

А.В. НОВИКОВ, технический консультант инженерного центра (Москва)

Причины возникновения дефектов в конструкциях облегченной кладки

В последние годы при устройстве наружных стен зданий достаточно широко применяется технология облегченной кладки. Однако, авария в г. Железнодорожном Московской обл., в результате которой в апреле 2007 г. с 7 и 8-го этажей рухнула значительная (около 30 м²) часть наружной кладки фасада здания (рис. 1), требует детального анализа причин обрушения. Обрушение произошло мгновенно, хотя этому предшествовало (по рассказам местных жителей) образование множественных трещин локального характера.

Осмотр десятков зданий, возведенных с применением указанной технологии и находящихся несколько лет в эксплуатации (что, конечно же, очень мало для того, чтобы делать какие либо серьезные выводы), позволил увидеть значительное количество разнообразных дефектов наружной части кладки, определяемых визуально. В какой-то степени их можно сгруппировать следующим образом:

- растрескивание внешних плоскостей облицовочных кирпичей наружной части кладки с последующим выпадением отдельных фрагментов (рис. 2);
- растрескивание значительных участков наружной части кладки в местах ее опирания или примыкания снизу к плитам перекрытий или несущим стальным опорным кронштейнам с последующим обрушением этих участков (рис. 3);
- долговременные (многолетние) высолы на значительных площадях поверхности кладки, ведущие к эрозии раствора кладочных швов и самого кирпича под воздействием накапливаемых солей (рис. 4);
- вертикальные трещины значительной протяженности вдоль внешних и внутренних углов (рис. 5);
- трещины различной ориентированности и степени раскрытия в кладке вокруг проемов (рис. 6);
- размораживание участков внешней кладки, примыкающих к перекрытиям (рис. 7);
- обрушение облицовочной плитки или штукатурки с торцов плит перекрытий (рис. 8);
- многочисленные трещины оштукатуренных и окрашенных стен (рис. 9);

- разрушение кирпича оштукатуренной и окрашенной наружной кладки в результате размораживания с последующим выпадением фрагментов наружной кладки (рис. 10).

Для того чтобы определить причины возникающих дефектов, вспомним историю вопроса и наиболее распространенные варианты устройства наружных стен с применением технологии облегченной кладки.

Данная технология достаточно давно известна в отечественном строительстве под названием колодезная кладка и применялась до 70-х годов XX в. во всех климатических регионах СССР. При этом не раз проявлялись деструктивные процессы, происходящие в стенах зданий, построенных по этой технологии и находящихся в эксплуатации от 5 лет и более.

Особенно часто такие процессы фиксировались в регионах с большими сезонно-суточными температурными перепадами при относительно высокой влажности воздуха (Дальний Восток, Прибайкалье, ряд регионов Восточной и Западной Сибири). Нехватка строительных материалов со специальными свойствами (кирпич повышенной паропроницаемости и высоких марок морозостойкости, нержавеющая сталь для гибких связей, эффективные виды утеплителя с высокими сроками службы) и широкое распространение панельного домостроения на некоторое время сократили объемы применения указанной технологии при устройстве наружных стен зданий.

С середины 90-х годов подобные технологии вновь стали достаточно широко применяться, что обусловлено появлением на рынке широкой номенклатуры современных видов утеплителей, изделий из коррозионноустойчивых сталей и различных видов облицовочного кирпича, а также резким увеличением объемов монолитного домостроения. Также, в это время значительно повысились требования к показателям энергоэффективности ограждающих конструкций.

Однако, нормативная база, определяющая правила и требования к проектированию и условиям производства работ по технологии облегченной кладки, не претерпела сколько-нибудь существенных изменений. В первую



Рис. 1. Дом в г. Железнодорожном после обрушения части фасадной кладки облегченного типа



Рис. 2. Облицовочные кирпичи наружной части кладки с выпавшими отдельными фрагментами



Рис. 3. Выпавшие участки наружной части кладки в местах ее опирания или примыкания снизу к плитам перекрытий или несущим стальным опорным кронштейнам

