

Деркач В.Н., кандидат технических наук, заместитель директора филиала РУП «Институт БелНИИС» – «Научно-технический центр» (г.Брест), Беларусь

ПОВРЕЖДЕНИЯ КИРПИЧНОЙ ОБЛИЦОВКИ МНОГОСЛОЙНЫХ СТЕН, ВЫЗВАННЫЕ ПРОГИБАМИ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЙ

Выполнен анализ причин повреждения кирпичной облицовки многослойных наружных стен каркасных зданий. Предложены технические решения по предотвращению повреждений стеновых конструкций, вызванных прогибами перекрытий.

Damage's reasons of multi-layer outside wall's brick facing were analyzed. The article contains technology for prevention of walls' damages, caused by overlapping flexures.

ВВЕДЕНИЕ

При строительстве каркасных жилых и общественных зданий, широкое распространение получила технология, по которой стеновое ограждение выполняется в виде слоистой кладки, с защитно-декоративной облицовкой из кирпича и других мелкоштучных материалов.

Опыт эксплуатации таких домов показал, что через определенное время в облицовочном слое кладки возникают повреждения в виде трещин, в последствие приводящие к обрушению фрагментов облицовки. Согласно статистическим данным, опубликованным в [1], за минувшие пять лет в Москве и Подмосковье было зафиксировано более 420 случаев отказа фасадных систем, выполненных по технологии слоистой кладки. По итогам обследования каркасно-монолитных зданий в г. Москва в 2008 г., в результате повреждений стенового ограждения в аварийном состоянии на сегодняшний день находятся 36 объектов. Специалисты считают, что в ближайшие 5-6 лет количество «проблемных» домов может резко возрасти.

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 1988г. В этой се-

рии 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. В то же время действующие нормы по проектированию каменных и армокаменных конструкций [2] не содержали указаний по проектированию таких стен. По этой причине при проектировании многослойных стен каркасных зданий было допущено много ошибок, касающихся устройства температурных и деформационных швов в стеновом ограждении, выбора материалов для каменной кладки. Обследованием стенового ограждения было выявлено также и низкое качество работ при кладке облицовки, являющееся следствием дефицита высококвалифицированных каменщиков.

Ошибки, допущенные при проектировании и возведении многослойного стенового ограждения каркасных зданий, явились одной из причин последующих повреждений кирпичного защитно-декоративного облицовочного слоя. Другой причиной является несогласованность норм по проектированию каменных и армокаменных конструкций [2] с требованиями, по ограничению прогибов перекрытий, установленными в [3].

АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫХ ПРОГИБОВ ПЕРЕКРЫТИЙ

Сроки строительства современных зданий значительно сократились, вследствие чего стеновое заполнение каркасов и возведение внутренних перегородок выполняется в условиях, когда возможны значительные деформации ползучести железобетонных элементов здания и неравномерные осадки конструкций.

Вертикальные предельные прогибы перекрытий регламентируются нормами [3]. Согласно указанным нормам, величина прогиба плит, определенного при действии постоянных и временных длительных нагрузках, не должна превы-

шать предельного значения ограниченного эстетико-психологическими требованиями 30мм (1/200 пролета) для плит пролетом 6м и 40мм (1/225 пролета) для плит пролетом 9м. В соответствии с конструктивными требованиями, величина предельного прогиба перекрытий при наличии на них элементов подверженных растрескиванию (стяжек, полов, перегородок), установлена 1/150 пролета. Прогиб при этом определяется от нагрузок, действующих после устройства элементов, подверженных растрескиванию.

