

15. Верхне-волжская этнологическая экспедиция. Крестьянские постройки ярославо-тверского края. - Л.: ГАИМК, 1926 - 176 с.
16. Справочник по Псковской губернии на 1924 г. - Псков: Изд-во "Псковский Набат", 1924. - 180 с.
17. **Ганцкая О.А.** и др. Материальная культура русского сельского населения западных областей во втор. пол. XIX - нач. XX в. // Тр. ин-та этнографии АН СССР. Нов. сер. - Т. LVII. - М., 1960. - С. 17 - 25.
18. Верхне-волжская этнологическая экспедиция. Крестьянские постройки ярославо-тверского края. - Л.: ГАИМК, 1926 - 176 с.
19. **Дегтярев А.Я.** Русская деревня в XV - XVII вв.: очерки истории сельского расселения. Л.: ЛГУ, 1980. - 176 с., ил.
20. **Введенская А.Г.** Из истории планировки русской деревни XVIII в. и пер. пол. XIX вв. // Труды ГИМ., вып. XV, М.: Издательство ГИМ., 1941. - С. 77 - 120.
21. Материалы по статистике народного хозяйства в С. Петербург. губ. Вып. 4, Крестьянское хоз-во в Гдовском уезде, - СПб., 1886.
22. **Ланцев В.В.** Деревянное зодчество Северо-запада – иллюстрированный сборник архитектурно-строительных терминов (крестьянское жилище, культовые постройки), ч.1 – "А" – "З". – Санкт-Петербург, 2002. – 230 с.

*В.А. ПРОТАСОВ, А.А. СПИРИДОНОВ, П.И. САФРОНОВ*

## **РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ СТЕНОВОГО ЗАПОЛНЕНИЯ 10-ЭТАЖНОГО 27-КВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА ПО УЛИЦЕ ШЕСТАКА В ГОРОДЕ ПСКОВЕ**

Выполнен расчет конструкций стенового заполнения 10-этажного 27-квартирного жилого дома по улице Шестака в городе Пскове. Показано, что прочность стенового заполнения обеспечена как на этапе возведения, так и на этапе эксплуатации при выполнении определенных конструктивных мероприятий. Предложено в состав наружной кирпичной стены добавить пилястры.

По заказу администрации ЗАО «Реставрационная мастерская» сотрудники Псковского политехнического института выполнили расчет стенового заполнения 10-этажного жилого дома по улице Шестака в городе Пскове.

Конструктивное решение 10-этажного жилого дома разработано в монолитном исполнении железобетонного рамно-связевого каркаса, состоящего из монолитных колонн сечением 400 х 400 мм и плоских монолитных плит перекрытия толщиной 200 мм, обрамленных по наружному контуру бортовой балкой с прямоугольным сечением 400 х 380 (h) мм. В проекте принята сетка колонн с ячейками 6,6 х 6,6 м; 6,6 х 3,6 м. Высота этажа – 3,0 м.

Пространственная устойчивость и жесткость здания обеспечиваются системой из пространственного рамного каркаса, вертикальных и горизонтальных диафрагм жесткости. Вертикальными диафрагмами жесткости являются также монолитные железобетонные стены с толщиной 200 мм лестнично-лифтовых узлов, образующие стержневой тонкостенный контур открытого профиля; горизонтальными диафрагмами служат диски перекрытия, абсолютно жесткие в своей плоскости, но имеющие конечную жесткость из плоскости.

Наружные стены с общей толщиной 650 мм, поэтажно опираясь на контурные кромки междуэтажного перекрытия, являются ненесущими - висячими.

Расчеты конструкций стенового заполнения на этапе возведения выполнены в соответствии с рекомендациями /1...4/. Высота стенового ограждения принята равной расстоянию в свету между монолитными железобетонными перекрытиями здания – 2,8м.