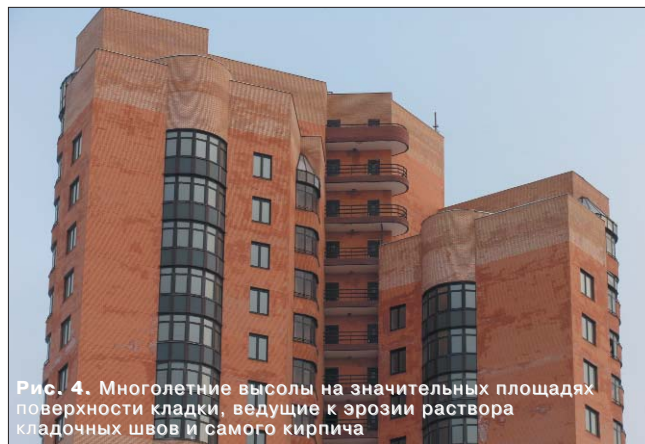


Рис. 4. Многолетние высолы на значительных площадях поверхности кладки, ведущие к эрозии раствора кладочных швов и самого кирпича

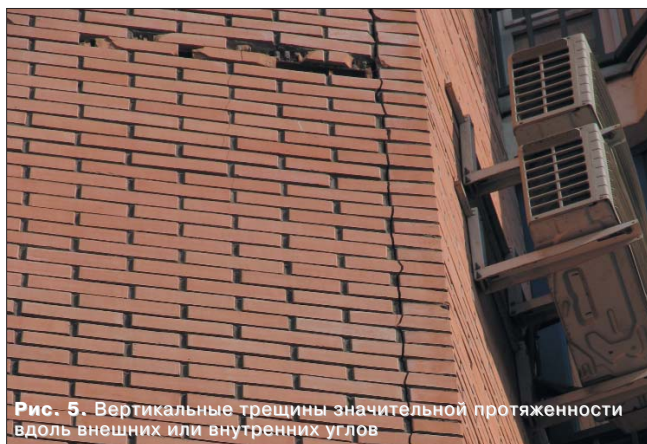


Рис. 5. Вертикальные трещины значительной протяженности вдоль внешних или внутренних углов



Рис. 6. Трещины различной ориентированности и степени раскрытия в кладке вокруг проемов



Рис. 7. Размораживание участков внешней кладки, примыкающих к перекрытиям



Рис. 8. Обрушение облицовочной плитки или штукатурки с торцов плит перекрытий



Рис. 9. Многочисленные трещины оштукатуренных и окрашенных стен



Рис. 10. Разрушение кирпича оштукатуренной и окрашенной наружной кладки в результате размораживания с последующим выпадением фрагментов наружной кладки

очередь это касается требований по безопасности в условиях долговременной эксплуатации зданий. Например, общий объем информации по требованиям к возведению стен из облегченной кладки в СНиП 3.03.01–87 «Несущие и ограждающие конструкции», и в СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции» составляет всего около 50 (!) строк стандартного текста. Это весь объем нормативной документации по данному вопросу в настоящее время. При этом существуют различные альбомы типовых решений, выпущенные рядом проектных институтов, имеющие справочно-рекомендательный статус и значительное количество необоснованных или неоднозначно трактуемых решений. Это привело к тому, что заказчику – застройщику еще на стадии проектирования закладывают относительно дешевые, но технически необоснованные решения по устройству наружных стен без учета реальных теплотехнических процессов, происходящих внутри ограждающих конструкций и значительно влияющих на срок их службы. Положение усугубляется тем, что результаты вышеуказанных ошибок выявляются далеко не сразу, а после нескольких лет эксплуатации зданий и, как правило, после окончания гарантийных сроков.

Наиболее распространены два варианта устройства наружных стен с применением технологии облегченной кладки.

Вариант А: опирание наружной кладки из кирпича на железобетонные монолитные перекрытия. При этом в монолите «краевой» части перекрытия выполняется сквозная перфорация прямоугольными отверстиями, куда закладывается утеплитель из пенополистирола (ПСБ-С) или минераловатных плит (МВП). Отверстия располагаются вдоль основной, внутренней стены с шагом 300–400 мм и, как правило, имеют длину 350–500 мм, а ширина соответствует толщине утеплителя (ПСБ-С или МВП), крепящегося к внешней плоскости внутренней стены. Называется это «термоизолирующие вставки». Иногда ширина вставок больше толщины утеплителя стены на величину воздушного зазора (20–50 мм) между внешней поверхностью утеплителя и внутренней поверхностью наружной части кладки.

