

А.Н. МАЛАХОВА¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ НАРУЖНЫХ КИРПИЧНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

Аннотация. Для зданий исторической застройки городов, а также архитектурных доминантов городских и сельских поселений архитектурная привлекательность зданий часто создается путем возведения наружных несущих кирпичных стен, в том числе – многослойных, а также ненесущих наружных стен с отделочным слоем из лицевого кирпича. При проектировании ограждающих конструкций зданий, а также в процессе исследования и оценки технического состояния ограждающих конструкций построенных зданий возникает необходимость расчета (оценки) несущей способности наружных стен, необходимость оценки их долговечности. Объектом исследования является несущая способность и долговечность наружных стен зданий.

Выполнен обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы. Он показал, что подавляющее большинство научных публикаций касаются выбора конструктивных решений стен, назначения и использования новых строительных технологий и материалов, их технических характеристик, а также оценки энергоэффективности предлагаемых конструктивных решений наружных стен.

Приведены примеры дефектов наружного слоя многослойных несущих стен кирпичных зданий и рекомендации по обеспечению долговечности лицевого слоя кирпичной стены. Рассмотрены требования действующих строительных норм по расчету несущей способности многослойных кирпичных стен. Приведен пример расчета внецентренно сжатой многослойной кирпичной стены с приведенным (эквивалентным) расчетным двутавровым сечением. С целью упрощения расчета несущей способности для определения геометрических характеристик расчетного двутаврового сечения предложено использовать компьютерные программы. В частности, при кратковременном приложении нагрузок для определения напряжений и анализа напряженного состояния расчетного двутаврового сечения стены приведен пример использования программы конструктор сечений ПК ЛИРА-САПР. Показана необходимость рассмотрения распределения напряжений по сечению при кратковременном и длительном нагружении при проектировании многослойных кирпичных стен.

Ключевые слова: несущая способность наружных кирпичных стен зданий, долговечность наружных кирпичных стен, конструктивные решения наружных кирпичных стен, геометрические характеристики расчетного двутаврового сечения стены.

A.N. MALAKHOVA¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

BEARING CAPACITY AND DURABILITY OF EXTERNAL BRICK WALLS OF BUILDINGS

Abstract. For buildings of historical development of cities, as well as architectural dominants of urban and rural settlements, the architectural attractiveness of buildings is often created by erecting external load-bearing brick walls, including multilayer ones, as well as curtain external walls with a finishing layer of facing bricks. When designing building envelopes, as well as in the process of researching and assessing the technical condition of building envelopes, it becomes necessary to calculate (assess) the bearing capacity of external walls, to assess their durability. The object of research is the bearing capacity and durability of the outer walls of buildings.

A review of domestic and foreign scientific and technical literature has been carried out. He

showed that the overwhelming majority of scientific publications concern the choice of constructive solutions for walls, the purpose and use of new building technologies and materials, their technical characteristics, as well as the assessment of the energy efficiency of the proposed constructive solutions for external walls.

Examples of defects in the outer layer of multilayer bearing walls of brick buildings and recommendations for ensuring the durability of the front layer of a brick wall are given. The requirements of the current building codes for calculating the bearing capacity of multilayer brick walls are considered. An example of calculating an eccentrically compressed multilayer brick wall with equivalent calculated cross-section is given. In order to simplify the calculation of the bearing capacity, it is proposed to use computer programs to determine the geometric characteristics of the equivalent calculated cross-section. In particular, for a short-term application of loads to determine the stresses and analyze the stress state of the equivalent calculated cross-section of the wall, an example of using the program, the constructor of sections PK LIRA-SAPR, is given. It is shown that it is necessary to consider the distribution of stresses over the section under short-term and long-term loading in the design of multilayer brick walls.

Keywords: bearing capacity of external brick walls of buildings, durability of external brick walls, constructive solutions of external brick walls, geometric characteristics of the calculated double-T shape cross-section of the wall.

Введение

С ужесточением требований к теплозащитным характеристикам ограждающих конструкций зданий в девяностые годы прошлого столетия меняется конструктивное решение наружных стен. В каркасных зданиях монолитной конструктивной системы стали применяться ненесущие многослойные наружные стены, поэтажно устанавливаемые на перекрытия зданий.

Следует отметить, что для зданий исторической застройки городов, а также архитектурных доминантов городских и сельских поселений архитектурная привлекательность зданий часто создается путем возведения наружных несущих кирпичных стен, в том числе – многослойных, а также ненесущих наружных стен с отделочным слоем из лицевого кирпича.

В ходе проектирования ограждающих конструкций зданий, а также в процессе исследования и оценки технического состояния ограждающих конструкций построенных зданий специалисты сталкиваются с необходимостью расчета (оценки) несущей способности наружных стен, необходимостью оценки их долговечности.

Обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы, рассматривающей конструктивные решения несущих наружных стен зданий, их расчет и оценку несущей способности и долговечности показывает, что подавляющее большинство научных публикаций касаются выбора конструктивных решений стен, назначения и использования новых строительных технологий и материалов, их технических характеристик, а также оценки энергоэффективности предлагаемых конструктивных решений наружных стен.