Стеновое заполнение устраивается в следующей последовательности:

- возводится кирпичная стена толщиной 120мм (кирпич керамический утолщенный марки по прочности 100, раствор кладочный марки по прочности 100);
- устраивается металлический каркас под обшивку гипсокартонными листами (ГКЛ). Стойки каркаса – из профиля стоечного КНАУФ типа ПС75/50, горизон-

тальные элементы - из профиля направляющего КНАУФ типа ПН75/40. Крепление каркаса выполняется дюбелями к нижнему и верхнему железобетонным перекрытиям, а также к железобетонным колоннам каркаса здания.

- выполняется обшивка каркаса ГКЛ (ярусами снизу-вверх) и заполнение пазухи между наружной кирпичной стеной и ГКЛ монолитным пенобетоном D300 слоями толщиной не более 400мм. Бетонирование пазухи выполняется не ранее чем через 14 дней после возведения кирпичной стены.

Для обеспечения совместности работы элементов стенового заполнения в кирпичную кладку стены (через 4 ряда с шагом не более 600мм) укладываются петли из отрезков проволочной арматуры не менее  $\varnothing 3\text{Вр-I}$  или кладочная сетка с выпуском в пенобетон на 40...50мм. Стойки каркаса под обшивку ГКЛ соединяются с кирпичной кладкой перемычками из профиля металлического ПН50/40 с шагом  $1/3$  высоты стены (через 900...1000мм).

В соответствии с п.4.2. /1/ расчет прочности каменных и армокаменных конструкций незаконченных зданий и сооружений производится на воздействие нормативной ветровой нагрузки, а для других нагрузок принимаются их расчетные значения. Расчет прочности стенового заполнения на этапе его эксплуатации выполнялся на действие расчетных значений всех нагрузок.

Характеристики ветровой нагрузки по /3/ на здание высотой 33м приведены ниже:

Ветровой район	I
Нормативное значение ветрового давления	0,226 КН/м <sup>2</sup>
Тип местности	B
Тип сооружения	Вертикальные и отклоняющиеся от вертикальных не более чем на 15° поверхности

В расчетах для незаконченного здания использовалось нормативное значение ветровой нагрузки на стеновое заполнение в виде суммы наветренной и подветренной компонент для высоты 33м, т.е.  $q_n = 0,331\text{КПа}$ .

Нагрузка от собственного веса кирпичной стены вычислялась при нормативном значении объемного веса кладки  $D = 1400\text{кг/м}^3$  с коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,2$ .

Нагрузка от собственного веса пенобетона вычислялась при нормативном значении объемного веса  $D = 300\text{кг/м}^3$  с коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,3$ .

На первом этапе был выполнен расчет наружной кирпичной стены. Наружная кирпичная стена в соответствии с классификацией п.6.6 /1/ относится к ненесущим (воспринимающей нагрузку только от собственного веса и ветра в пределах одного этажа при высоте этажа не более 6 м). Группа кладки по п.6.5. /1/ – I.

В соответствии с требованиями пп. 6.17 — 6.20. /1/ об отношениях высоты стены или столба к толщине, рассматриваемая кирпичная стена при ее толщине 120мм нуждается в креплении (анкеровке) ее верха к вышележащему железобетонному перекрытию или устройстве пилястр. Анкеры, установленные на 1пог.м. верха стены должны быть рассчитаны на восприятие горизонтальной нагрузки величиной не менее 0,7КН/м. Анкеровка низа стены не является обязательной, так как отсутствие сдвига низа стены от действия ветровых нагрузок обеспечивается силами трения кладки о бетон перекрытия.

В случае указанной анкеровки отношение  $\beta = H/h$  (где  $H$  — высота этажа,  $h$  — толщина стены) составляет  $\beta = 280/12 = 23,3$  и несколько превышает предельно допустимые значения (см. табл.28 /1/)  $[\beta] = 25 \times 1,72 \times 0,52 = 22,36$  с поправочными коэффициентами, учитывающими отсутствие нагрузки от вышележащих перекрытий и наличие проемов.