Стеновое ограждение каркасных зданий устанавливается непосредственно на плиты перекрытий. При этом, из-за высокой трудоемкости, окаймляющие балки по контуру стен в проектах предусматриваются крайне редко. После возведение стен на перекрытии укладываются слои акустической изоляции, стяжки, чистового пола, выполняется отделка перегородок. Приращение постоянной и временной длительной нагрузки, после выполнения указанных работ, составит 40-45% от ее полного значения (60-55% от суммарной величины постоянной и временной длительной нагрузки составляет собственный вес перекрытия). С учетом ползучести бетона, можно предположить, что прогиб перекрытия после возведения стен достигнет 50-60% от общего прогиба, вызванного действием постоянной и временной длительной нагрузки, включающей собственный вес перекрытия. Принимая во внимание указанное обстоятельство и требование норм [3], применительно к безбалочным плитам пролетом 5-6м, приращение прогиба может составить около 20 мм.

Для исключения передачи нагрузки с вышележащего перекрытия на стены между ними и перекрытием предусматривается деформационный шов толщиной 30мм, который заделывается эластичным материалом. Результаты обследования поврежденных трещинами стен свидетельствуют, что строителями иногда данное требование игнорируется. Зазор между стеной и плитой перекрытия заполняется кирпичным боем, жестким цементно-песчаным раствором, не выдерживается требуемая толщина зазора. Это приводит к передаче нагрузки от вышележащего перекрытия на стену.

При этом основная часть нагрузки будет воспринята облицовочным слоем стены, как наиболее жестким, что может вызвать его разрушение.

Однако и соблюдение всех требований по устройству деформационных швов не гарантируют от возникновения трещин в кирпичной облицовке, которые могут образоваться вследствие прогиба перекрытия, являющегося основанием стены.

Нормы по проектированию каменных и армокаменных конструкций [2] не содержат конкретных указаний по ограничению прогибов поэтажно опертых стен выполненных по технологии слоистой кладки. Поэтому при проектировании каркасных зданий конструктор не в состоянии правильно определить жесткость перекрытия, обеспечивающую его совместную работу со стеной.

В работе [4] вертикальные предельные прогибы перекрытий, при которых возможно возникновение наклонных трещин в стене, предлагается определять по граничным значениям допускаемого перегиба каменной кладки (рис.1), приведенным в нормах [5] (таблица 1).

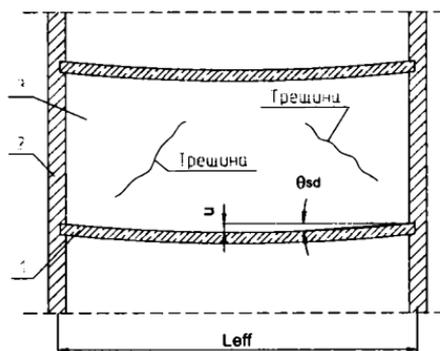


Рис.1 К определению вертикального предельного прогиба перекрытия
1-перекрытие, 2-колонна, 3- стеновое заполнение

Граничные значения перекоса кладки стенового заполнения θ_{adm} в миллирадианах

Вид кирпича	Вид кладочного раствора	
	цементный	известково-цементный
полнотелый	0.4	0.5
дырчатый	0.3	0.4

Результаты определения предельных вертикальных прогибов перекрытия по граничным значениям перекоса каменной кладки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вертикальные предельные прогибы перекрытий

Допускаемый предельный перекос θ_{adm} (мрад)	Допускаемый предельный прогиб перекрытий a_{lim}
0.3	$L_{eff}/6666$
0.4	$L_{eff}/5000$
0.5	$L_{eff}/4000$

Необходимо отметить, что в таблице 1 приведены граничные значения перекоса каменной кладки вдоль горизонтальных растворных швов, а вертикальный допустимый прогиб стены должен определяться предельным перекосом кладки при ее деформировании перпендикулярно горизонтальным швам. Поэтому значения вертикальных предельных прогибов перекрытий указанные в таблице 2 нельзя признать корректными.

В работе [6] содержатся результаты определения предельных углов перекоса кирпичной кладки при ее деформировании перпендикулярно горизонтальным швам. Исследования проводились на натуральных фрагментах кирпичных стен, кладка которых была выполнена из силикатного кирпича на известково-цементном растворе. По результатам эксперимента тангенс предельного угла перекоса, соответствующего появлению трещин, для неармированной кладки составил 1/300, для армированной - 1/200, что соответствует предельному прогибу перекрытия соответственно $L_{eff}/600$ и $L_{eff}/400$.