Так, в [1, 4] описаны, систематизированы и сопоставлены различные варианты многослойных наружных стен. Материалы, изложенные в этих работах, продолжают оставаться актуальными, хотя описывают опыт проектирования многослойных наружных стен почти двадцатилетней давности. Новые конструктивные решения многослойных наружных стен рассмотрены в [19, 20, 33]. В этих работах дана характеристика современным ограждающим многослойным стеновым конструкциям, рассмотрены их преимущества и недостатки, приведены основные требования, предъявляемые строительными нормами к термическому сопротивлению конструкций, их прочности, долговечности и огнестойкости.

Многие современные исследования многослойных наружных стен направлены на оценку влияния природных воздействий на долговечность многослойных стен зданий [8, 9, 13, 18, 23, 24, 25, 27, 28, 29], что особенно важно как для ненесущих наружных стен с лицевым кирпичным слоем, так и для несущих многослойных кирпичных стен.

Обследования технического состояния кирпичных стен, вызванные наличием дефектов их наружных поверхностей, показали, что эти дефекты могут быть весьма существенными. На рисунке 1 показана наружная поверхность кирпичной кладки многослойной стены с отделочным слоем из лицевого кирпича толщиной 120 мм, нарушенным в результате его увлажнения и последующего температурного воздействия.



Рисунок 1 - Дефекты наружного слоя кирпичной кладки

В соответствии с рекомендациями СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции [3] марка по морозостойкости стеновой конструкции должна зависеть от предполагаемого срока службы и конструктивного решения стены. Для наружных трехслойных стен с эффективным утеплителем и лицевым слоем кладки толщиной 120 мм марка по морозостойкости должна назначаться: при сроке службы 50 лет – F25, при сроке службы 100 лет – F50. Кладочный материал лицевого слоя многослойной стены, толщина которого составляет 120 мм, в течение зимы чаще, чем материал сплошной кирпичной стены подвергается замораживанию-оттаиванию из-за наличия в многослойной стене утеплителя, расположенного непосредственно за лицевым слоем.

Разрушительное действие замораживания кирпичной кладки происходит на фоне ее увлажнения, для предотвращения которого в СП 15.13330.2020 [3] имеются следующие рекомендации:

- в кладке из пустотелого кирпича заглубленные растворные швы не допускаются, а марка по прочности на сжатие для кладочных растворов должна приниматься не ниже М75-М100;
- для лицевого слоя толщиной 120 мм включительно допускается применение пустотелого кирпича только с утолщенной наружной стенкой (не менее 20 мм);

Лицевой слой многослойной стены призван защитить следующий за ним теплоизоляционный слой от увлажнения, которое приводит к снижению теплозащитных характеристик утеплителя. В настоящее время все чаще для лицевого слоя применяется клинкерный кирпич с высокой прочностью и низким водопоглощением, изготавливаемый по ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические требования.

На рисунке 1 видно довольно небрежное выполнение кладки, утопленные растворные швы, шелушение наружной поверхности стены. Дефекты многослойной кирпичной кладки и причины их вызывающие, рассмотрены в [5, 6, 17].

Применение для многослойных наружных стен новых эффективных строительных технологий и материалов, направленных на улучшение эксплуатационных характеристик стен зданий, рассмотрено в [12, 21, 22, 28,]. Повышение энергоэффективности многослойных наружных стен изложено в [2, 10, 11, 14, 15, 26, 29].

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки, ее прочности; методы и результаты определения технического состояния ограждающих конструкций; рекомендации по усилению каменных конструкций приведены в [16, 20, 30, 31, 32].

Следует отметить, что расчет несущей способности кирпичных стен, в том числе многослойных, выполняется в соответствии с рекомендациями, изложенными в

СП 15.13330 [3]. Остаются полезными рекомендации, изложенные в Пособии по проектированию каменных и армокаменных конструкций к СНиП II-22-81 [7].

Выполнение прочностных расчетов многослойных наружных кирпичных стен сопряжено с формированием приведенного расчетного сечения, в котором прочностные характеристики кладки различных слоев приводятся к прочности кирпичной кладки несущего слоя стены с учетом степени влияния других слоев на обеспечение ее несущей способности.

В ходе выполнения расчетов многослойных кирпичных стен необходимо определение геометрических характеристик как всего расчетного сечения, так и его сжатой зоны, которая и сама определяется из условия равенства статических моментов частей сжатой зоны приведенного расчетного сечения относительно оси приложения вертикального усилия N в расчетном поперечном сечении многослойной кирпичной стены.

Расчетное сечение может иметь тавровую и двутавровую форму. Так как для конструктивных решений наружных несущих стен кирпичных зданий прежних лет (в том числе для кирпичных стен с наружным слоем из облицовочного кирпича), рассматривалась только тавровая форма приведенного расчетного сечения, то в [7, приложение 5] были предусмотрены графики для определения положения центра тяжести и моментов инерции приведенного таврового сечения, а в [7, приложение 6] были приведены формулы для определения высоты сжатой зоны расчетного таврового сечения.

При прочностных расчетах многослойных несущих стен современных зданий актуально использование не только таврового, но и двутаврового приведенного расчетного сечения. В статье автором предлагается выполнение расчета на внецентренное сжатие кирпичной стены с двутавровым расчетным сечением с использованием компьютерных программ, а также приводится такой расчет с исследованием распределения напряжений в сечении.