Для стен, не закрепленных в верхнем сечении, значения отношений  $[\beta]$  должны быть уменьшены на 30 % и составят  $[\beta] = 25 \times 1,72 \times 0,52 \times 0,7 = 15,65$ . В этом случае условие п.6.17 /1/, т.е.  $\beta < [\beta]$  также не выполняется.

Стена нуждается в ее усилении пилястрами. В связи с конструктивной сложностью анкеровки стены в верхнем сечении, ниже рассматривается вариант возведения стены без анкеровки.

В ходе предварительных расчетов установлено, что выступ пилястр за плоскость стены должен составлять не менее 260мм (в один кирпич).

Наибольшее расстояние в свету между пилястрами на глухих участках наружных стен не должно превышать 1540мм.

В ходе предварительных расчетов также установлено, что высота пилястр может быть принята ограниченной по высоте стены (до отметки +2,4м, т.е. до верха оконных проемов).

Рекомендуемая схема размещения пилястр по периметру наружных стен предполагает возведение пилястр на расстоянии 120...380мм слева и справа от каждого проема. Пример размещения пилястр на участке стены по оси А (между колоннами в осях 2 и 3) показан на рис. 1.

Для расчета был выбран участок стены шириной 1,8м, расположенный между колонной по оси В-6 и серединой наиболее широкого оконного проема (шириной 1810мм) в наружной стене по оси 6 (между колоннами по осям Б и В).

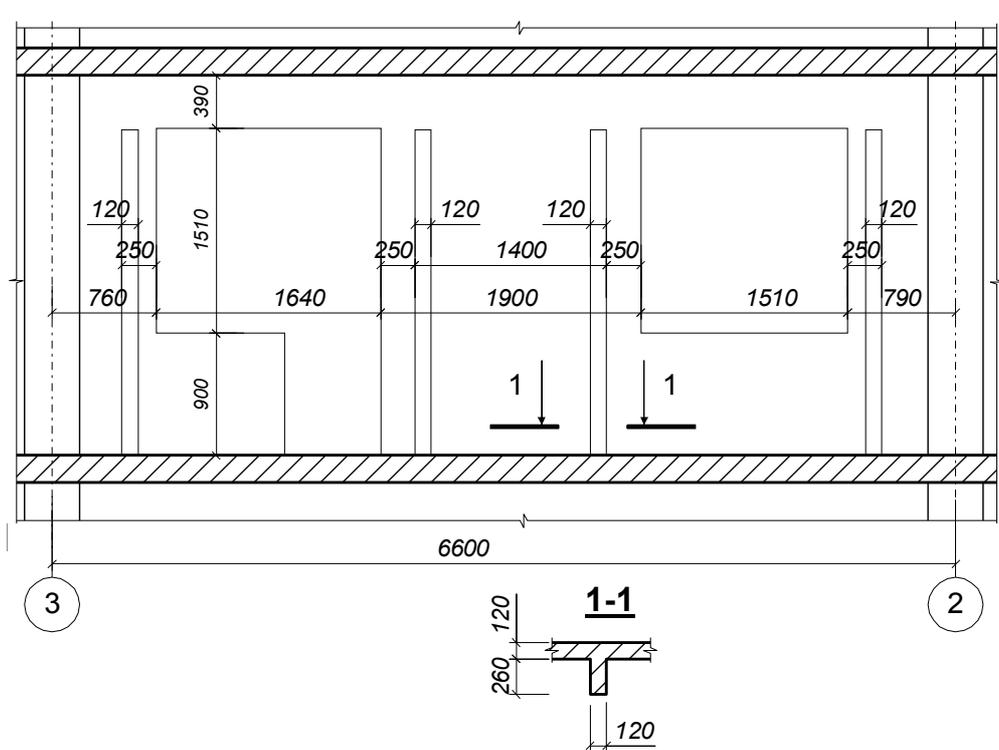


Рис. 1. Пример расположения пилястр по периметру наружных стен.

