

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

Демчук Игорь Евгеньевич, аспирант, Филиал РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр, г. Брест (Беларусь)

Царук Ольга Григорьевна, младший научный сотрудник, 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)

Igor Demchuk, postgraduate student, Branch office of “Institute BelNIIS”, RUE – Scientific-Technical Center, Brest (Belarus)

Olga Tsaruk, junior researcher, Branch office of “Institute BelNIIS”, RUE – Scientific-Technical Center, Brest (Belarus)

ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ КЛАДОЧНОГО РАСТВОРА ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЭТАЖНО ОПЕРТЫХ СТЕН

REQUIREMENTS FOR THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MORTAR IN WALL FACING OF MULTILAYER FLOOR SUPPORTED WALLS

АННОТАЦИЯ

Приведены примеры характерных повреждений облицовочного слоя многослойных стен и выполнен анализ причин их появления. Отмечено, что в отечественной практике строительства при возведении облицовочных слоев многослойных стен обычно применяются высокомарочные цементные кладочные растворы, которые в сочетании с керамическим кирпичом образуют кладки, обладающие высокой осевой и изгибной жесткостью. В то же время изгибающие моменты и сжимающие усилия, возникающие в облицовочном слое от силовых и температурных воздействий определяются жесткостью каменной кладки, которая в значительной степени зависит от податливости растворных швов. Отсюда можно заключить, что кладочный раствор, применяемый для кладки облицовочного слоя многослойных стен, должен иметь невысокий

модуль деформаций и при этом быть достаточно прочным. Выполнены численные исследования влияния модуля упругости и коэффициента Пуассона кладочного раствора кирпичного облицовочного слоя многослойной стены на величину возникающих в нем сжимающих напряжений при температурном воздействии. Показано, что увеличение жесткости кладки облицовочного слоя приводит к росту в каменной кладке внутренних усилий, вызванных силовыми и температурными воздействиями. На основании выполненных исследований сделан вывод о том, что для кладки облицовочного слоя многослойных стен целесообразным является применение кладочных растворов с низким модулем деформаций и высокой прочностью на сдвиг и растяжение, обладающих хорошими адгезионными характеристиками. Таким растворам в наибольшей степени соответствуют сухие растворные смеси заводского изготовления, рецептура которых подбирается с учетом конкретных условий применения.

ABSTRACT

The article contains examples of typical damages of face layer in multilayer walls and the analysis of their causes. It is noted that in the national building practice during the walling of facing layers in multilayer walls the high-quality cement masonry mortars, which in combination with ceramic brick form masonry with high axial and bending stiffness, are commonly used. At the same time flexural moments and compressive forces arising in a face layer from force and temperature actions, are defined by the stiffness of a masonry which substantially depends on a compliance of mortar joints. It is possible to conclude that the masonry mortar in a facing layer of multilayer walls should have the low module of deformations and thus be strong enough. The numerical study of the influence of the elastic modulus and Poisson's ratio of mortar in brick wall facing in multilayer wall on the value of compression stress under thermal action has been presented. It is shown that the increase of masonry rigidity in wall facing leads to an increase of internal forces in masonry induced by force and thermal effects. According to the executed researches it is concluded that the application of masonry mortars with the low elastic modulus and high shear and tensile strength, having good adhesive characteristics is reasonable for masonry wall facing in multilayer wall. Such kind of mortars are correspond to factory made dry mortar mixes. The proportion of the mixes is selected according to the conditions of application.

Ключевые слова: многослойные стены, облицовочный слой, кладочный раствор, деформационные характеристики, силовые и температурно-влажностные воздействия

Keywords: multilayer walls, facing layer, mortar, deformation characteristics, force and thermal effects