Модели и методы

На рисунке 2 представлен внешний вид современного здания школы (а) и конструктивное решение многослойных наружных несущих кирпичных стен, примененное при проектировании школьного здания (б).

а)



б)

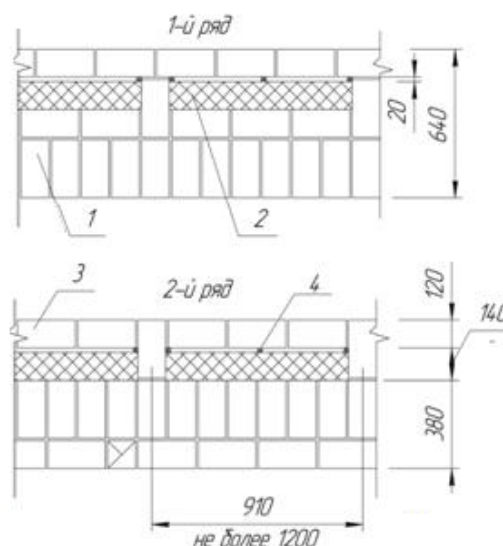


Рисунок 2 - Вид фасада школы (а); конструктивное решение наружных несущих кирпичных стен здания (б):
1 – несущая часть стены, 2 – плитный утеплитель, 3 – облицовочный слой, 4 – фиксаторы плит утеплителя в проектное положение

Для многослойной кирпичной стены школьного здания применена колодезная кладка. В образованные при выполнении колодезной кладки полости укладывается плитный

утеплитель. Внутренний несущий слой многослойной стены выполнен из керамического пустотелого кирпича пластического прессования (условное обозначение КР-р-пу250×120×65/1НФ/125/25/ГОСТ530-2012).

Наружный облицовочный слой и диафрагма колодезной кладки стены выполнены из лицевого пустотелого керамического кирпича пластического прессования (условное обозначение КР-кл-пу250×120×65/1НФ/100/25/ГОСТ530-2012). Кирпичная кладка из пустотелого кирпича выполнена на строительном растворе М100 с подвижностью Пк2 по ГОСТ 28013-98.

Оценка несущей способности многослойных несущих стен выполняется в соответствии с рекомендациями СП 15.13330.2020 [6] и связана с формированием расчетного сечения и определением геометрических характеристик, как всего расчетного сечения, так и его сжатой части.

На рисунке 3 представлены двутавровое геометрическое и расчетное приведенное поперечное сечение рассматриваемого участка наружной стены шириной $b=910$ мм, конструктивное решение которой приведено на рисунке 2.

Возможное изменение размеров рассматриваемого участка стены при формировании расчетного приведенного сечения из геометрического определяется необходимостью учета различных прочностных характеристик R , а также коэффициентов использования m облицовочного, несущего слоев и диафрагмы кирпичной кладки.

Приведенная ширина b_{red} облицовочного слоя и диафрагмы расчетного сечения определяется в соответствии с [7] при фактической ширине, соответственно $b=910$ мм и $b=120$ мм, по формуле:

$$b_{red} = b \frac{m_i R_i}{m R} = 910 \cdot \frac{1 \cdot 1.8}{0.9 \cdot 2} = 910 \text{ мм}, \quad b_{red} = b \frac{m_i R_i}{m R} = 120 \cdot \frac{1 \cdot 1.8}{0.9 \cdot 2} = 120 \text{ мм}$$

Результаты вычисления показывают, что для рассматриваемого сечения размеры геометрического и расчетного сечения совпадают.

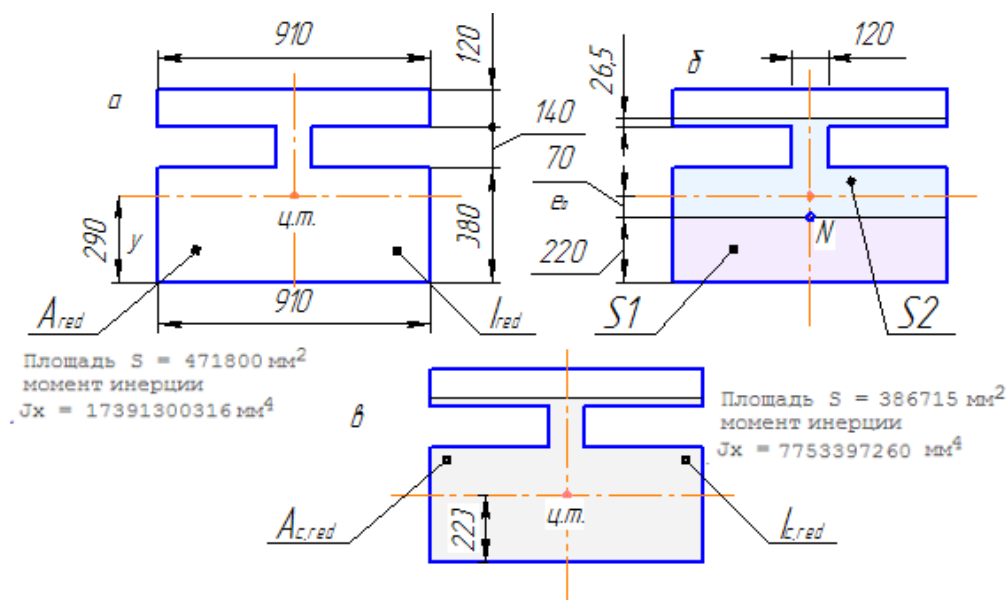


Рисунок 3 - Геометрические размеры расчетного приведенного сечения и положение центра тяжести (а); расположение оси приложения вертикального усилия N с геометрическими размерами двух составных частей сжатой площади приведенного сечения (б); общая площадь сжатой части расчетного сечения (в)

