

Деркач Валерий Николаевич, канд. техн. наук, заместитель директора, Филиал РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр, г. Брест (Беларусь)

Valery Derkach, PhD in Engineering Science, deputy director, Branch office of “Institute BelNIIS”, RUE – Scientific-Technical Center, Brest (Belarus)

МНОГОСЛОЙНЫЕ СТЕНЫ С ОБЛИЦОВКОЙ ИЗ КИРПИЧА ПРИ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ С ПОЗИЦИЙ ЕВРОКОДА 6

MULTILAYER WALLS WITH BRICK WALL FACING UNDER WIND ACTIONS. ANALYSIS OF ULTIMATE LIMIT STATE OF CARRYING CAPACITY ACCORDING TO EUROCODE 6

АННОТАЦИЯ

С позиций Еврокода 6 выполнен анализ предельного состояния несущей способности поэтажно оперттой многослойной стены с облицовкой из кирпича и основным слоем из ячеистобетонных блоков при ветровых воздействиях. Выявлено влияние способа сопряжения основного слоя с конструкциями каркаса и соотношения деформационных характеристик кладок основного и облицовочного слоев на наступление предельного состояния многослойной стены. Показано, что при ветровых воздействиях предельное состояние многослойной стены с облицовкой из кирпича толщиной 0,12 м и внутренним слоем из ячеистобетонных блоков толщиной 0,3 м определяется сопротивлением облицовочного слоя изгибу. При этом для климатического района г. Минска при расположении стены на отметке выше +30 м условие предельного состояния несущей способности облицовочного слоя не соблюдается. В данном случае, для увеличения этажности здания, выше отметки +30 м многослойные стены рекомендуется 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 из крупноформатных силикатных или керамзитобетонных кладочных изделий. Указано на необходимость проведения комплексных экспериментальных исследований прочностных и деформационных характеристик каменных кладок, а также вспомогательных изделий (анкерных связей, опорных кронштейнов, арматурных изделий), применяемых в отечественной строительной практике

при возведении многослойных стен с облицовочным слоем. Сформулированы предложения по разработке научно-обоснованного технического регламента, устанавливающего требования к проектированию поэтажно опертых многослойных стен с облицовочным слоем из кирпича.

ABSTRACT

The analysis of ultimate limit state of carrying capacity of floor supported multilayer walls with brick facing and main layer of cellular concrete blocks under the wind actions according to Eurocode 6 has been realized. The influence of the method of coupling of the base layer with the constructions of frame and the ratio of deformation characteristics of base layer masonry and facing layer masonry on the occurrence of the ultimate limit state in a multilayer wall has been detected. It is shown that the limit state of a multilayer wall with brick facing in 0,12 m thickness and inner base layer of cellular concrete blocks in 0,3m thickness, is determined by the bending resistance of facing layer under the wind actions. Thus for the climatic region of Minsk for a wall arrangement on an altitude mark above +30 m, the condition of a limit state of a load-carrying capacity of a facing layer is not observed. In this case in order to increase the number of storeys of buildings, above the altitude mark of +30 m it is recommended to project multilayer walls with a basic layer having deformation characteristics similar to the characteristics of masonry of a face layer. It is possible for masonry from ceramic masonry units, including porous bricks, and also large-size silicate or claydite-concrete masonry units. The article indicates the need for a complex experimental research of strength and deformation characteristics of masonry, as well as auxiliary items (anchor ties, support brackets, reinforcement), used in the national construction practice in the walling of multilayer walls with facing layer. The proposals for the development of science-based technical regulations establishing requirements for the design of floor supported multilayered walls with brick facing layer have been presented.

Ключевые слова: каркасные здания, многослойная стена, облицовочный слой, основной слой, расчетные модели, предельное состояние несущей способности

Keywords: frame buildings, multilayer wall, facing layer, base layer, numerical models, ultimate limit state of carrying capacity

При строительстве зданий с монолитным железобетонным каркасом широкое распространение получила технология, по которой поэтажно опертое стеновое ограждение выполняется в виде многослойной кладки с облицовкой из кирпича. Облицовочный слой многослойных стен крепится к основному слою с помощью гибких анкерных связей. Между

основным и облицовочным слоями кладки располагается воздушный зазор и слой эффективной теплоизоляции.

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 способом 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. Примеры конструктивных решений сопряжения каменного заполнения с каркасом приведены в работе [1].

Следует отметить, что в отечественной практике строительства сопряжение стен с каркасом с помощью анкерных связей чаще всего осуществляется по двум вертикальным граням или трем граням (двум вертикальным и верхней горизонтальной). 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 [2], даже незначительный прогиб перекрытия приводит к раскрытию шва между каменной кладкой и перекрытием, а контакт сохраняется на участках, равных примерно $1/100$ длины стены. По этой причине нижнюю грань стены при отсутствии анкерных связей следует рассматривать как свободную.

