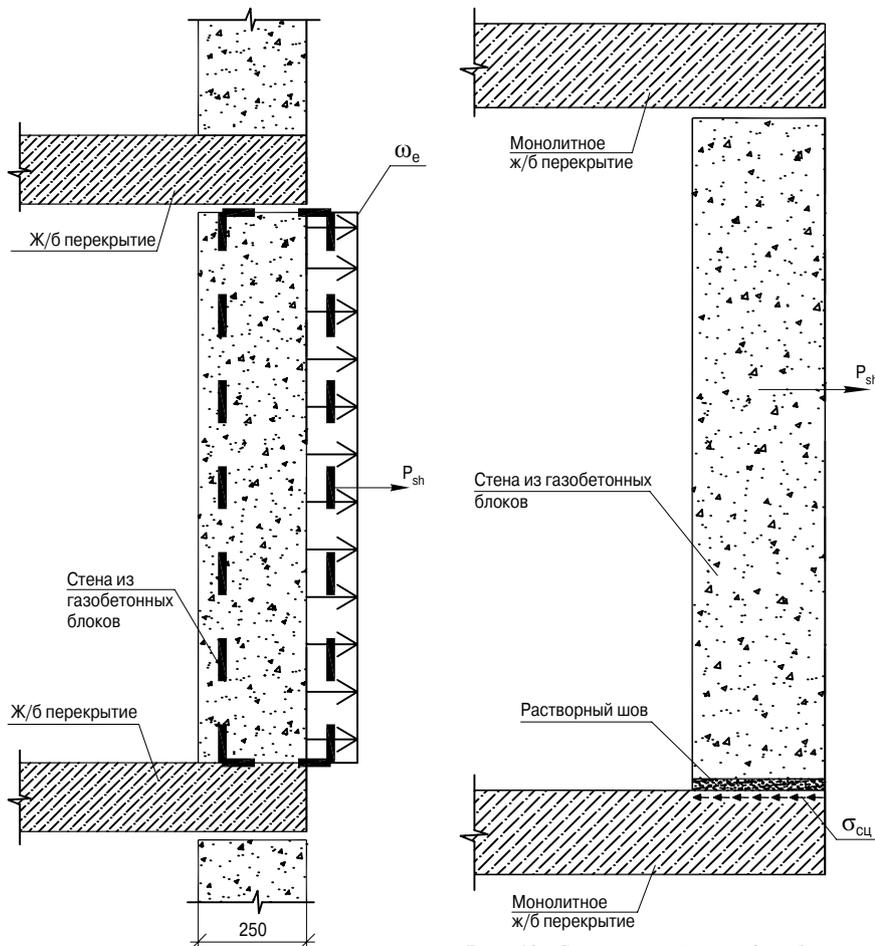


Рис. 9. Схема действующего на фрагмент стенового заполнения усилия смещения P_{sh}

Рис. 10. Схема усилий в кладке фрагмента стенового заполнения в результате действия горизонтального усилия смещения P_{sh}

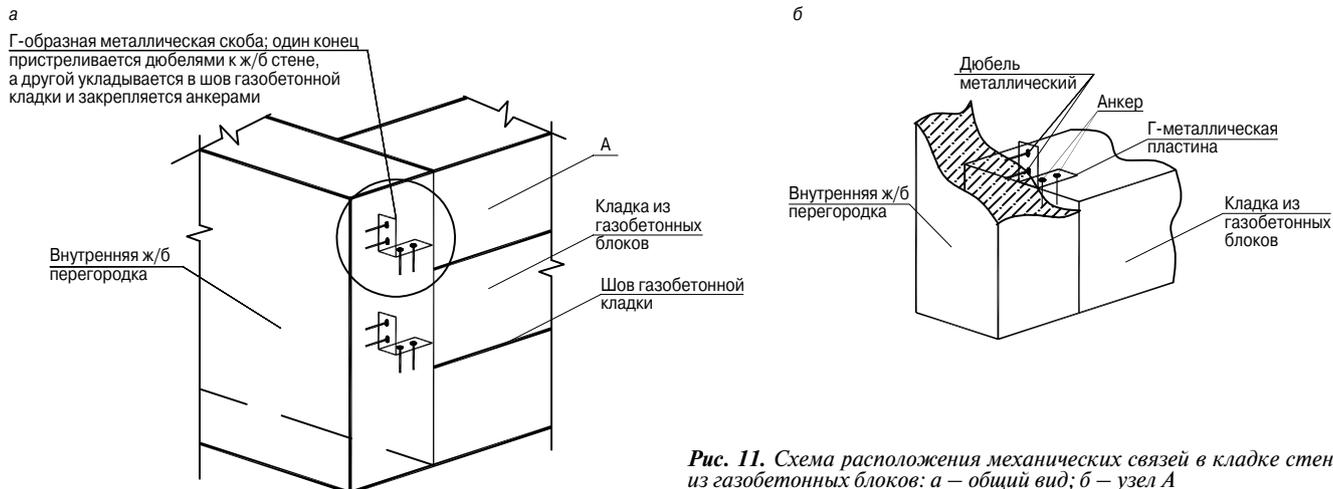


Рис. 11. Схема расположения механических связей в кладке стен из газобетонных блоков: а – общий вид; б – узел А

(незначительный зазор между кладкой и верхним перекрытием, заполненный утеплителем и герметиком) следует считать обеспеченной.