Приведенная площадь расчетного сечения A_{red} вычисляется через составные части сечения – площадь наружного слоя $A_{red,нс}$, площадь внутреннего слоя $A_{red,нс}$, площадь диафрагмы $A_{red,\delta}$ – по формуле:

$$A_{red} = A_{\text{ст}} + A_{red,uc} + A_{red,d} = 0,346 + 0,109 + 0,017 = 0,472 \text{ м}^2$$

В поперечном сечении рассматриваемого участка стены действуют продольное усилие $N=300$ кН и изгибающий момент $M=21$ кНм. Эксцентриситет приложения усилий $e_0=M/N=21/300=0,07$ м.

Для выполнения расчета несущей способности поперечного сечения участка кирпичной стены необходимо определить геометрические характеристики всего приведенного сечения стены A_{red} и I_{red} , а также его сжатой части $A_{c,red}$ и $I_{c,red}$.

Следует отметить, что современные графические редакторы, например КОМПАС, позволяют для начерченных сечений определять положение центра тяжести и численные значения геометрических характеристик всего сечения и его сжатой части, что упрощает определение несущей способности внецентренно сжатой стены при двутавровом приведенном расчетном сечении. Положение центра тяжести и геометрические характеристики сечений могут быть также определены с использованием программы *конструктор сечения* ПК ЛИРА-САПР.

В соответствии с рекомендациями СП 15.13330.2020 [7] для определения сжатой зоны расчетного приведенного сечения сначала устанавливается расположение оси приложения вертикального усилия N (рисунок 3,б), которая смещена от оси, проходящей через центр тяжести расчетного приведенного сечения, к внутренней грани стены на величину эксцентриситета приложения усилия N ($e_0=M/N=21/300=0,07$ м=70 мм).

Площадь между осью приложения вертикального усилия N и нижней гранью сечения со статическим моментом S_1 является одной частью сжатой зоны расчетного сечения. Другая составляющая сжатой зоны расчетного приведенного сечения определяется из условия равенства статических моментов двух частей сечения $S_1=S_2$ (см. рисунок 3,б).

При этом эпюра вертикальных напряжений по сжатой зоне расчетного сечения принимается прямоугольной ($R=2,0$ МПа). После формирования сжатой зоны расчетного приведенного сечения (рисунок 3,в) графически определяются $A_{c,red} = 0,387 \text{ м}^2$ и $I_{c,red} = 0,00775 \text{ м}^4$.

Табличный коэффициент продольного изгиба φ многослойной внецентренно сжатой стены определяется как среднее значение для коэффициентов продольного изгиба всего сечения φ_{red} и сжатой зоны сечения $\varphi_{c,red}$.

Условие прочности по СП 15.13330.2020 [3] для внецентренно сжатой стены выполняется, если продольное сжимающее усилие в стене не превосходит ее несущую способность $N \leq m_g \varphi_1 R A_c \omega$.

При высоте этажа $H=3,6$ м, расчетной высоте стены $l_0=H=3,6$ м, при упругой характеристике кирпичной кладки из пустотелого кирпича пластического прессования для марки раствора М100 $\alpha=1000$, при следующих геометрических характеристиках всего сечения $A_{red} = 0,4718 \text{ м}^2$, $I_{red} = 0,01739 \text{ м}^4$, а для его сжатой части $A_{c,red} = 0,387 \text{ м}^2$, $I_{c,red} = 0,00775 \text{ м}^4$:

-радиусы инерции для всего сечения и его сжатой части –

$$i_{red} = \sqrt{\frac{I_{red}}{A_{red}}} = \sqrt{\frac{0,01739}{0,4718}} = 0,19 \text{ м}; \quad i_{red} = \sqrt{\frac{I_{c,red}}{A_{c,red}}} = \sqrt{\frac{0,00775}{0,387}} = 0,14 \text{ м};$$

-гибкость стены для всего сечения и его сжатой части –

$$\lambda_{red} = \frac{l_0}{i} = \frac{3,6}{0,19} = 18,9; \quad \lambda_{c,red} = \frac{l_0}{i} = \frac{3,6}{0,14} = 25,7;$$

- табличные коэффициенты продольного изгиба $\varphi_{red} = 0,986$; $\varphi_{c,red} = 0,96$;

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{red} + \varphi_{c,red}}{2} = \frac{0,986 + 0,96}{2} = 0,973;$$

-коэффициент $m_g=1$ при $\lambda > 8,7$;

-коэффициент ω для сечения произвольной формы при $y=0,29$ м и $e_0=0,07$ м –

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{2y} = 1 + \frac{0,07}{2 \cdot 0,29} = 1,12$$

