

2. Строительная климатология : СНБ 2.04.02–2000.
3. Металлы. Методы испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах (с изменениями №1, 2) : ГОСТ 9454–78.
4. Давыдов Е. Ю. К вопросу увеличения крутильной жесткости открытых профилей //ж. ПГС № 1. – 2010. – С.12–13.

УДК 693.22

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЕТРОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ПОЭТАЖНО ОПЕРТОГО МНОГОСЛОЙНОГО СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ С ОБЛИЦОВОЧНЫМ СЛОЕМ В СВЕТЕ ТРЕБОВАНИЙ ЕВРОКОДА 6**

*ДЕРКАЧ В. Н., ДЕМЧУК И. Е.*

Филиал РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр,  
Брест, Беларусь

В практике современного домостроения широкое распространение получили многоэтажные здания с монолитным железобетонным каркасом, в которых наружные и внутренние стены возводятся из мелкоштучных кладочных изделий с опиранием на диски перекрытий в пределах каждого этажа. Наружные стены таких зданий часто возводят по технологии многослойной кладки с облицовочным слоем из керамического или силикатного кирпича. Последний крепится к основному слою стены с помощью гибких анкерных связей. Между основным и облицовочным слоями кладки располагается воздушный зазор и слой эффективной теплоизоляции. Указанные стены выгодно отличаются от однослойных стен по теплостойкости, акустическим свойствам, пожарной безопасности и долговечности.

Конструктивное решение многослойных стен с наружной облицовкой кирпичом было разработано ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и представлено в рабочих чертежах серии 2.130-8 (выпуски 0 и 1), выпущенной в 1988 г. В этой серии не было предусмотрено поэтажное опирание наружных стен, а высота зданий со стенами из облегченной кладки ограничивалась пятью этажами. Массовое

строительство зданий с монолитным каркасом потребовало новых, более эффективных с точки зрения теплопередачи и адаптированных к требованиям высотного строительства конструктивных решений стенового ограждения. При этом действующие нормы по проектированию каменных и армокаменных конструкций СНиП II-22-81 не содержали указаний по проектированию таких стен [1].

Основной слой поэтажно опертых многослойных стен воспринимает воздействия от собственного веса, веса утеплителя, и ветровые воздействия. Последние передаются на основной слой стены через анкерные связи от облицовочного слоя кладки. Облицовочный слой, в свою очередь, подвергается ветровым, температурно-влажностным воздействиям и воздействиям собственного веса. Устойчивость многослойных стен из плоскости обеспечивается анкерными связями, с помощью которых основной слой стены сопрягается с конструкциями каркаса. Сопряжение стен с каркасом чаще всего выполняется шарнирным и может осуществляться по двум, трем или четырем сторонам. От способа сопряжения многослойных стен с каркасом существенно зависит величина изгибающих моментов, возникающих в облицовочном и основном слоях многослойной стены, а также усилий в анкерных связях [2].

Следует отметить, что в соответствии со СНиП II-22-81 проектирование элементов каменных конструкций, работающих на изгиб по неперевязанному сечению, не допускается. При этом в поэтажно опертых стенах многоэтажных каркасных зданий, ввиду незначительных значений сжимающих напряжений, при ветровых воздействиях растягивающие напряжения в кладке возникают в двух ортогональных плоскостях, что противоречит СНиП II-22-81.

Еврокод 6 предлагает два подхода к расчету каменных стен при действии равномерно распределенной нагрузки, перпендикулярной их плоскости. В первом случае расчетная схема стены строится из предположения, что в ее толще реализуется арочный эффект (рис. 1). Очевидно, что данную расчетную схему можно применять в случае опирания стены на колонны или диафрагмы жесткости каркаса при одностороннем действии горизонтальной нагрузки.

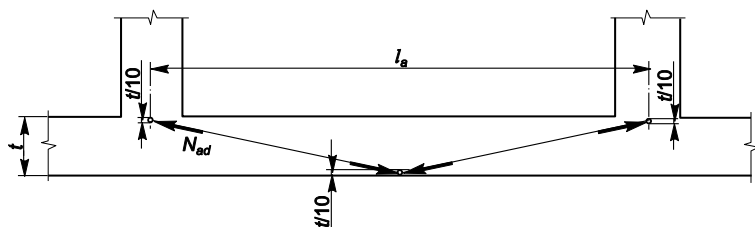


Рис. 1. Расчетная модель стены в виде арки

Во втором случае каменные стены рассматриваются как пластины, опертые по трем или четырем сторонам, изгибающие моменты в которой в зависимости от соотношения размеров стены определяются с помощью таблиц приложения Е.