Внутреннюю стену выполняют из монолитного бетона, кирпича или ячеистобетонных блоков. Реже – из керамзитобетонных или шлакобетонных блоков. Кладку наружной части стены выполняют из кирпича. Толщина кладки – 120 мм (½ кирпича).

В зависимости от вариантов внешней отделки здания, для наружной кладки применяют или различные виды кирпича под оштукатуривание с последующим окрашиванием, или облицовочный кирпич (в том числе с глазурованной поверхностью) «под расшивку». Торцы перекрытий, на которые опирается внешняя кладка, отделяют либо оштукатуривают и окрашивают (а иногда – просто шпаклюют и окрашивают), либо отделяют специальной керамической плиткой под кирпич. Крепление наружной части кладки к внутренней стене осуществляется гибкими связями, как правило – стальными, иногда – из коррозионностойкой стали (к сожалению – крайне редко).

Вариант Б: опирание наружной кладки из кирпича на несущие стальные конструкции, закрепленные анкерами в торцы монолитных перекрытий или во внутреннюю часть наружных стен, если она выполнена из монолитного бетона. Все остальное – примерно так же, как в варианте А. Внешняя отделка таких стен также выполняется двумя принципиально разными вариантами: кладкой из облицовочного кирпича с расшивкой швов или то же, но с последующей штукатуркой и окраской или облицовкой керамической плиткой.

Рассмотрим некоторые теплотехнические процессы, происходящие внутри стены из облегченной кладки, где вну-

тренняя часть кладки выполнена из кирпича с утеплителем в стене и теплоизолирующих вставках из МВП (рис. 11а).

Изнутри на стену воздействует тепло (эксплуатационная расчетная температура $+18$ – $+22^{\circ}\text{C}$) и водяной пар от эксплуатации помещений биологическими объектами и различным техническим оборудованием, стремящийся наружу, так как парциальное давление водяного пара внутри помещения обычно выше, чем снаружи. Извне на конструкцию стены воздействует отрицательная расчетная зимняя температура (разная для разных регионов). Для упрощения не будем учитывать воздействие влаги межсезонных осадков на внешнюю кладку в сочетании с ночными заморозками.

Паровоздушная смесь при относительно высокой температуре помещения достаточно легко проходит через внутреннюю часть кладки с небольшим снижением температуры и давления водяного пара на выходе из стены. Далее на пути – утеплитель из МВП, пропускающий пар намного лучше, чем кирпич кладки, но поглощающий своим массивом часть положительной температуры. На выходе из массива утеплителя, то есть на границе участков (5 и 3) получается относительно насыщенная паровоздушная смесь (почти такая же, что поступила в стену из помещения) с пониженной температурой.

Отрицательная температура окружающей среды воздействует на наружную кладку в холодное время года и полностью промораживает ее. При этом значительно понижается температура воздушного зазора (3). При снижении температуры до $+8$ – $+10^{\circ}\text{C}$ создаются благоприятные условия для выпадения конденсата из насыщенной паровоздушной смеси. И это при нормальном парциальном давлении водяного пара. А в данной ситуации давление неизбежно будет расти, так как скорость прохождения пара через относительно холодную наружную кладку из облицовочного кирпича на обычном растворе существенно ниже скорости, с которой пар двигался до этой границы. И деваться этому избыточному давлению некуда, так как воздушный зазор замкнут и поэтому обязательно учитывается при теплотехнических расчетах.

Рост давления пара в свою очередь повышает расчетную температуру возможного выпадения конденсата и в результате получается постепенное выпадение конденсата во всем объеме наружной кладки, далее в воздушном зазоре и в глубине массива утеплителя.

Глубина и количество выпадения конденсата в утеплителе зависит от множества характеристик материалов, особенностей погоды (не только холодного, но и теплого периодов года) и считается в каждом случае отдельно. Эти показатели понятны и прогнозируемы стандартными методами теплотехнических расчетов.