Условие прочности внецентренно сжатого элемента выполняется – $N \leq m_g \varphi_1 R A_c \omega$.
 $300 \text{ кН} < 1 \cdot 0,973 \cdot 2000 \cdot 0,387 \cdot 1,12 = 843,5 \text{ кН}$. При этом нормальные напряжения для сжатой зоны приведенного расчетного сечения при условии обеспечения несущей способности внецентренно сжатого элемента должны составлять:

$$\sigma = \frac{N}{m_g \varphi_1 A_c \omega} = \frac{300}{1 \cdot 0,973 \cdot 0,387 \cdot 1,12} = \frac{300}{0,42} = 714,3 \text{ кН} / \text{м}^2$$

Результаты исследования и их анализ

Расчет внецентренно сжатой многослойной кирпичной стены, приведенным расчетным сечением которой является двутавровое сечение, сопряжен с довольно трудоемкими вычислениями геометрических характеристик как всего расчетного сечения, так и его сжатой части.

Для определения положения центра тяжести и геометрических характеристик сечений предлагается использовать графический редактор КОМПАС и программу *конструктор сечения* ПК ЛИРА-САПР. Программа *конструктор сечения* также позволяет получить картины распределения и величины вертикальных напряжений по расчетному сечению кирпичной кладки с двутавровым поперечным сечением.

На рисунке 4,а показана картина распределения напряжений по приведенному расчетному сечению рассматриваемого внецентренно сжатого элемента ($N=300$ кН, $M=21$ кНм) при упругой работе материала.

На рисунке 4,б приведена эпюра напряжений по разрезу 1-1 приведенного расчетного сечения при упругой работе материала кладки (поз.1). Эпюра нормальных сжимающих напряжений - трапецевидная с максимальным значением $\sigma=985,46$ кН/м² и минимальным значением $\sigma=212,66$ кН/м².

Для сравнения на рисунке 4,б приведена эпюра распределения нормальных сжимающих напряжений, полученная при расчете внецентренно сжатого элемента с двутавровым поперечным сечением по СП 15.13330.2020. Эпюра нормальных сжимающих напряжений - прямоугольная с равномерным распределением напряжений $\sigma=714,3$ кН/м² по установленной расчетом сжатой зоне сечения. Такое распределение напряжений учитывает пластические деформации кирпичной кладки в условиях длительного действия нагрузок на стену.

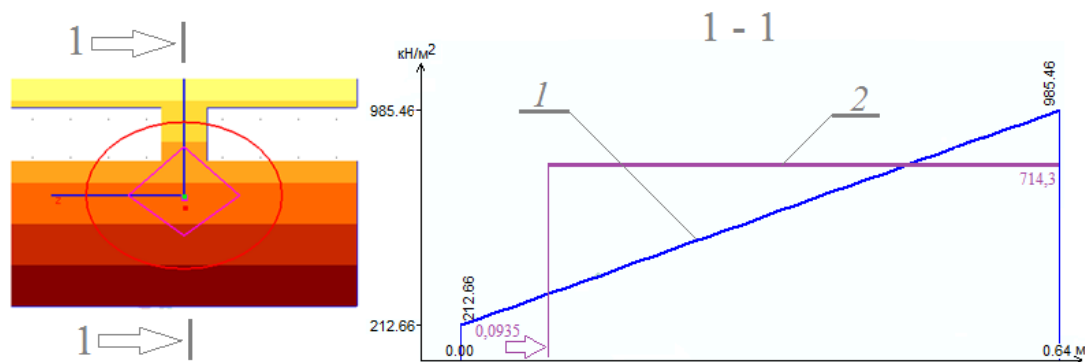


Рисунок 4 - Распределение напряжений в расчетном сечении внецентренно сжатой стены (а); то же по разрезу 1-1 (б): 1 - при расчете в программе конструктор сечений ПК ЛИРА-САПР, 2 - при расчете по СП 15.13330.2020

В [7] отмечается, что для многослойных конструкций наиболее напряженный при кратковременном нагружении слой может с течением времени разгружаться, а менее нагруженный нагружаться, поэтому рассмотрение обоих вариантов распределения

напряжений для приведенного расчетного сечения выглядит вполне уместно с учетом возможности различного нагружения конструкции.

Кроме того, с использованием программы *конструктор сечения* ПК ЛИРА-САПР [34] довольно просто получать и оценивать распределение и численные значения напряжений для рассматриваемого сечения, а сравнивая полученные значения напряжений с прочностными характеристиками кладки, делать вывод о несущей способности многослойной внецентренно сжатой стены, что может быть востребовано на начальных этапах проектирования при назначении оптимальных конструктивных параметров несущих элементов зданий.