Для расчета принималось тавровое сечение кирпичной стены толщиной 120мм и шириной 0,9м с одной пилястрой шириной 120мм и толщиной 260мм. В соответствии с п.6.9 /1/ в работу сечения включается как сама пилястра, так и примыкающие участки стены шириной до  $6h = 6 \times 120 = 720$ мм (в каждую сторону от пилястры). Здесь  $h = 120$ мм — толщина стены. Дополнительным расчетом было установлено, что участок стены высотой 0,9м, расположенный под оконным проемом, способен самостоятельно воспринимать действующую на него ветровую нагрузку, поэтому в дальнейших расчетах данный участок вместе с действующими на него нагрузками не учитывался.

Расчетная схема, а также эпюры изгибающих моментов и продольных усилий от действия собственного веса и ветра (при пустых оконных проемах) для рассматриваемого участка стены приведены ниже:

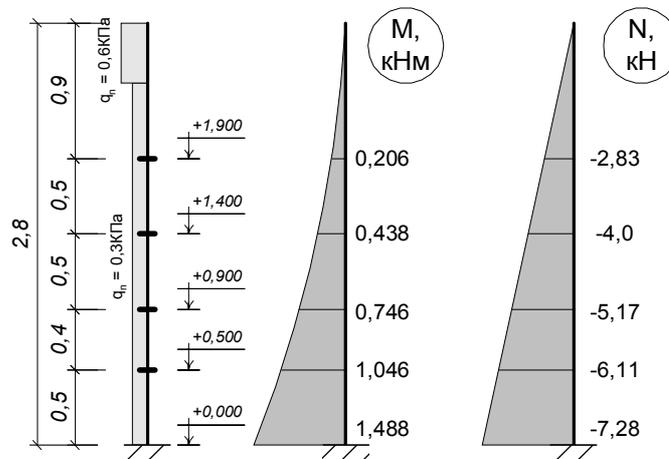


Рис.2. Расчетная схема кирпичной стены, эпюры изгибающих моментов и продольных усилий от ветровой нагрузки (ветер слева) и собственного веса

Следует отметить, что описанная конструкция внецентренно сжатой кирпичной стены при таком направлении ветра, когда наветренной является внутренняя плоскость стены, не удовлетворяет требованиям п.4.10 /1/, т.к. эксцентриситеты продольных сил:

$$e = M / N > 0,9y,$$

где  $y$  - расстояние от центра тяжести сечения до сжатого его края. В этом случае требуется установка дополнительных связей, препятствующих обрушению стены наружу от здания.

Был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния стены при двух направлениях ветра:

- Наветренной является наружная поверхность стены и дополнительные связи отсутствуют.
- Наветренной является внутренняя поверхность стены и дополнительные односторонние связи (препятствующие обрушению стены наружу) установлены в верхней зоне стены.

Расчет для первого направления ветра был выполнен для нижнего наиболее нагруженного сечения стены с расчетными значениями внутренних усилий по рис.2. Предполагалось, что раствор набрал не менее 4% прочности. Расчет показал, что прочность кирпичного элемента обеспечена.

Расчетная схема, а также эпюры изгибающих моментов и продольных усилий (от действия собственного веса и ветра) для второго направления ветра приведены ниже:

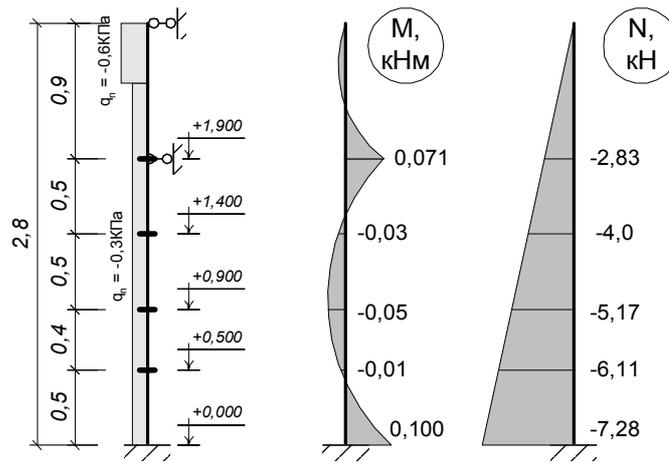


Рис.3. Расчетная схема кирпичной стены, эпюры изгибающих моментов и продольных усилий от ветровой нагрузки (ветер справа) и собственного веса

Расчет для второго направления ветра выполнялся для сечения на отметке +1,9м (с наибольшим эксцентриситетом нагрузки) с расчетными значениями внутренних усилий по рис.3. Предполагалось, что раствор набрал не менее 4% прочности. Расчет показал, что прочность кирпичного элемента обеспечена.

На втором этапе был выполнен расчет с учетом совместной работы наружной кирпичной стены с металлическим каркасом для ГКЛ. Рассматривалось влияние стоек металлического каркаса типа ПС75/50 под обшивку ГКЛ на работу наружной кирпичной стены. Предполагалось, что стойки металлического каркаса соединены с кирпичной стеной перемычками из металлического профиля типа ПН75/40 в двух местах по высоте стены. Схема для расчетного участка стены шириной 1,8м приведена ниже на рис. 4. Предполагалось, что у расчетного участка стены установлено не менее 3-х стоек каркаса ПС75/50 (с шагом 400...450мм).

В результате серии расчетов было установлено, что учет совместной работы наружной кирпичной стены с металлическим каркасом из-за его относительно низкой жесткости (минимальная жесткость стены на изгиб изменяется в пределах  $EI = 230...2800 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$  по мере нарастания прочности раствора, а жесткость 5 профилей на изгиб -  $EI = 51 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$ ) уменьшает изгибающие моменты в кирпичной кладке стены незначительно.

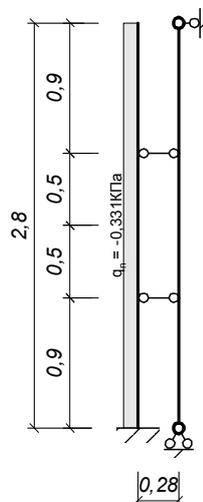


Рис.4. Расчетная схема кирпичной стены, связанной с металлическим каркасом под обшивку ГКЛ.

Нарастание прочности раствора (и соответствующее увеличение модуля упругости кладки) сопровождается уменьшением влияния каркаса. После набора 100% прочности раствором уменьшение изгибающего момента в нижнем сечении стены при учете работы каркаса не превышает 15%.

На третьем этапе был выполнен расчет стенового заполнения при укладке слоев пенобетона. Рассматривалась работа стенового заполнения при последовательной укладке слоев пенобетона ( $D = 300 \text{ кг/м}^3$ ) высотой 400 мм. Нагрузка от заливаемого слоя пенобетона рассматривалась как гидростатическая с расчетным значением интенсивности  $q_b = 0 \dots 0,42 \text{ МПа}$ . На момент заливки очередного слоя пенобетона, нижние слои считались схватившимися и нагрузка от них рассматривалась как нагрузка от собственного веса. Нумерация слоев пенобетона велась снизу вверх (от №1 до №7 при общей высоте стены 2,8 м).

Предполагалось, что на момент укладки пенобетонной смеси стеновое заполнение состоит из наружной кирпичной стены (после набора не менее 50% прочности кладочным раствором) и металлического каркаса, обшитого снизу ГКЛ до уровня верха заливаемого слоя пенобетона. Учет работы обшивки из ГКЛ не выполнялся (в запас прочности).

Пример расчетной схемы для участка стены шириной 1,8 м при заливке слоя №2 приведен ниже на рис. 5.