Экспериментальные исследования [3] показывают, что от качества монтажа и податливости узлов крепления стены к каркасу зависит расчетная схема поэтажно опертых стен, поэтому контролю качества узлов сопряжения основного слоя многослойной стены с конструкциями каркаса должны предъявляться повышенные требования.

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.

Расчетные значения изгибающих моментов в многослойной стене допускается определять упрощенным методом, рассматривая стену как пластину, опертую по трем или четырем сторонам, изгибающие моменты в которой определяются с помощью таблиц. Эффективную толщину стены с воздушным зазором t_{ef} рассчитывают по формуле:

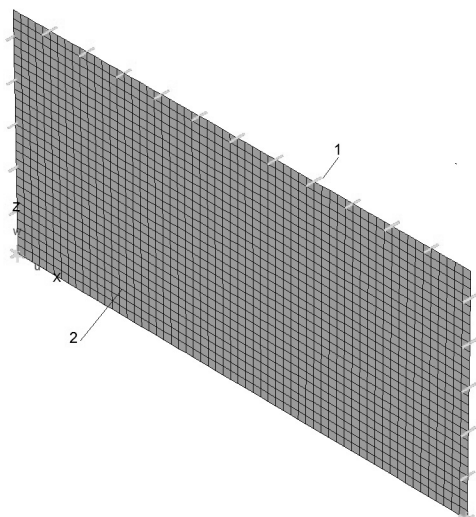
$$t_{ef} = \sqrt[3]{k_{lef} t_1^3 + t_2^3},$$

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_{lef} — коэффициент, равный частному при делении различных модулей упругости слоев t_1 и t_2 , но не более 2.

Если t_{ef} превышает 250 мм, в стене имеются проемы и ее форма отличается от прямоугольной, расчет стены рекомендуется выполнять методом конечных элементов (МКЭ) или методом предельного равновесия с учетом анизотропии механических характеристик каменной кладки. Следует отметить, что исследования, выполненные в Филиале РУП «Институт БелНИИС» — НТЦ [4], показали, что каменная кладка относится к материалам со слабо выраженной анизотропией деформационных характеристик, которую при расчете усилий и напряжений в кладке допускается не учитывать.

В расчетной модели многослойной стены, основанной на МКЭ, каменная кладка моделируется пластинчатыми конечными элементами (КЭ) с приведенной изгибной жесткостью (рис. 1). Опорные закрепления располагаются в местах установки связевых элементов. Когда основной слой многослойной стены соединен со стенами, загруженными вертикальной нагрузкой, то опору допускается рассматривать как сплошную. Если опирание основного слоя осуществляется только по верхней и нижней граням, или его длина в два раза превышает высоту, то при статическом расчете основной слой можно рассматривать как однопролетную шарнирно опертую балку.



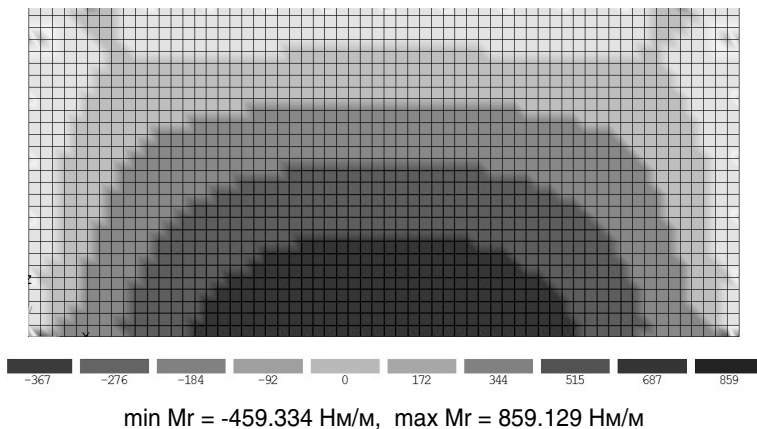
1 – узловые опоры,
2 – сетка конечных элементов

Рисунок 1. Конечно-элементная модель стены, опертой по трем сторонам, при ветровых воздействиях перпендикулярно плоскости стены

Облицовочный слой многослойной стены обычно возводится из высокомарочного кирпича на прочном кладочном растворе. Кратковременный модуль упругости таких кладок $E_1=10000-12000$ 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 500кг/м^3 прочностью при сжатии $B\ 1,5-2,0$ 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 4 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 при ветровом воздействии наступление предельного состояния несущей способности многослойной стены, основной слой которой выполнен из ячеистобетонных кладочных изделий, определяется сопротивлением облицовочного слоя изгибу.