Многослойные стены с облицовочным слоем из кирпича, по сравнению с однослойными стенами, обладают рядом преимуществ, таких как сравнительно небольшая толщина и, соответственно, собственный вес, высокая тепловая эффективность, сравнительно низкая стоимость, архитектурная выразительность фасадов здания. Поэтому в странах СНГ, начиная с конца 90-х годов, объемы применения многослойных стен с кирпичной облицовкой постоянно увеличивались. При этом действующие в то время нормы по проектированию каменных и армокаменных конструкций СНиП II-22-81 не содержали указаний по проектированию таких стен. По этой причине принимаемые проектные решения стенового ограждения не были обоснованы не только экспериментальными исследованиями, но и даже инженерными расчетами на ветровые и температурно-влажностные воздействия. Последующая эксплуатация многоэтажных каркасных зданий с многослойными стенами в Москве, Санкт-Петербурге и ряде других городов показала, что во многих домах уже в первые 3-5 лет в облицовочном слое возникают повреждения, которые приводят к аварийному состоянию стенового ограждения.

Повреждения облицовочного слоя многослойных стен трещинами или вследствие раздробления кирпича обычно связывают с температурными деформациями либо с размораживанием кладки [1-5].

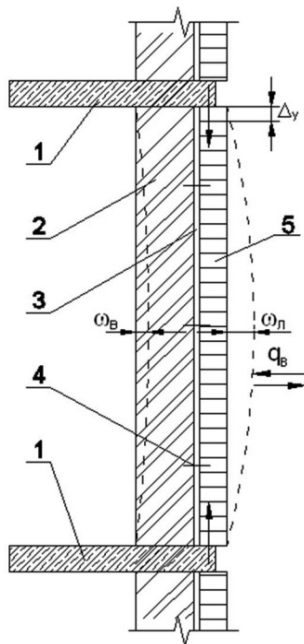


Рисунок 1. Характерные повреждения облицовочного слоя многослойных стен

Однако, несмотря на то, что облицовочный слой кладки проектируется как ненесущий нагрузку, его повреждения могут быть обу-

словлены силовыми воздействиями. К последним относятся ветровые воздействия, а также усилия, возникающие в облицовочном слое при вынужденных деформациях несущего остова здания.

В работе [6] показано, что величина и характер внутренних усилий в облицовочном слое в значительной степени определяются способом его сопряжения с дисками перекрытий. При наличии горизонтального деформационного шва между верхним перекрытием и каменной кладкой облицовочный слой подвергается ветровым, температурно-влажностным воздействиям и воздействиям собственного веса. Ветровые воздействия от облицовочного слоя передаются на основной слой стены через анкерные связи. В данном случае роль опор играет нижний диск перекрытия и анкерные связи. При отсутствии или недостаточной ширине горизонтального деформационного шва облицовочный слой может оказаться зажатым между дисками перекрытий. В этом случае в нем могут возникнуть дополнительные сжимающие напряжения, вызванные деформацией каркаса здания или температурным расширением самого облицовочного слоя (рис. 2).



- 1 – диски перекрытий,
- 2 – внутренний слой,
- 3 – вентилируемый зазор,
- 4 – гибкие анкерные связи,
- 5 – облицовочный слой

Рисунок 2. Схема работы защемленного между дисками перекрытий облицовочного слоя многослойной стены [6]

Появление дополнительных сжимающих напряжений увеличивает силы трения по контакту облицовочного слоя с поддерживающим перекрытием, что в свою очередь приводит к росту касательных напряжений в нижних слоях кладки при ее горизонтальных деформациях, вызванных температурно-влажностными воздействиями. При внецентренном опирании облицовочного слоя величина касательных напряжений может превышать прочность кирпича [7].

Горизонтальные деформации (перемещения) облицовочного слоя ω_d при его внецентренном нагружении сдерживаются гибкими анкерными связями. Анкерные связи обладают податливостью в горизонтальном направлении, которая обусловлена деформативностью анкеровки в облицовочном и основном слоях кладки, а также податливостью последнего при восприятии горизонтальных растягивающих усилий от анкерных связей. В результате горизонтальные перемещения облицовочного слоя ω_d (рис. 2) превышают перемещения основного слоя ω_b .