Вариант смещения фрагмента стенового заполнения из проектного положения за счет действия отрицательного ветрового давления. Рассмотрим возможность горизонтального смещения рассматриваемого фрагмента стенового заполнения из проектного положения (рис. 9).

Горизонтальное смещение фрагмента стенового заполнения будет возможно в том случае, если усилие смещения P_{sh} , обусловленное действием ветровой нагрузки, превысит удерживающее усилие $P_{h.on}$, обусловленное химическими и механическими связями кладки с монолитными железобетонными конструкциями здания (перекрытиями, внутренними стенами), т. е. должно выполняться условие:

$$P_{sh} \leq P_{h.on} \quad (5)$$

Суммарное усилие смещения P_{sh} , создаваемое отрицательной ветровой нагрузкой w_e (табл. 4) на фрагмент заполнения, может быть определено следующим образом:

$$P_{sh} = w_e \cdot S_w = w_e \cdot l \cdot H, \quad (6)$$

где w_e – расчетное значение ветровой нагрузки на верхнем этаже здания; S_w – площадь фасада рассматриваемого фрагмента стенового заполнения; l, H – то же, что и в формуле (2).

Значение усилия смещения фрагмента по формуле (6) $P_{sh} = 2825$ Н.

Удерживающее усилие может быть обусловлено двумя составляющими:

- химическими связями, обусловленными сцеплением кладки с монолитным перекрытием за счет раствора, расположенного между перекрытием и первым (нижним) рядом кладки (рис. 10);
- механическими связями, расположенными не менее, чем в двух местах по высоте кладки (рис. 2, 11).

Численное значение усилия сцепления раствора с газобетоном при тангенциальном (срезающем) приложении усилия составляет $\sigma'_{сц} = 0,3$ МПа.

Таким образом, усилие сцепления $P'_{сц}$ кладки с перекрытием при наличии растворного шва между ними составит $P_{сц} = \sigma'_{сц} \cdot S_{нов} = \sigma_{сц} \cdot \delta \cdot l = 257,25$ кН.

Следовательно, усилие сцепления $P'_{сц}$ кладки с перекрытием значительно выше усилия смещения P_{sh} , т. е. условие (5) выполняется.

Помимо химического сцепления может быть рекомендовано механическое сцепление кладки с монолитными несущими конструкциями здания за счет установки механических связей (анкеров или забиваемых в тело газобетона стальных гвоздей) в двух уровнях по высоте кладки в пределах одного этажа. Схема механического крепления кладки представлена на рис. 2, 11.

Механическое усилие сцепления $P''_{сц}$ в этом случае будет определяться следующим выражением:

$$P''_{сц} = p_{anc} \cdot n \cdot k_n, \quad (7)$$

где p_{anc} – усилие вырыва анкера (или металлического гвоздя) из газобетона (априори принимаем, что усилие вырыва анкера из монолитного бетона существенно выше), направленное перпендикулярно к его оси; n – количество установленных анкеров (гвоздей); k_n – коэффициент запаса ($k_n = 0,2$, т. е. принят пятикратный запас).

В формуле (7) при расчете $P''_{сц}$ принято усилие вырыва анкера или гвоздя из газобетона исходя из факта, основанного на том очевидном предположении, что усилие вырыва анкера из монолитного бетона будет существенно выше.

Стальные гвозди в ячеистом бетоне марки по плотности D600 при действии усилий перпендикулярно их оси выдерживают от 200 до 600 Н при глубине вбиваемой части от 40 до 100 мм и от 500 до 800 Н при глубине забивки до 150 мм (Каталог: малоэтажные дома из ячеистого бетона // Госкомархитектуры. Л.: ЛенЗНИИЭП, 1989. 228 с.). Результаты контрольных испытаний на срез стальных оцинкованных гвоздей 5×150 (диаметр 5 мм, длина 150 мм) из газобетона марки по плотности D600 перпендикулярно оси гвоздя показали, что среднее усилие среза гвоздя составляет 72,5 Н.