Выводы

1. С целью упрощения расчета несущей способности внецентренно сжатой стены с приведенным расчетным двутавровым сечением для определения геометрических характеристик расчетного двутаврового сечения автором предлагается использовать компьютерные программы.
2. При кратковременном приложении нагрузок для определения напряжений и анализа напряженного состояния расчетного двутаврового сечения стены приведен пример использования программы *конструктор сечений* ПК ЛИРА-САПР.
3. Выполнено сравнение распределения напряжений по сечению при кратковременном нагружении и длительном, учтенными при расчете в соответствии с СП 15.13330.2020. Показана необходимость рассмотрения этих двух расчетных случаев при проектировании многослойных кирпичных стен, выполненных с использованием колодезной кладки. По результатам сравнения полученных значений напряжений с прочностными характеристиками кладки можно делать вывод о несущей способности многослойной внецентренно сжатой стены, что может быть востребовано на начальных этапах проектирования при назначении оптимальных конструктивных параметров несущих элементов зданий.
4. Приведены дефекты наружного слоя многослойных несущих стен кирпичных зданий, который является составной частью расчетного приведенного сечения стены и участвует в обеспечении ее несущей способности. Даны рекомендации по обеспечению долговечности лицевого слоя кирпичной стены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гликин С.М. Современные ограждающие конструкции и энергоэффективность зданий. Москва: ГУП ЦПП, 2003. 157 с.
2. Vivanocos Jose-Luis. A new model based on experimental results for thermal charactarization of bricks. *Building and Environment*. 2009. 44. Pp. 1047-11052.
3. СП 15.13330.2020 (СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции).
4. Малахова А.Н. Конструктивные решения наружных стен кирпичных зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. №1. С.22-23.
5. Малахова А.Н. Дефекты наружных стен здания в многослойной кирпичной кладке // Вестник МГСУ. 2014. №10. С.87-94.
6. Малахова А.Н., Балакшин А.С. Дефекты наружных кирпичных стен зданий, достраиваемых после длительного перерыва // Вестник МГСУ. 2011. №8. С.140-145.
7. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). Москва: ВДПП Госстроя СССР, 1989. 154 с.
8. Умникова Н.П. Долговечность трехслойных стен с облицовкой из кирпича с высоким уровнем тепловой защиты // Вестник МГСУ. 2013. №1. С.91-100.
9. Ельчищева Т.Э., Ельчищева М.М. Влияние режима заморозков на долговечность наружных ограждающих конструкций в Центрально-Черноземном регионе // Жилищное строительство. 2012. №6. С.32-34.
10. Bashir M. Suleiman. Thermal Load Calculations of Multilayered Walls. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2012. Vol. 6. № 4. Pp. 627-631.

11. Yumrutas R, Unsa M., Kanog M. Periodic solution of transient heat flow throw through multilayer walls and flat roofs by complex finite Fourier transform technique. *Building and Environment*. 2005. 40 (3). Pp. 1117-1126.
12. Гликин С.М. Наружные стены и стены подвалов с теплоизоляцией из пеностекла марки «Неопарм» // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №7. С.35-38.
13. Лившиц Д.В., Пономарев О.И., Ломова Л.М. Повышение долговечности и совершенствование конструкций наружных кирпичных и каменных стен энергоэффективных зданий // Сейсмическое строительство. Безопасность сооружений. 2008. №6. С.42-44.
14. Малахова А.Н. Теплозащитная и несущая способность наружных стен малоэтажных зданий. // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2008. №1(108). С. 82-83.
15. Курицина А.М., Фозилов П.А. Восстановление и улучшение эксплуатационных характеристик наружных стен зданий // Молодая мысль: наука, технологии, инновации: Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. Братск 5. 2020. С.61-65.
16. Юшубе С.В., Подшивалов И.И., Филиппович А.А. Прочность кладки наружных стен из пустотелого керамического камня // Жилищное строительство. 2018. №1-2. С. 53-54.
17. Коновалов Д.И., Новосельцева Е.Л. Основные дефекты трехслойных кирпичных стен с облицовочным слоем из кирпича // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017): Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция. Вятский государственный университет. Вятка. 2017.С. 1230-1235.
18. Куприянов В.Н., Иванцов А.И. К вопросу о долговечности многослойных ограждающих конструкций // Известия КГАСУ. 2011. № 3(17). С. 63—70.
19. Иванов Д.С., Дюндин В.Э., Павлова И.Л. Анализ применяемых конструктивных и технологических решений теплоэффективных наружных стен зданий // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2019. № 11. С. 352-355.
20. Турчаненко А.К., Смирнов С.И. Особенности проектирования трёхслойных ограждающих конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №10(25). С. 108-122.
21. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные строительные материалы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. №7. С. 76-87.
22. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Характеристика современных материалов для облицовки фасадов и цоколей зданий и сооружений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 4. С. 55–61.
23. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. № 8. С. 48-54.
24. Панской П.А., Яковлев С.Г. Анализ влияния факторов, оказывающих влияние на эксплуатационную надёжность и долговечность многослойных теплоэффективных наружных стен зданий // Научные итоги года: достижения, проекты, гипотезы. 2011. № 1-1. С. 322-328.
25. Ананьев А.И., Рымаров А.Г., Титков Д.Г. Теплотехнические свойства и долговечность наружных облицовочных слоев кирпичных стен зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2021. №7. С. 22-30.
26. Ананьев А.И., Ананьев А.А. Долговечность и энергоэффективность наружных стен из облегченной кирпичной кладки // Academia. архитектура и строительство. 2010. №3. С. 352-356.
27. Курицына А.М., Фозилов П.А. Эксплуатационные характеристики ограждающих конструкций // Молодая мысль: наука, технологии, инновации: Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. Братск, 2020. С. 57-60.
28. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф., Ватин Н.И. Проектирование конструкций наружных стен зданий при неблагоприятном воздействии среды // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №8. С. 4-15.
29. Кварчия Г.Э., Чеснокова В.Д., Чердниченко Т.Ф. Влияние технологических решений устройства фасадных систем на их энергоэффективность // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: Труды международной научно-практической конференции. Волгоград. 2020. С. 151-155.
30. Деркач В.Н. Методы оценки прочности каменной кладки в отечественной и зарубежной практике обследования зданий и сооружений // Вестник белорусско-российского университета. 2010. № 3 (38). С. 135–142.
31. Деркач В.Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7. С. 14–20.
32. Копаница Д.Г. Экспериментальные исследования фрагментов кирпичной кладки на действие статической и динамической нагрузки // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 4. С. 157–178.
33. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиева С.А. Многослойная облегченная блочная конструкция стен // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №10. С. 35-41.
34. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. Москва: АСВ, 2009. 360с.