Изгибающие моменты и сжимающие усилия, возникающие в облицовочном слое от силовых и температурных воздействий, определяются жесткостью каменной кладки. Известно, что жесткость каменной кладки в значительной степени зависит от податливости растворных швов. Отсюда можно заключить, что кладочный раствор, применяемый для кладки облицовочного слоя многослойных стен, должен иметь невысокий модуль деформаций и при этом быть достаточно прочным. Следует отметить, что в отечественной практике строительства при возведении облицовочных слоев многослойных стен, как правило, стремятся к применению высокомарочных цементных кладочных растворов, которые в сочетании с керамическим кирпичом образуют кладки, обладающие высокой осевой и изгибной жесткостью.

Для того, что бы определить степень влияния марки кладочного раствора на напряженно-деформированное состояние облицовочного слоя при его температурном нагреве солнечной радиацией, были выполнены численные исследования фрагмента каменной кладки шириной 1 м, высотой 2,8 м и толщиной 0,12 м. Предполагается, что кладка зажата между дисками перекрытий. Температурный перепад по толщине кладки облицовочного слоя составляет 200°C. Величина такого температурного перепада характерна для нагрева поверхности многослойной стены с воздушной вентилируемой прослойкой в летнее время [8]. Расчетная модель кладки создавалась методом микро-моделирования, при этом кирпич и кладочный раствор моделировались объемными конечными элементами (КЭ) (рис. 3).

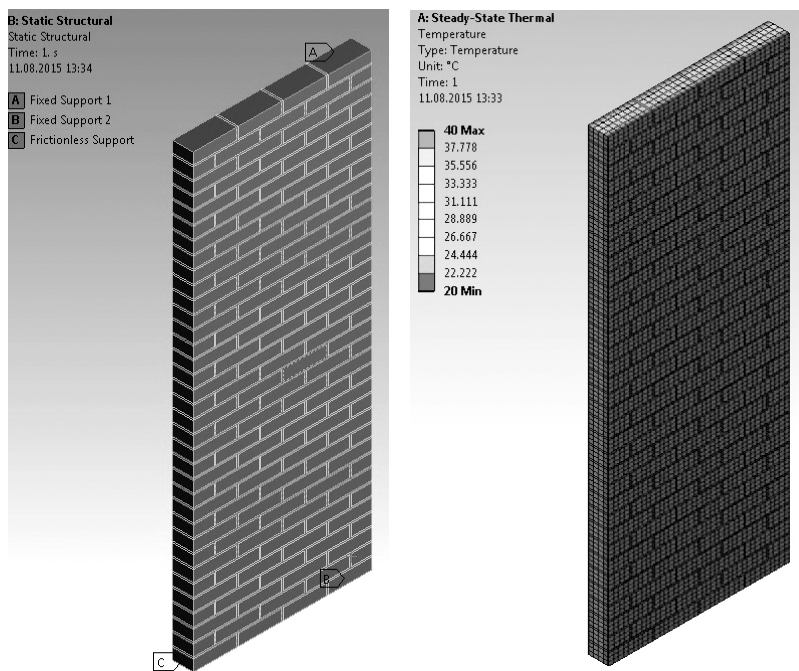


Рисунок 3. Расчетная модель облицовочного слоя

Деформационные характеристики керамического кирпича $E=10000\text{МПа}$ и $\nu=0,08$ были получены на основании собственных испытаний керамических призм, вырезанных из кирпича [9], а варьируемые в расчете деформационные характеристики кладочного раствора (табл. 1) заимствованы из работы [10].

Таблица 1

Модули упругости E_0 в МПа и коэффициенты Пуассона ν цементных растворов различных марок для расчетов НДС кладки [10]

Марка	4	10	25	50	75	100	150	200
E_0	500	1250	3200	5800	8400	10500	14000	16000
ν	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