Полученные результаты хорошо согласуются с требованиями американских норм [7], регламентирующих правила проектирования каменных конструкций. Согласно [7] прогиб балок, являющихся основанием каменной кладки при действии длительных нагрузок не должен превышать $1/600$ пролета балки, и быть не более 7.6мм. Данные значения существенно ниже вертикальных предельных прогибов перекрытий, установленных нормами [3], требованиями которых руководствуются конструкторы при проектировании железобетонных каркасов.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНОЙ ОБЛИЦОВКИ ПРИ ПРОГИБЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

С целью оценки напряженно-деформированного состояния кирпичной облицовки при прогибе железобетонной конструкции, которая является основанием наружной стены, был выполнен конечно-элементный численный анализ с использованием программного комплекса «STARK_ES». Моделировались кирпичная облицовка стены, из пустотелого керамического кирпича на известково-цементном растворе. Размеры стены 6×3 м, толщина облицовочного слоя - 120мм. Загружение облицовки осуществлялось постоянной нагрузкой от собственного веса при заданных вертикальных прогибах железобетонной конструкции. Для расчета усилий и перемещений применялась расчетная модель, в которой кирпичная кладка аппроксимировалась высокоточными ортотропными элементами плосконапряженного состояния с жесткостными характеристиками, определяемыми в двух направлениях, а железобетонная балка плосконапряженными анизотропными элементами. Модули упругости и коэффициенты Пуассона кладки принимались по результатам экспериментальных исследований приведенных в [8]. Контакт между стеной и железобетонной балкой создавался путем установки разрезных односторонних шарниров, позволяющих продублировать узлы в соседних элементах и объединить вертикальные перемещения элементов при работе шарнира на сжатие.

Вследствие того, что изгибная жесткость кирпичной облицовки в вертикальном направлении значительно выше жесткости несущей железобетонной конструкции, отрыв кирпичной кладки от балки происходит при незначительных прогибах последней.

После отрыва стены от поверхности несущей железобетонной конструкции в кирпичной кладке резко возрастают нормальные и касательные напряжения. Распределение нормальных и касательных напряжений по горизонтальному сечению облицовки, приведены на рис.2