Гораздо более сложная ситуация складывается на границе прямого контакта утеплителя с охлажденным бетонным перекрытием (6, 7). Температура резко охлаждаемого монолитного участка (2) значительно ниже температур участков (4, 3), и на границе этих участков очень быстро начинает выпадать конденсат, причем гораздо раньше, а значит и больше по объему, чем в остальном массиве стены. Особенно на участке (6). При этом конденсат активно впитывается утеплителем, имеющим более высокую температуру, чем бетон. Утеплитель намокает, теряет свои теплоизолирующие свойства, граница выпадения конденсата сдвигается все глубже внутрь утеплителя, что вызывает еще большее намокание и т.д.

Процесс развивается по нарастающей. При этом начинает образовываться наледь из замерзающего конденсата, находящегося на поверхности бетона, так как намокший утеплитель уже не обеспечивает положительную температуру во всем объеме воздушного зазора, особенно на границе участков (2 и 3). Наличие льда на поверхности бетона в воздушном зазоре, в свою очередь, резко охлаждает окружающее пространство, как воздух,

так и материал утеплителя. Это увеличивает скорость выпадения конденсата и скорость образования наледи. При определенных погодных условиях (резкие суточные или многодневные перепады с относительно низкими ночными и относительно высокими — немного выше 0°C дневными температурами) процесс может принимать лавинообразный характер.

Конечно, вышеописанный процесс происходит не так уж быстро. До определенного времени сказывается влияние положительных температур теплоизолирующей вставки (4). Как только из-за погодных «чудес» начнется выпадение конденсата, остановить процесс может только резкое и долговременное потепление. Причем, срабатывает оно только на стенах, выполненных из относительно паропроницаемого, то есть неглазурованного облицовочного кирпича предпочтительно на специальном «пористом» растворе. Тогда, при резком повышении температуры поверхности стены под прямыми солнечными лучами, избыток влаги в виде пара начнет выходить из конструкции даже в зимний период. Во всех остальных случаях этого не происходит.

Рассмотрим процессы, происходящие в сечении без теплоизолирующей вставки (рис. 11б). Все явления происходят также, как описано выше, только встреча «зимы» и «лета» в массиве монолита плиты произойдет гораздо раньше, и условия для конденсатообразования возникнут тоже раньше и на большей площади поверхности бетона. Для быстрого намокания не только утеплителя, но и самого бетона создаются самые благоприятные условия. Соответственно, шансов на образование льда (с соответствующим влиянием на соседние участки со вставками) во внутреннем объеме наружной стены становится существенно больше.

Конечно, вышеописанная ситуация несколько утрирована. На самом деле, схемы происходящих процессов намного сложнее. Взаимное влияние участков со вставками на участки без них носит сложный характер. Однако, это примерно так и происходит на самом деле, что подтверждается результатами обследований и визуальных наблюдений. К тому же, для анализа был рассмотрен действительно сложный случай с точки зрения комбинации материалов кладки и утеплителя. Например, если внутреннего стена выполнена из монолитного бетона хорошего качества, в качестве утеплителя применен ПСБ-С, жестко выдержаны параметры воздушного зазора, по-другому выполнено устройство вставок, для внешней кладки «под расшивку» применен высокопористый облицовочный кирпич, то, как правило, проблем не возникает. Если внутренняя стена выполнена из высокопаропроницаемых ячеистобетонных блоков, то вообще непонятно, какой утеплитель можно применять, чтобы избежать или паробарьера на выходе из внутренней стены, или огромного количества конденсата на поверхности утеплителя по всей площади воздушного зазора. Тогда ситуация становится даже хуже описанной в примере.

Если посчитать коэффициент теплотехнической неоднородности вышеописанных конструкций с применением теории температурных полей, то по прямой стене он может достигать значения 0,5, а по внешним углам зданий — до 0,2. Отсюда вывод о необходимости значительного увеличения толщины утеплителя. А это уже совсем другая экономика строительства, и другая конструкция стен и др.

Анализ фактов и обстоятельств, которые удастся выяснить при определении причин возникновения вышеперечисленных дефектов, позволяет определить основные причины.