а)



б)

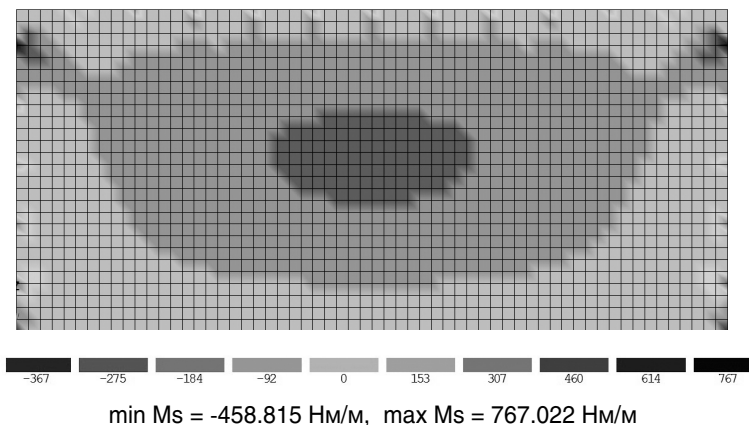


Рисунок 2. Расчетные значения изгибающих моментов в стене:
а) по перевязанному сечению, б) по неперевязанному сечению

На рисунке 2 показаны палитры изгибающих моментов в сплошной стене высотой 2,8 м и длиной 6 м при трехстороннем ее сопряжении

с каркасом и расчетном значении ветрового воздействия $0,45 \text{ кН/м}^2$. Такая величина ветрового воздействия согласно ТКП EN 1991-1-4-2009 соответствует климатическому району г. Минска на уровне 30 м от поверхности земли.

Распределив 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 $M_{1Ed,1}=0,36 \text{ кНм/м}$;
- по непереязанному сечению $M_{1Ed,2}=0,30 \text{ кНм/м}$.

Расчетные значения сопротивления облицовочного слоя изгибу с учетом частного коэффициента свойств материала $\gamma_M=1,7$:

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

Условие предельного состояния несущей способности облицовочного слоя по непереязанному сечению (плоскость излома параллельна горизонтальным швам кладки) не выполняется. При этом, с позиции Еврокода 6, имеет место более чем двукратная перегрузка облицовочного слоя. Очевидно, что при двухстороннем сопряжении стены степень перегрузки облицовочного слоя будет еще выше.

Если сопряжение основного слоя с каркасом выполняется по четырем сторонам, то значения изгибающих моментов по непереязанному 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. Это в определенной степени объясняет высокую дефектность кирпичных облицовок многослойных стен, которая имеет место при эксплуатации современных каркасных зданий [5-7].

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. 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 EN 1052 и приводятся в национальном приложении к Еврокоду 6. Приведенные в национальном приложении 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. Кроме этого, в соответствии со стандартами серии EN 846, требуется определить прочностные и деформационные характеристики анкерных связей, применяемых при возведении многослойного стенового ограждения. На основе проведенных исследований должен быть разработан научно обоснованный национальный технический регламент по проектированию многослойных стен с облицовочным слоем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Деркач, В.Н. Сопряжение каменного заполнения каркасных зданий с конструкциями каркаса / В.Н. Деркач // Архитектура и строительство. — № 1. — 2015. — С.14 — 16.
2. Деркач, В.Н. Исследования напряженно-деформированного состояния каменных перегородок при прогибе перекрытия / В.Н.Деркач // Промышленное и гражданское строительство. — № 6. — 2013. — С. 62 — 66.
3. Ишук, М.К. Экспериментальные исследования прочности и деформаций внутреннего слоя наружной стены на изгиб из плоскости / М.К. Ишук, О.К. Гогуа, В.Г. Граник // Промышленное и гражданское строительство. — 2012. — № 3. — С. 43 — 45.
4. Деркач, В.Н. Деформационные характеристики каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния / В.Н. Деркач // Строительство и реконструкция. — Орел: Государственный университет — УНПК. — 2012. № 2 (40). — С. 3 — 11.
5. Ишук, М.К. Отечественный опыт возведения с наружными стенами из облегченной кладки /М.К. Ишук. — М.: РИФ «Стройматериалы», 2009.—360 с.

6. Лобов, О. И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий / О. И. Лобов, А. И. Ананьев // Жилищное строительство. – 2008. – №8. – С. 48-52.
7. Орлович, Р.Б. О работе облицовочного каменного слоя при силовых воздействиях / Р.Б. Орлович, С.С. Зимин, А.С. Сазонов // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2014. – №1(51). – С. 29-34.

REFERENCES

1. Derkach V.N. *Architecture and Construction*. 2015. No 1. pp. 14-16. (rus)
2. Derkach V.N. *Industrial and civil construction*. 2013. No 6. pp. 62-66. (rus)
3. Ishchuk M.K., Gogua O.K., Granik V.G. *Industrial and civil construction*. 2012. No 3. pp. 43-45. (rus)
4. Derkach V.N. *Construction and reconstruction*. 2012. No 2 (40). pp. 3-11. (rus)
5. Ishchuk M.K. *Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoy kladki* [Domestic experience of erecting of buildings with outside walls made of lightweight masonry] Moscow: RIF «Stroymaterialy». – 2009. – 360 p. (rus)
6. Lobov O. I., Ananyev A.I. *Housing Construction*. 2008. No 8. pp. 48-52. (rus)
7. Orlovich R.B., Zimin S.S., Sazonov A.S. *Construction and reconstruction*. 2014. No 1 (51). pp. 29-34. (rus)

Статья поступила в редколлегию 03.11.2015