Указанные расчетные модели имеют свои ограничения. Их можно применять при расчете сплошных стен толщиной не более 250 мм прямоугольной формы при ограниченном соотношении габаритных размеров и нагруженных равномерно распределенной по площади нагрузкой. С помощью данных моделей нельзя оценить значения усилий, возникающих в связевых элементах, соединяющих стены с конструкциями каркаса.

Расчет стен сложной формы или с проемами Еврокод 6 рекомендует выполнять по признанным методам расчета моментов в плитах, например МКЭ или методом предельного равновесия, с учетом анизотропии каменной кладки.

Расчетная модель каменного заполнения, основанная на МКЭ, должна позволять прикладывать нагрузку в двух направлениях. Нагрузка от собственного веса, веса штукатурных слоев, а также температурно-влажностные воздействия действуют в плоскости стены, в то же время как переменные ветровые и линейные нагрузки прикладываются перпендикулярно плоскости стены.

Каменная кладка обычно моделируется пластинчатыми конечными элементами (КЭ). При этом анизотропию деформационных характеристик кладки допускается не учитывать [3]. Рекомендуется сгущать сетку КЭ в зонах установки связевых элементов, оконных или дверных проемов. Связевые элементы должны позволять передавать горизонтальную нагрузку действующую перпендикулярно плоскости стены, на каркас, при этом передача нагрузки от каркаса на стену в ее плоскости через связи должна быть исключена.

В соответствии с этим принципом в КЭ модели стены осуществляются узловые опорные закрепления, которые следует располагать в местах установки связевых элементов. Расчетная модель стены, основанная на МКЭ приведена на рис. 2, *а*.

Если опирание каменного заполнения осуществляется только по верхней и нижней граням, или длина стены в два раза превышает ее высоту, то при статическом расчете заполнение можно рассматривать, как однопролетную шарнирно опертую балку (рис. 2, *б*).

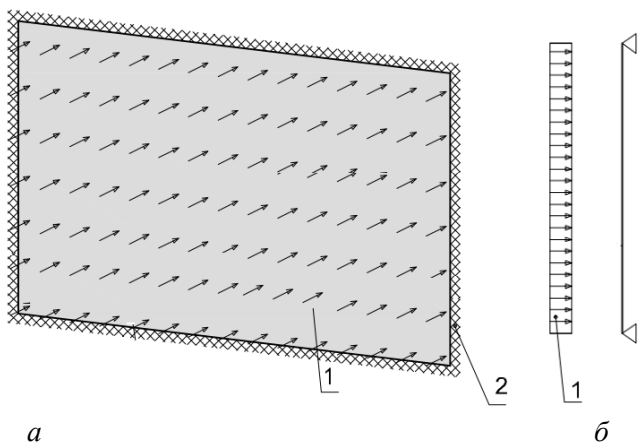


Рис. 2. Расчетные модели стены:

*а* – стена, опертая по трем или четырем сторонам; *б* – стена, опертая по верхней и нижней граням:

1 – ветровая нагрузка; 2 – закрепление грани стены из плоскости (свободная грань, жесткая заделка или точечное шарнирное опирание)

Согласно Еврокоду 6, проверка предельного состояния несущей способности многослойной стены проводится отдельно для облицовочного и основного слоев из условия, по которому расчетные значения изгибающих моментов в слоях стены  $M_{Ed}$  не должны превышать расчетных значений сопротивления изгибу  $M_{Rd}$ . При этом расчетные значения сопротивлений анкерных связей, соединяющих слои стены, а также закрепляющих основной слой стены к конструкциям каркаса  $N_{Rd}$  должны быть не менее соответствующих расчетных значений усилий, возникающих в анкерных связях при ветровых воздействиях в применяемом расчетном случае ( $N_{Ed}$ ).

Характеристические значения сопротивлений анкерных связей силовым воздействиям приводятся в декларации производителя.