REFERENCES

1. Glikin S.M. Sovremennyye ograzhdayushchiye konstruksii i energoeffektivnost' zdaniy [Modern building envelopes and energy efficiency of buildings]. Moscow: GUP TsPP, 2003.157 p. (rus)
2. Vivanocos Jose-Luis. A new model based on experimental results for thermal charactarization of bricks. Building and Environment. 2009 44. Pp. 1047-11052.
3. SP 15.13330.2020 (SNiP II-22-81 * Kamennyye i armokamennyye konstruksii [Stone and reinforced masonry structures]). (rus)
4. Malakhova A.N. Konstruktivnyye resheniya naruzhnykh sten kirpichnykh zdaniy [Constructive solutions for the outer walls of brick buildings]. Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2009. No. 1. Pp. 22-23. (rus)
5. Malakhova A.N. Defekty naruzhnykh sten zdaniya v mnogosloynoy kirpichnoy kladke [Defects of the external walls of the building in multilayer brickwork]. Vestnik MGSU. 2014. No. 10. Pp. 87-94.
6. Malakhova A.N., Balakshin A.S. Defekty naruzhnykh kirpichnykh sten zdaniy, dostraivayemykh posle dlitel'nogo pereryva [Defects of external brick walls of buildings being completed after a long break]. Vestnik MGSU. 2011. No. 8. Pp. 140-145. (rus)
7. Posobiye po proyektirovaniyu kamennykh i armokamennykh konstruksiy (k SNiP II-22-81) [Manual for the design of stone and reinforced stone structures (to SNiP II-22-81)]. Moscow: VDPP Gosstroy USSR, 1989.154 p. (rus)
8. Umnikova N. P. Dolgovechnost' trekhslonnykh sten s oblitovkoy iz kirpicha s vysokim urovnem teplovoy zashchity [Durability of three-layer walls with brick cladding with a high level of thermal protection]. Vestnik MGSU. 2013. No. 1. Pp. 91-100. (rus)
9. Yelchischeva T.E., Elchishcheva M.M. Vliyaniye rezhima zamorozkov na dolgovechnost' naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy v Tsentral'no-Chernozemnom regione [Influence of the frost regime on the durability of external enclosing structures in the Central Black Earth region]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2012. No. 6. Pp. 32-34. (rus)
10. Bashir M. Suleiman. Thermal Load Calculations of Multilayered Walls. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2012, Vol. 6. № 4. Pp. 627-631.
11. Yumrutas R, Unsa M., Kanog M. Periodic solution of transient heat flow throw through multilayer walls and flat roofs by complex finite Fourier transform technique. Building and Environment. 2005, 40 (3). Pp. 1117-1126.
12. Glikin S.M. Naruzhnyye steny i steny podvalov s teploizolyatsiyey iz penostekla marki «Neoparm» [Outside walls and walls of basements with thermal insulation made of foam glass brand "Neoparm"]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. No. 7. Pp. 35-38. (rus)
13. Livshits D.V., Ponomarev O.I., Lomova L.M. Povysheniye dolgovechnosti i sovershenstvovaniye konstruksiy naruzhnykh kirpichnykh i kamennykh sten energoeffektivnykh zdaniy [Increasing durability and improving the structures of external brick and stone walls of energy-efficient buildings]. Seismicheskoe stroitel'stvo. Safety of structures. 2008. No. 6. Pp. 42-44. (rus)
14. Malakhova A.N. Teplozashchitnaya i nesushchaya sposobnost' naruzhnykh sten maloetazhnykh zdaniy [Heat-shielding and bearing capacity of the outer walls of low-rise buildings]. Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii xxi veka. 2008. No. 1 (108). Pp. 82-83. (rus)
15. Kuritsyna A.M., Fozilov P.A. Vosstanovleniye i uluchsheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik naruzhnykh sten zdaniy [Restoration and improvement of the operational characteristics of the outer walls of buildings] Materialy xii Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh. [Young thought: science, technology, innovation: Materials of the xii All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists]. Bratsk. 2020. Pp. 61-65. (rus)
16. Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Filippovich A.A. Prochnost' kladki naruzhnykh sten iz pustotologo keramicheskogo kamnya [Strength of masonry of external walls made of hollow ceramic stone]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2018. No. 1-2. Pp. 52-54. (rus)
17. Konovalov D.I., Novoseltseva E.L. Osnovnyye defekty trekhslonnykh kirpichnykh sten s oblitovochnym sloyem iz kirpicha [The main defects of three-layer brick walls with a facing layer of brick]. Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK-2017): Vserossiyskaya yezhegodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. [Society. The science. Innovations (NPK-2017): All-Russian annual scientific and practical conference]. Vyatka State University. Vyatka. 2017. Pp. 1230-1235. (rus)
18. Kupriyanov V.N., Ivantsov A.I. K voprosu o dolgovechnosti mnogoslonykh ograzhdayushchikh konstruksiy [To the question of the durability of multilayer enclosing structures]. Izvestiya KGASU. 2011. No. 3 (17). Pp. 63-70. (rus)
19. Ivanov D.S., Dyundin V.E., Pavlova I.L. Analiz primenyayemykh konstruktivnykh i tekhnologicheskikh resheniy teploeffektivnykh naruzhnykh sten zdaniy [Analysis of the applied constructive and technological solutions of heat-efficient external walls of buildings]. Resursoenergoeffektivnyye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona. 2019. No. 11. Pp. 352-355. (rus)
20. Turchanenko A.K., Smirnov S.I. Osobennosti proyektirovaniya trokhslonnykh ograzhdayushchikh konstruksiy [Features of the design of three-layer enclosing structures]. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. No. 10 (25). Pp. 108-122. (rus)