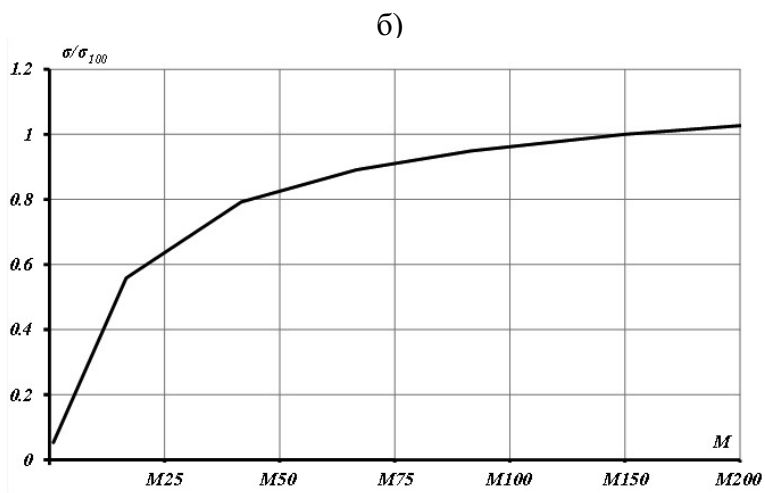
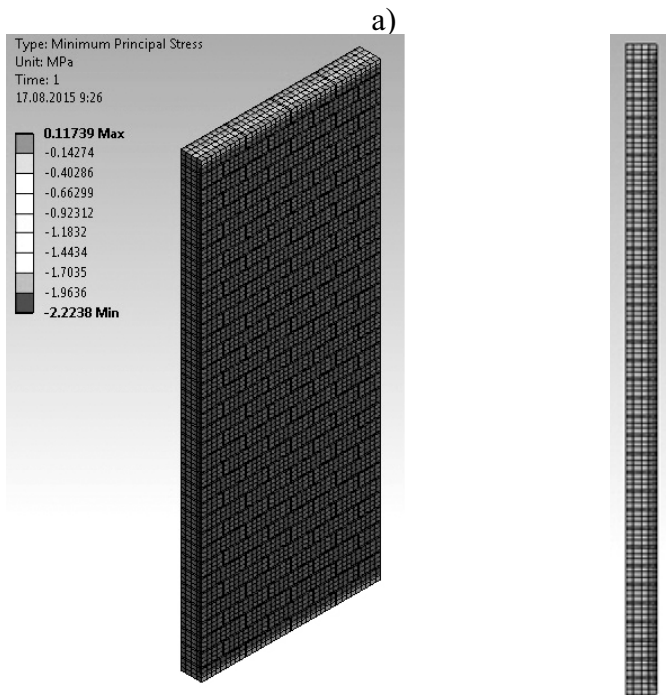


Рисунок 4. Результаты численного расчета: а) распределение главных сжимающих напряжений σ по толщине облицовочного слоя, б) график зависимости «M- σ/σ_{100} »

На рисунке 4 приведены распределение главных сжимающих напряжений σ по толщине облицовочного слоя и график зависимости отношения максимальных значений σ/σ_{100} от марки кладочного раствора М (σ_{100} – максимальные значения нормальных сжимающих напряжений при марке раствора М100).

Из рисунка 4 следует, что увеличение марки кладочного раствора приводит к росту сжимающих напряжений в кладке облицовочного слоя. При этом зависимость «М- σ/σ_{100} » носит нелинейный характер. Наиболее интенсивно напряжения в кладке растут при увеличении марки кладочного раствора от М4 до М50. Модуль упругости кладочного раствора в данном случае изменяется от 500 до 5800 МПа (табл. 1). Когда модуль упругости раствора превышает модуль упругости кирпича, нарастания сжимающих напряжений в кладке практически не происходит.

Аналогичная картина будет наблюдаться и в случае передачи на облицовочный слой нагрузки при вынужденных деформациях каркаса здания. В случае ветровых воздействий на многослойную стену, увеличение изгибной жесткости облицовочного слоя вызовет рост в кладке растягивающих напряжений.