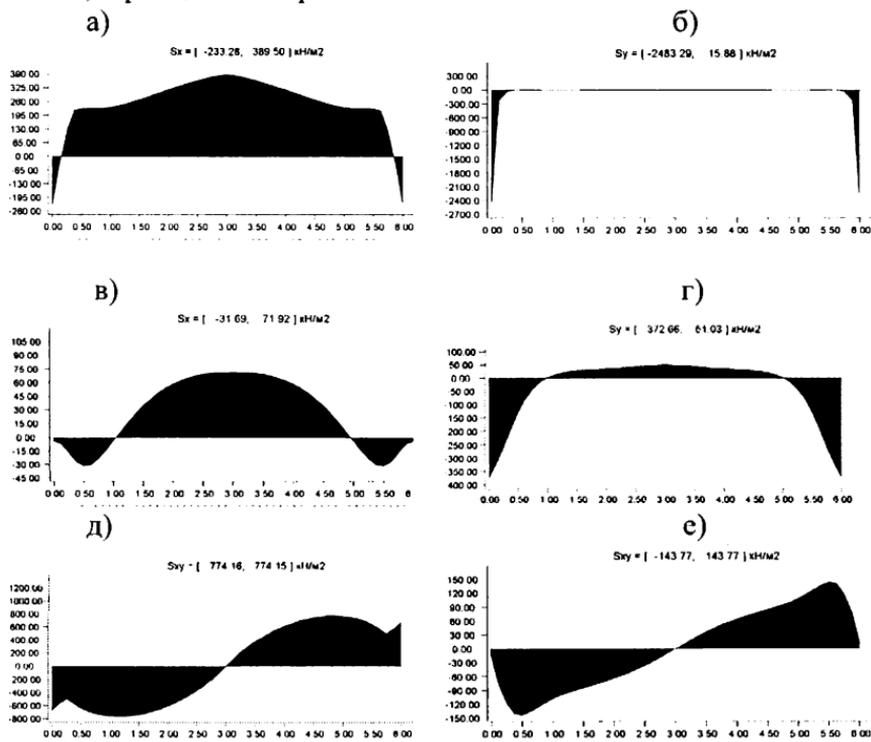


Рис.2 Распределение нормальных и касательных напряжений по сечению облицовки

- а)- σ_x по нижней грани, б)- σ_y по нижней грани,
- в) σ_x по средней линии, г) σ_y по средней линии,
- д)- τ_{xy} по нижней грани, е)- τ_{xy} по средней линии

Для оценки прочности кладки, как анизотропного материала, воспользуемся критериями прочности, предложенными в работе [9].

$$-R_c \leq \sigma_1 \leq R_{p1(\alpha)}; \quad (1)$$

$$-R_c \leq \sigma_3 \leq R_{p3(\alpha)}; \quad (2)$$

$$\tau_{13} \leq C_{13(\alpha)} - \mu(\alpha)\sigma_{13}; \quad (3)$$

$$|\tau_{xy}| \leq C_x - \mu_x \sigma_y; \quad (4)$$

где

$$\mu(\alpha) = \frac{1}{2} [(\mu_y + \mu_x) - (\mu_y - \mu_x) \cdot |\sin 2\alpha|]; \quad (5)$$

$$R_{p3(\alpha)} = R_{py} \sin^2 \alpha + R_{px} \cos^2 \alpha; \quad (6)$$

$$R_{p1(\alpha)} = R_{px} \sin^2 \alpha + R_{py} \cos^2 \alpha; \quad (7)$$

$$C_{13(\alpha)} = \frac{1}{2} [(C_x + C_y) - (C_x - C_y) \cdot \sin 2\alpha]; \quad (8)$$

$$\sigma_{13} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}; \quad (9)$$

R_c - предел прочности кладки на одноосное сжатие;

R_{px}, R_{py} - предел прочности кладки на одноосное растяжение перпендикулярно вертикальным и горизонтальным швам соответственно;

C_x, C_y - предел прочности кладки на сдвиг по перевязанному и неперевязанному сечению соответственно;

μ_x, μ_y -коэффициенты внутреннего трения при сдвиге по перевязанным и неперевязанным швам соответственно;

σ_1, σ_3 - главные нормальные напряжения;

τ_{13} - главные касательные напряжения;

α – угол наклона площадок главных напряжений;

τ_{xy} - касательные напряжения;

σ_x - нормальные напряжения действующие перпендикулярно вертикальным швам кладки.

Оценка прочности по условиям (1-4) показала, что в нижней трети высоты стены, ближе к опорам, главные растягивающие и главные касательные напряжения, в облицовочном слое превышают пределы прочности кладки на растяжение и сдвиг по направлению соответствующих главных напряжений примерно в 3 раза. На этих же участках кладки не соблюдается ус-

ловие прочности при действии касательных напряжений вдоль непереязанных швов. Это приводит к возникновению наклонных концентрических трещин, развивающихся от нижней грани стены по швам кладки или непосредственно по камню (рис.3).