1. Нарушения при производстве теплотехнических расчетов. Отсутствие учета процессов паропереноса в объеме ограждающих конструкций, что влечет за собой ошибки в оценке объемов выпадающего конденсата и показателей

увлажнения стен. Показатели влажности материалов определяют их устойчивость и долговечность в условиях замораживания-оттаивания конструкции.

2. Ошибки в части устройства температурно-деформационных швов в наружной кладке ввиду отсутствия точных и технически обоснованных требований и рекомендаций, учитывающих особенности работы наружной кладки под воздействием различных климатических воздействий с учетом возможных вариантов ее опирания и крепления к несущей внутренней стене. При этом в Центральном регионе не редкость пиковые температурные нагрузки: зимой до -40°C , летом более $+30^{\circ}\text{C}$, а долговременные прогнозы синоптиков обещают ежегодное увеличение пиковых нагрузок при общем увеличении среднегодовой температуры.

3. Отсутствие технических решений, гарантированно устраняющих проблемы мостиков холода, локально возникающих поэтажно и по всему периметру здания в местах опирания наружной кладки на перекрытия. Этот процесс в условиях отсутствия миграции конденсата в виде насыщенного водяного пара носит лавинообразный характер и развивается по принципу цепной реакции. Данная проблема мало изучена и требует исследований и соответствующих изменений в применяемых технологиях.

4. Отсутствие технических решений, устраняющих проблему выпадения конденсата в объеме утеплителя и на внутренней поверхности наружной кладки в условиях отсутствия конвективных процессов переноса воздуха в замкнутом воздушном зазоре при резких перепадах температуры (суточные — в межсезонье ранней весной и поздней осенью, сезонные пиковые падения температуры ниже -30°C). Указанный процесс возникает практически во всех случаях, когда внешняя поверхность наружной кладки оштукатуривается и окрашивается или облицовывается керамической плиткой.

5. Отсутствие подтвержденных испытаниями показателей долговечности теплоизолирующих материалов, позволяющих выбрать материалы, обеспечивающие безаварийную работу всей конструкции в течение всего нормативного срока эксплуатации зданий и сооружений.

6. Применение материалов для наружной кладки, не обеспечивающих необходимую степень паропроницаемости конструкции (непоризованные кладочные растворы, практически паронепроницаемый облицовочный кирпич с глазурованной стекловидной поверхностью).

Надежность и качество стен, выполняемых по данной технологии, во многом зависит от человеческого фактора. Монтаж утеплителя, устройство воздушного зазора, монтаж гибких связей и несущих кронштейнов — весь этот комплекс работ относится к скрытым работам, поэтому роль постоянного контроля становится определяющей в борьбе за итоговое качество конструкции. Так как доступ к ранее выполненным работам после кладки наружной части стены ограничен, а чаще просто невозможен, представляется сомнительной гарантия качества перечисленных видов работ, нарушения в которых даже в незначительных объемах через некоторое время неизбежно приводят к тяжелым последствиям. Например, некачественный монтаж плит утеплителя или неправильный выбор их марки обязательно приведет к массивному выпадению конденсата внутри конструкции с последующим образованием льда и разрушением внешней кладки на значительных площадях.

Положение осложняется тем, что в настоящее время отсутствуют доступные для широкого применения методы инструментального контроля, которые позволяли бы проводить выборочный осмотр состояния элементов внутреннего объема выполненной кладки. Применение тепловизионной съемки в данном случае оказывается малоэффективным, потому что реальные показатели качества и эффективности выполненных работ по устрой-