Зная фактические значения усилий на выдергивание гвоздей из газобетона перпендикулярно их оси, после подстановки рассчитанного по формуле (6) усилия смещения P_{sh} вместо усилия сцепления $P'_{сц}$ в формулу (7) можно рассчитать необходимое количество устанавливаемых анкеров (гвоздей) в газобетон:

$$n = \frac{P_{sh}}{P_{anc} \cdot k_n} \quad (8)$$

Таким образом, для компенсации усилия смещения P_{sh} , обусловленного действием отрицательной ветровой нагрузки на рассматриваемый фрагмент стенового заполнения, достаточно химического сцепления кладки с монолитным перекрытием, обеспеченного раствором швом нижнего ряда кладки. Однако с целью обеспечения более высокой устойчивости и надежности фрагмента стенового заполнения от выпадения его наружу можно порекомендовать установить механические крепления в соответствии со схемой, приведенной на рис. 11. Количество механических связей, необходимых для крепления фрагмента стенового заполнения и обеспечения условий его закрепления в проектном положении, рассчитано в зависимости от типа устанавливаемого анкера, условий его закрепления в теле газобетона и усилий вырыва.

Таким образом, механические и химические связи между фрагментом стенового заполнения, выполненным из газобетонных блоков марки по плотности D600 толщиной 250 мм, и внутренними железобетонными конструкциями монолитного каркаса здания, обеспечивают устойчивость рассматриваемого фрагмента стенового заполнения от возможного горизонтального смещения, вызванного воздействием на него ветрового давления.

Наличие механических связей между кладкой стенового заполнения проема и внутренними монолитными железобетонными конструкциями помимо устойчивости фраг-

мента от действия усилия смещения P_{sh} повышает также его устойчивость от действия опрокидывающего момента $M_{ov.l}$ (рис. 3).

Кроме того, необходимо отметить, что и усилие смещения P_{sh} и опрокидывающий момент $M_{ov.l}$ от ветрового давления на любой участок наружной стены здания не передаются непосредственно на кладку стен из газобетона. Усилие от ветрового давления воздействует непосредственно на штукатурное покрытие, стремясь оторвать его от утеплителя, и только затем от заделанных в стену анкеров передается фрагменту стенового заполнения, расходуя к этому моменту времени значительную часть своей энергии.

Список литературы

1. *Городецкий А.С.* Некоторые аспекты расчета и проектирования конструкций высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2007. № 1. С. 13–23.
2. *Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В.* Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетон. Киев: Факт, 2004. 106 с.
3. *Галкин С.Л.* Поэтажно опертые стены каркасных зданий. Опыт проектирования и строительства в Республике Беларусь // *Строительные материалы*. 2005. № 10. С. 92–98.
4. *Ишмуратов В.В., Каримов В.Э., Эпп А.Я.* Не сдует ли ветер стены высоток? // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2011. № 1. С. 60–67.

«Экономика для архитектора. Основы экономики архитектурных решений»

*Кирюшечкина Л.И., Солодилова Л.А.,
Дружинина О.Э.*

М.: Изд-во АСВ, 2013. 152 с.

Учебное пособие посвящено изучению методов экономической оценки градостроительных и архитектурных проектов различной направленности основанных на общепринятой методике оценки экономической эффективности инвестиций. В работе дается представление о современном рынке проектной и строительной продукции, основных понятиях оценки экономической эффективности инвестиций в архитектурно-проектной деятельности. Раскрываются факторы влияния на экономическую эффективность проектов и рассматриваются вопросы образования стоимости и цены на проектную и строительную продукцию, а также на профессиональные услуги архитектора. Подробно освещены вопросы экономики в области градостроительства, проектирования гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений, приводится экономическая оценка конструктивных решений.

Издание предназначено для изучения в архитектурных вузах, архитектурных факультетов вузов, снабжено достаточным количеством таблиц, графиков и рисунков высокого качества и может быть рекомендовано как студентам для выполнения расчетно-графических заданий, так и для более широкого круга специалистов.

«Промышленное и гражданское строительство в задачах с решениями»

Красновский Б.М.

М.: Изд-во АСВ, 2013. 624 с.

Учебное пособие ставит своей целью ознакомить читателя с теоретическими основами и алгоритмами решения типовых задач промышленного и гражданского строительства, охватывающими основной круг вопросов, составляющих «образовательный фон» специалиста-строителя. Рассматриваются задачи по курсам «Архитектура», «Строительные материалы», «Строительные конструкции», «Основания и фундаменты» и «Экономика строительства».

Каждый раздел включает в себя теоретическую, нормативную и методическую часть с подробными решениями. Всего рассмотрено и решено 76 различных задач строительного производства.

Пособие рекомендуется слушателям системы профессиональной переподготовки по направлению «Промышленное и гражданское строительство», а также инженерно-техническим работникам строительных организаций и студентам строительных вузов.