На основании выполненных исследований можно заключить, что для кладки облицовочного слоя многослойных стен целесообразным является применение кладочных растворов с низким модулем деформаций и высокой прочностью на сдвиг и растяжение, обладающих хорошими адгезионными характеристиками. Таким растворам в наибольшей степени соответствуют сухие растворные смеси заводского изготовления, рецептура которых подбирается с учетом конкретных условий применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки / М. К. Ищук. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2009.— 360 с.
2. Лобов, О. И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий / О. И. Лобов, А. И. Ананьев // Жилищное строительство. – 2008. – №8. – С.48-52.
3. Гроздов, В. Т. О недостатках существующих проектных решений наружных навесных стен в многоэтажных монолитных железобетонных зданиях / В. Т. Гроздов // Труды ВИТУ «Дефекты зданий и сооружений». Санкт-Петербург, 2006. – С. 15-21.
4. Огородник, В. М. Некоторые проблемы обследования зданий с отделкой лицевым кирпичом в Санкт-Петербурге / В. М. Ого-

- родник, Ю. В. Огородник //Инженерно-строительный журнал. 2010.– №7.– С. 10-13.
5. Drobiec, L. Przyczyny uszkodzen murow / L.Drobiec // XXII Ogolnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji. – Szczyrk. – 2007. – S. 105-146.
 6. 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.
 7. Орлович, Р. Б. Сопряжение лицевого слоя слоистых каменных стен с плитами перекрытий / Р. Б. Орлович, В. Н. Деркач // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 11.– С. 62-65.
 8. Орлович, Р. Б. О вентилируемой воздушной прослойке слоистых каменных стен / Р. Б. Орлович, В. Н. Деркач //Архитектура и строительство. – 2010. – № 6. – С. 72-74.
 9. Галалюк, А. В. Математическое моделирование образцов каменной кладки при сжатии / А. В. Галалюк, И. Е. Демчук // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: М. Ф. Марковский [и др.]. – Минск, 2012. – Вып.4. – С. 20-29.
 10. Пангаев, В. В. Развитие расчетно-экспериментальных методов исследования прочности кладки каменных конструкций: автореф. дис. ... докт. техн. наук / В. В. Пангаев; НГАСУ (СИБСТРИН). – Новосибирск, 2009. – 34 с.

REFERENCES

1. 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]/ М. К. Ishchuk; Moscow: RIF «Stroymaterialy». 2009. 360 p. (rus)
2. Lobov O. I., Ananyev A. I. *Housing Construction*. 2008. No 8. pp.48-52. (rus)
3. Grozdov V. T. *O nedostatkakh sushchestvuyushchikh proyektnykh resheniy naruzhnykh navesnykh sten v mnogoetazhnykh monolitnykh zhelezobetonnykh zdaniyakh*// Trudy VITU «Defekty zdaniy i sooruzheniy» [Proceedings of Military Engineering-Technical University «Malfunction of buildings»]. Saint-Petersburg. 2006. pp. 15-21. (rus)
4. Ogorodnik V. M., Ogorodnik Yu. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No 7. pp.10-13. (rus)

5. Drobiec, L. Przyczyny uszkodzen murów // XXII Ogólnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji. –Szczyrk. – 2007. – S. 105-146.
6. Orlovich R.B., Zimin S.S., Sazonov A.S. *Construction and reconstruction*. 2014. № 1(51). pp. 29-34. (rus)
7. Orlovich R.B., Derkach V.N. *Industrial and civil construction*. 2011. No 11. pp.62-65. (rus)
8. Orlovich R.B., Derkach V.N. *Architecture and Construction*. 2010. No 6. pp. 72-74. (rus)
9. Galalyuk A.V., Demchuk I.E. *Matematicheskoe modelirovanie obraztsov kamennoy kladki pri szhatii* // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: sb. nauch.tr. / R In-t BelNIIS; redkol.: M. F. Markovskiy [i dr.] [Problems of modern concrete and reinforced concrete: collection of scientific papers / Institute BelNIIS]. Minsk, 2012. 4. pp. 20-29. (rus)
10. Pangaev V.V. *Razvitie raschetno-eksperimentalnykh metodov issledovaniya prochnosti kladki kamennykh konstruktsyy: avtoref. dis. ...dokt. tekhn. nauk/NGASU (SIBSTRIN)* [The development of computational and experimental methods to study the strength of masonry stone structures: theses of the dissertation of the doctor of technical sciences / Novosibirsk State University of Civil Engineering (SIBSTRIN). Novosibirsk. 2009. 34 p. (rus)

Статья поступила в редколлегию 03.11.2015