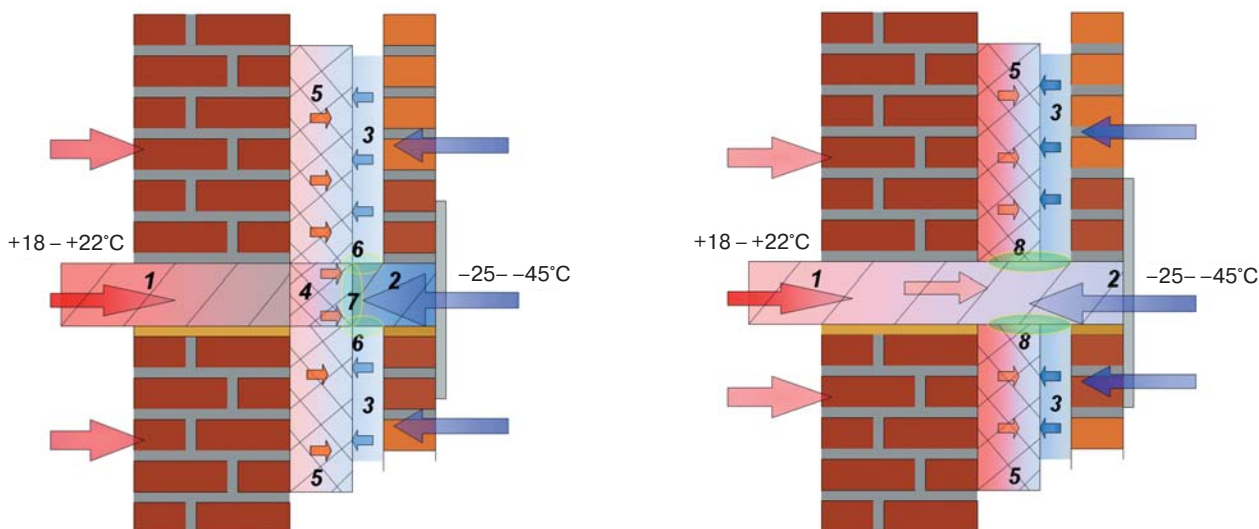


Рис. 11. Сечение стены и перекрытия с теплоизолирующей вставкой (а) и без вставки (б): 1, 2 – плита перекрытия; 3 – воздушный зазор; 4 – теплоизолирующая вставка (МВП); 5 – утеплитель стены; 6, 7, 8 – зона контакта бетона и утеплителя

ству наружного утепления можно определить только через 1–1,5 г. после окончания всех общестроительных и отделочных работ, связанных с мокрыми процессами. Как правило, именно такое время требуется, чтобы в ограждающих конструкциях под воздействием эксплуатационных нагрузок установился истинный температурно-влажностный баланс. Кроме того, выполнение тепловизионной съемки наружных стен из облегченной кладки в любое другое время года, кроме периода окончания зимы и начала весны (как правило, это 2–3 недели) не имеет смысла, и результаты такой съемки просто могут ввести в заблуждение. Причина заключается в том, что процесс набора влаги утеплителем, достигает наивысших показателей именно к концу холодного периода года.

В итоге, события в г. Железнодорожном требуют действия, пока они не стали нормальным явлением, как провалы грунта в Москве. Наверное заинтересованные организации должны начать широкомасштабные технические обследования «дефектных» зданий, собрать результаты этих обследований и серьезно проанализировать. Только подход должен быть действительно серьезным, а не так, как у нас обычно бывает: спали, спали, а потом по команде сверху проснулись и побежали, лишь бы отпартовать. Представляется, что на бегу эту проблему решить будет сложновато. Хотя, конечно, можно и еще подождать. Пока само отвалится. «Процесс», как говорил в свое время один политический деятель, «пошел»...



2007 China (Zibo) International Ceramics Industry Exhibition

CZCIE

Международная выставка
Промышленной Керамики 2007 Китай (Зибо)

September 6–9, 2007
6–9 сентября 2007

The second largest exhibition
for the ceramics industry in China

Вторая по величине выставка
для керамической промышленности в Китае



新之联展览服务有限公司
UNIFAIR EXHIBITION SERVICE CO., LTD.

Add: Rm. 902-903, Daxin Building,
No. 538 Dezheng North Road,
Guangzhou, China 510045
Tel: 0086 20 8327 6369 / 8327 6389
Fax: 0086 20 8327 6330 / 8327 6350
E-mail: czcie@unifair.com
Website: <http://czcie.unifair.com>

Simultaneity with:

2007 China (Zibo) International Ceramics Expo
2007 World Ceramics Purchasing Fair

CZCIE

2007 China (Zibo) International
Ceramics Industry Exhibition