Эффективную толщину стены с воздушным зазором  $t_{ef}$  рассчитывают по формуле

$$t_{ef} = \sqrt[3]{k_{ef} t_1^3 + t_2^3}, \quad (1)$$

где  $t_1$ ,  $t_2$  – фактическая толщина слоев или их эффективная толщина, если она определяющая, при этом  $t_1$  – толщина облицовочного слоя,  $t_2$  – толщина основного слоя;

$k_{ef}$  – коэффициент, равный частному при делении различных модулей упругости слоев  $t_1$  и  $t_2$ , но не более 2.

В расчетной модели многослойной стены, основанной на МКЭ, каменная кладка моделируется пластинчатыми конечными элементами (КЭ) с приведенной изгибной жесткостью.

Облицовочный слой стены обычно возводится из высококачественного кирпича на прочном кладочном растворе. Кратковременный модуль упругости таких кладок  $E_1 = 10\,000\text{--}12\,000$  МПа. Для кладки основного слоя в отечественной строительной практике, как правило, применяются кладочные изделия, обладающие низкой теплопроводностью. В Республике Беларусь чаще всего для этих целей используются ячеистобетонные блоки плотностью не выше  $500\text{ кг/м}^3$  прочностью при сжатии В1,5–2,0 на тонкослойном растворе. В этом случае кратковременный модуль упругости кладки основного слоя  $E_2$  примерно в 10 раз ниже модуля упругости кладки облицовочного слоя  $E_1$  [4]. По этой причине при толщине основного слоя  $t_2 = 0,3$  м его изгибная жесткость всего в 1,5–1,6 раза превышает изгибную жесткость облицовочного слоя толщиной  $t_1 = 0,12$  м. В соответствии с правилами проектирования Еврокода 6, изгибающие моменты, возникающие в многослойной стене от ветровых воздействий, распределяются по слоям кладки пропорционально их жесткости. Следовательно, расчетные значения изгибающих моментов, возникающих в облицовочном слое кладки  $M_{Ed,1}$  будут в 1,5–1,6 раза ниже, чем в основном слое  $M_{Ed,2}$ . Учитывая, что момент сопротивления основного слоя в 6,3 раза выше, чем момент сопротивления облицовочного слоя, расчетные значения растягивающих напряжений, действующих в облицовочном слое, примерно в четыре раза превысят напряжения в основном

слое стены. При этом, согласно Еврокоду 6, отношение расчетных значений прочности на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению кладок облицовочного и основного слоев стены  $f_{dk1,1}/f_{dk1,2} = 0,67$ , а отношение расчетных значений прочности на растяжение при изгибе по перевязанному сечению  $f_{dk2,1}/f_{dk2,2} = 1,3$ . Отсюда следует, что наступление предельного состояния несущей способности многослойной стены определяется сопротивлением облицовочного слоя кладки ветровым воздействиям.

Величина изгибающих моментов, возникающих в облицовочном и основном слоях многослойной стены, зависит от способа ее сопряжения с конструкциями каркаса. Стена может соединяться с каркасом здания по двум сторонам (нижней и верхней, или нижней и боковой), по трем сторонам (с исключением опирания по верхней, нижней или боковой граням) или по четырем сторонам.

Следует отметить, что в отечественной практике строительства сопряжение стен с каркасом с помощью анкерных связей чаще всего осуществляется по двум или трем сторонам (боковым и верхней). На нижнее перекрытие кладка опирается через слой прочного кладочного раствора, при этом предполагается, что силы трения, возникающие между стеной и плитой перекрытия, играют роль анкерных связей. Однако, как показывают исследования [6], даже незначительный прогиб перекрытия приводит к раскрытию шва между перекрытием и кладкой стены, а контакт сохраняется на участках равных примерно 1/100 длины стены. По этой причине нижнюю грань стены в конечно-элементной расчетной модели следует принимать как свободную.

Закрепление нижней грани стены к диску перекрытия может быть выполнено с помощью стальных анкерных связей, установленных в вертикальных швах кладки и цементно-песчаной стяжке пола (рис. 3, *а*), закрепленных к диску перекрытия стальных уголков или других закладных деталей, ограничивающих перемещение нижней грани кладки из плоскости (рис. 3, *б*) [4].