Рис.5. Расчетная схема кирпичной стены, обшивки из ГКЛ по металлическому каркасу и промежуточных слоев пенобетона.

Схватившийся пенобетон моделировался прямоугольными конечными элементами плоской задачи теории упругости, находящимися в условиях плоской деформации. Слой кирпичной кладки и металлический каркас, как и ранее, моделировался стержневыми конечными элементами. Модуль упругости пенобетона в расчетах был принят равным  $E = 200 \text{ МПа}$  (по экстраполяции данных [4] для ячеистых бетонов).

Серия расчетов, моделирующих заливку слоев пенобетона, показала, что максимальное значение изгибающих моментов, возникающих в кирпичной кладке в этом случае, увеличивается не более чем на  $0,13 \dots 0,15 \text{ КНм}$ , т.е. на  $2,9 \dots 3,3\%$  по сравнению с результатами, полученными выше при действии только собственного веса конструкций и ветра. При этом увеличение изгибающих моментов в кирпичной кладке происходит только при заливке нижних слоев пенобетона. По мере увеличения высоты пенобетона он включается в работу стенового заполнения и воспринимает часть потенциальной энергии деформации. В результате перераспределения усилий происходит общее снижение величин изгибающих моментов в кирпичной кладке.

В заключение был выполнен расчет стенового заполнения на этапе эксплуатации. При этом предполагалось, что раствор кирпичной кладки и пенобетон набрали 100% прочности, а также изменилась схема приложения и величины ветровой нагрузки. При

расчете вместо нормативных использовались расчетные значения ветровой нагрузки и учитывалось воздействие ветра на заполнение оконных проемов. Общий уровень ветровой нагрузки при этом понижается – вместо учета одновременного воздействия на стену наветренной и подветренной компонент ветровой нагрузки с суммарным значением  $q_n = 0,331 \text{ КПа}$  (как это делалось для стены в период возведения), рассматривалось воздействие одной из этих компонент (наветренной  $q_f = 0,255 \text{ КПа}$ ; подветренной  $q_f = 0,191 \text{ КПа}$ ) при соответствующем направлении ветра. Работа обшивки из ГКЛ в расчете не учитывалась (в запас прочности).

Несущая способность пенобетона при расчете не учитывалась, т.к. его прочность не удовлетворяет требованию п.4.27 /2/. Однако вес пенобетона (как присоединенную массу) можно учесть в том случае, когда стена является подветренной, т.е. ветер стремится опрокинуть стеновое ограждение наружу, а вес пенобетона создает удерживающий эффект.

Вместе с тем, очевидно, что укладка пенобетона изменяет условия закрепления верха стены – вместо свободного закрепления появляется упруго-податливая связь. Выяснение физико-механических свойств связи верха стенового заполнения с перекрытием требует специальных исследований. В расчете появление такой связи моделировалось установкой дополнительной перемычки из профиля ПН70/40 на отметке +2,6м, тем более, что данная перемычка может быть фактически установлена.

Выполненные расчеты показали, что прочность стенового заполнения на этапе эксплуатации обеспечена.

В результате серии расчетов установлено, что прочность стенового заполнения на этапах возведения и эксплуатации обеспечена при выполнении следующих конструктивных мероприятий:

1) В составе наружной кирпичной стены должны быть устроены пилястры высотой не менее 2600мм с обеих сторон каждого проема в соответствии с рис. 1.

2) Верхняя часть каждой пилястры на этапе возведения должна быть закреплена временной односторонней связью, препятствующей обрушению кирпичной стены наружу от здания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **СНиП II-22-81.** Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой СССР. - М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. - 64 с.
2. **СНиП 2.03.01- 84\*.** Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 80 с.
3. **СНиП 2.01.07-85.** Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. - 36 с.
4. **Дроздов П.Ф.** Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. - М.: Стройиздат, 1977. - 223 с.