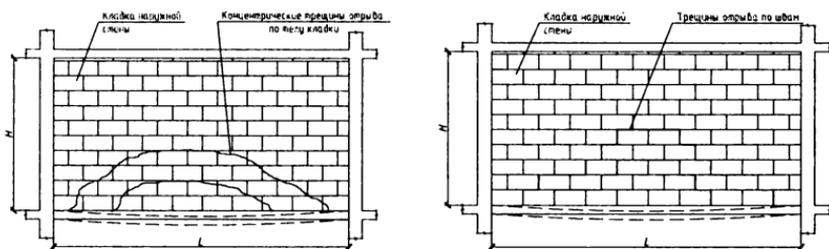


Рис.3 Характер трещинообразования в кирпичной кладке при прогибе плиты перекрытия

Наличие в стенах оконных и дверных проемов, углы которых являются концентраторами напряжений, негативно отражается на работе кладки облицовочного слоя. При прогибе диска перекрытия в углах проема возникают наклонные или горизонтальные трещины, развивающиеся по траектории действия главных сжимающих напряжений. Морфология трещин зависит от соотношения высоты стенового заполнения к его длине, месте расположения проема, степени перфорации стены. Повысить трещиностойкость облицовочного слоя при наличии дверных проемов можно путем установки в створах проемов скрытых в стяжке пола специальных стальных элементов, воспринимающих растягивающие усилия, возникающие при прогибе перекрытий.

Если отношение длины стены (L) к ее высоте (H) находится в пределах 1-1.15, то при прогибе перекрытия условия прочности кладки (1)-(4), как правило, соблюдаются, и трещины в теле кладки не возникают. Однако при этом возможно раскрытие шва между нижней гранью стены и верхней плоскостью диска перекрытия. При раскрытии швов кирпич наружной облицовки на уровне плит перекрытий может получить морозные повреждения вследствие конденсации водяных паров, поступающих из помещения в кирпичную кладку стены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для снижения риска возникновения повреждений в защитно-декоративной облицовке слоистых стен заполнения каркасов необходимо увеличивать жесткость перекрытия каркасных зданий по контуру установки стенового ограждения. Обязательным требованием при проектировании перекрытий пролетом более 4м должно являться устройство окаймляющих ребер по контуру установки стен или сгущение шага колонн каркаса. При этом в нормативные документы [3] должны быть внесены изменения, касающиеся вертикальных предельных прогибов дисков перекрытий, являющихся опорами для каменной кладки.

2. Кладку защитно-декоративной облицовки многослойных стен рекомендуется вести из полнотелого кирпича на пластифицированном кладочном растворе, с армированием ее на высоту $0.5H$ от низа стены (H -высота стенового заполнения между дисками перекрытий). Облицовочный слой стены следует разрезать вертикальными деформационными швами с шагом не более $1,15H$. Повысить трещиностойкость защитно-декоративной облицовки наружных стен при устройстве дверных проемов можно путем установки в створах дверных проемов скрытых в стяжке пола стальных элементов, воспринимающих растягивающие усилия в кладке, возникающие при прогибе перекрытий.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Слоистые кладки в каркасно-монолитном строительстве// Технологии строительства. -2009.- №1(63).
2. СНиП II-22-81.* Каменные и армокаменные конструкции. Госстрой СССР.- М.: Стройиздат, 1983.- 40с.
3. СНиП 2.01.07-85.* Нагрузки и воздействия (Дополнения. Разд.10. Прогибы и перемещения) / Госстрой СССР.- М: ЦНИИОМТ Госстроя СССР, 1985.-34с.
4. Drobiec, L., Kubica, J. Zapobieganie zarysowaniom scian murowych opartych na stropach zelbetowych// Materiały budowlane.- 2006. - № 4.
5. PN-B-03002. Konstrukcje murowe: Projektowanie i obliczanie/ Polski Komitet Normalizacyjny.- 1999.
6. Шишкин, А.А. Причины появления трещин в каменных и блочных зданиях повышенной этажности с несущими поперечными стена-

ми и методы их устранения// Анализ причин аварий строительных конструкций. –М.: Издательство литературы по строительству, 1968.-213с.

7. ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05. Building Code Requirements for Masonry Structures.
8. Поляков, С.В. Каменная кладка в каркасных зданиях. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.-189с.
9. Гениев, Г.А., Курбатов, А.С., Самедов, Ф.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов. – М.: Интербук, 1994.-187с.