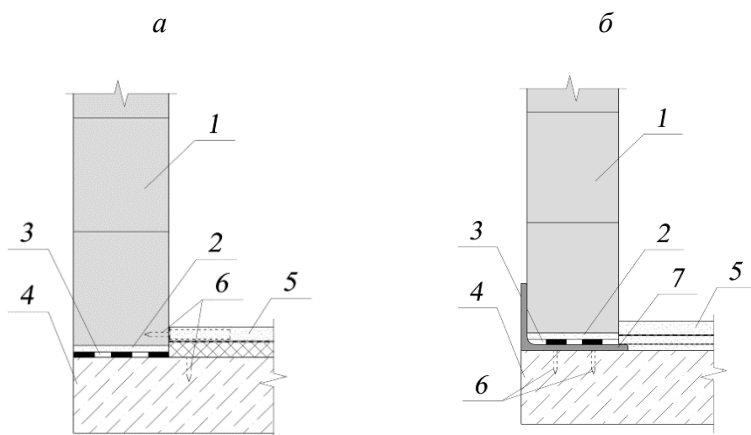


Рис. 3. Пример сопряжения наружной стены с нижним перекрытием:  
 1 – каменное заполнение; 2 – цементно-песчаный раствор 1:3 толщиной 10 мм;  
 3 – разделительный слой из полиэтиленовой пленки; 4 – железобетонное перекрытие;  
 5 – цементно-песчаная стяжка; 6 – анкерная связь; 7 – стальной уголок

На рис. 4 показаны палитры изгибающих моментов в стене высотой 2,8 м и длиной 6 м при трехстороннем опирании и расчетном значении ветрового воздействия 0,45 кН/м<sup>2</sup>. Такая величина ветрового воздействия согласно ТКП EN 1991-1-4 соответствует климатическому району г. Минска на уровне 30 м от поверхности земли.

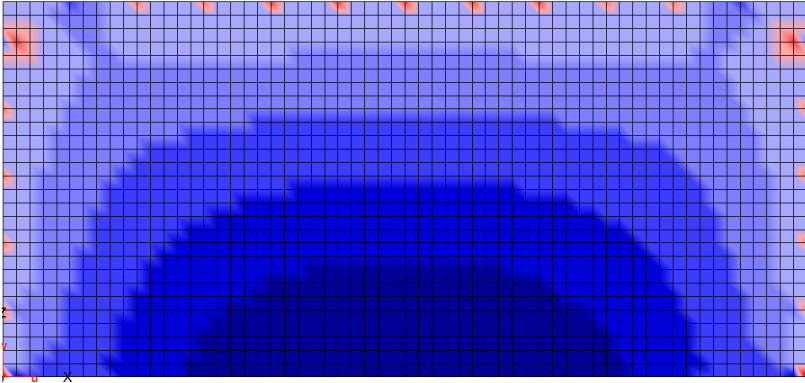
Перераспределив полученные значения изгибающих моментов по слоям кладки в соответствии с их изгибной жесткостью, получим следующие расчетные значения изгибающих моментов в облицовочном слое:

- по перевязанному сечению  $M_{1Ed,1} = 0,36$  кНм/м;
- по неперевязанному сечению  $M_{1Ed,2} = 0,30$  кНм/м.

Расчетные значения сопротивления облицовочного слоя ветровым воздействиям с учетом частного коэффициента свойств материала  $\gamma = 1,7$ :

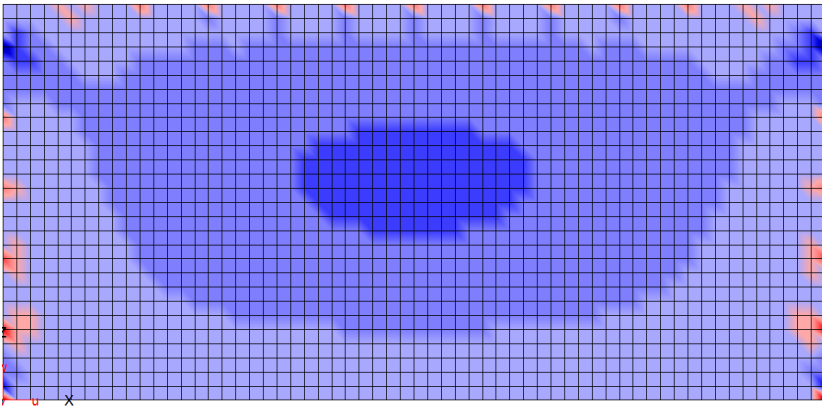
- по перевязанному сечению  $M_{1Rd,1} = 0,55$  кНм/м  $> M_{1Ed,1} = 0,36$  кНм/м;
- по неперевязанному сечению  $M_{1Rd,2} = 0,144$  кНм/м  $< M_{1Ed,2} = 0,30$  кНм/м.