21. Pavlycheva E.A., Pikalov E.S. Sovremennyye energoeffektivnyye konstruksionnyye i oblitsovochnyye stroitel'nyye materialy [Modern energy-efficient structural and facing building materials]. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2020. No. 7. Pp. 76-87. (rus)
22. Pavlycheva E.A., Pikalov E.S. Kharakteristika sovremennykh materialov dlya oblitsovki fasadov i tsokoley zdaniy i sooruzheniy [Characteristics of modern materials for facing facades and basements of buildings and structures]. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2020. No. 4. Pp. 55–61. (rus)
23. Lobov O.I., Ananiev A.I. Dolgovechnost' naruzhnykh sten sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniy [Durability of external walls of modern multi-storey buildings]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2008. No. 8. Pp. 48-54. (rus)
24. Panskoy P.A., Yakovlev S.G. [Analysis of the influence of factors affecting the operational reliability and durability of multilayer heat-efficient external walls of buildings]. Nauchnyye itogi goda: dostizheniya, proyekty, gipotezy. 2011. No. 1-1. Pp. 322-328. (rus)
25. Ananiev A.I., Rymarov A.G., Titkov D.G. [Thermal properties and durability of external facing layers of brick walls of buildings]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2021. No. 7. Pp. 22-30. (rus)
26. Anan'ev A.I., Anan'ev A.A. Dolgovechnost' i energoeffektivnost' naruzhnykh sten iz oblegchenoy kirpichnoy kladki [Durability and energy efficiency of external walls made of lightweight brickwork]. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2010. No. 3. Pp. 352-356. (rus)
27. Kuritsyna A.M., Fozilov P.A. Ekspluatatsionnyye kharakteristiki ograzhdayushchikh konstruksiy [Operational characteristics of enclosing structures]. Molodaya mysl': nauka, tekhnologii, innovatsii: Materialy xii Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh. [Young thought: science, technology, innovation: Materials of the xii All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists]. Bratsk, 2020. Pp. 57-60. (rus)
28. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Vatin N.I. Proyektirovaniye konstruksiy naruzhnykh sten zdaniy pri neblagopriyatnom vozdeystvii sred [Design of structures of external walls of buildings under adverse environmental impact]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. No. 8. Pp. 4-15. (rus)
29. Kvarchia G.E., Chesnokova V.D., Cherednichenko T.F. Vliyaniye tekhnologicheskikh resheniy ustroystva fasadnykh sistem na ikh energoeffektivnost' [The influence of technological solutions for the device of facade systems on their energy efficiency]. Aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa: Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [Actual problems and prospects for the development of the building complex: Proceedings of the international scientific and practical conference]. Volgograd. 2020. Pp. 151-155. (rus)
30. Derkach V.N. Metody otsenki prochnosti kamennoy kladki v otechestvennoy i zarubezhnoy praktike obsledovaniya zdaniy i sooruzheniy [Methods for assessing the strength of masonry in domestic and foreign practice of inspection of buildings and structures]. Vestnik belorussko-rossiyskogo universiteta. 2010. No. 3 (38). Pp. 135-142. (rus)
31. Derkach V.N. Ekspertiza i tekhnologiya usileniya kamennykh konstruksiy [Expertise and technology of reinforcement of stone structures]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2010. No. 7. Pp. 14–20. (rus)
32. Kopanitsa D.G. Eksperimental'nyye issledovaniya fragmentov kirpichnoy kladki na deystviye staticheskoy i dinamicheskoy nagruzki. [Experimental studies of fragments of brickwork on the action of static and dynamic loads]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2012. No. 4. Pp. 157–178. (rus)
33. Toturbiev B.D., Toturbieva S.A. [Multilayer lightweight block construction of walls]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019. No. 10. Pp. 35-41. (rus)
34. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Komp'yuternyye modeli konstruksiy. [Computer models of structures]. Moscow: ASV, 2009. 360 p.

Информация об авторе:

Малахова Анна Николаевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: gbk@mgsu.ru

Information about author:

Malakhova Anna N.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,

candidate of technical science, associated professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: gbk@mgsu.ru