*a*



$\min M_r = -459.334 \text{ Нм/м}$ ,  $\max M_r = 859.129 \text{ Нм/м}$

*б*



$\min M_s = -458.815 \text{ Нм/м}$ ,  $\max M_s = 767.022 \text{ Нм/м}$

Рис. 4. Расчетные значения изгибающих моментов в стене:  
*a* – по перевязанному сечению; *б* – по перевязанному сечению



Условие предельного состояния несущей способности облицовочного слоя по неперевязанному сечению (плоскость излома параллельна горизонтальным швам кладки) не выполняется. При этом, с позиции Еврокода 6, имеет место более, чем двукратная перегрузка облицовочного слоя. Ситуация усугубляется при наличии в стене дверных и оконных проемов, углы которых являются концентраторами напряжений, провоцирующими появление трещин

Если сопряжение основного слоя с каркасом выполняется по четырем сторонам, то значения изгибающих моментов по неперевязанному сечению в облицовочном слое стены снижаются примерно в два раза, по сравнению со случаем трехстороннего сопряжения. Тем не менее, при расположении стены на отметке выше +30 м, условие предельного состояния несущей способности облицовочного слоя не соблюдается.

В рассматриваемом случае для увеличения этажности здания, выше отметки +30 м многослойные стены следует проектировать с основным слоем, кладка которого имеет деформационные характеристики близкие с кладкой облицовочного слоя. Это могут быть кладки из керамических кладочных изделий, включая поризованные, а также крупноформатных силикатных или керамзитобетонных кладочных изделий. Для кладки облицовочного слоя рекомендуется применять заводские сухие растворные смеси, позволяющие получать прочные растворные швы с низким модулем деформаций [5]. Сопряжение основного слоя с каркасом здания следует выполнять по четырем сторонам.

Необходимо отметить, что в Еврокоде 6 приводятся рекомендуемые характеристические значения прочности каменных кладок. Так как каменные кладки возводятся из местных материалов, то в каждой конкретной стране должна быть сформирована база данных о прочностных и деформационных характеристиках применяемых кладок, которые устанавливаются экспериментально в соответствии со стандартами серии СТБ EN 1052 и приводятся в национальном приложении к Еврокоду 6. Экспериментальные данные, могут заметно, в большую или меньшую сторону, отличаться от рекомендуемых Еврокодом 6 прочностных характеристик каменных кладок, что соответствующим образом отразится на расчетных значениях сопротивлений ветровым воздействиям многослойных стен с облицовкой. В настоящее время такие исследования ведутся в филиале

РУП «БелНИИС»-НТЦ. Необходимо наладить производство вспомогательных изделий для каменной кладки в соответствии со стандартами серии СТБ EN 845, установив их прочностные и деформационные характеристики согласно стандартам серии СТБ EN 846, а также разработать эффективные способы армирования каменной кладки, в том числе с применением композитной арматуры.

На основе проведенных исследований должен быть разработан научно обоснованный национальный технический регламент по проектированию многослойных стен с облицовочным слоем.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения с наружными стенами из облегченной кладки/М. К. Ищук // М.: РИФ «Стройматериалы». – 2009. – 360 с.
2. Ищук, М. К. Экспериментальные исследования прочности и деформаций внутреннего слоя наружной стены на изгиб из плоскости/М. К. Ищук, О. К. Гогуга, В.Г. Граник // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 3. – С. 43– 45.
3. Деркач, В.Н. Деформационные характеристики каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния / В.Н. Деркач // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2012. – № 2 (40). – С. 3–11.
4. Деркач, В. Н. Сопряжение каменного заполнения каркасных зданий с конструкциями каркаса/В.Н. Деркач // Архитектура и строительство. – №1. – 2015. – С. 14–16.
5. Деркач, В. Н. Требования к механическим характеристикам кладочного раствора облицовочного слоя многослойных поэтажно опертых стен / В. Н. Деркач, И. Е. Демчук, О. Г. Царук // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 7. – С. 31–40.