

УДК [614.841.332:691.327.33]:620.181.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРЕВА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА**Нгуен Тхань Киен, Кудряшов В.А., Дробыш А.С.**

Разработаны соответствующие методики и проведены экспериментальные исследования по моделированию прогрева конструкций из автоклавного ячеистого бетона в условиях пожара. Результаты теплового моделирования и испытаний теплофизических характеристик позволили оценить теплоизолирующие свойства исследуемых конструкций при пожаре. Получены экспериментальные данные поведения и прогрева тонких ячеистобетонных стен толщиной 120 мм с элементами жесткости из стальных профилей при пожаре. Разработана численная конечно-элементная модель, описывающая характер локального разрушения стены.

Ключевые слова: огнестойкость; автоклавный ячеистый бетон; экспериментальные исследования, теплопроводность, разрушение, усадка.

(Поступила в редакцию 21 марта 2016 г.)

Введение. Огнестойкость строительных конструкций является одной из основополагающих характеристик в области пожарной безопасности. Данное положение характерно для многих стран, в том числе Беларуси и Вьетнама. Оно обусловлено прежде всего тем, что никакими рациональными мерами невозможно полностью исключить вероятность возникновения пожара. При этом должна быть обеспечена «устойчивость несущих и ограждающих конструкций при пожаре в течение времени, достаточного для безопасной эвакуации, выполнения спасательных действий и тушения пожара, а также для сохранения сооружения от разрушения и выполнения средствами противопожарной защиты и пожаротушения своих функций» [1].

Исходя из основных целей огнестойкости, время, в течение которого конструкция должна сопротивляться огневому воздействию, не теряя своей устойчивости, будет тем выше, чем более масштабное здание будет принято к рассмотрению. С другой стороны, функция огнестойкости не может быть бесконечной и должна быть разумно ограничена предельной продолжительностью возможного пожара. Понимая, что в одном и том же помещении в зависимости от сочетания количества и типа пожарной нагрузки и условий вентиляции может быть реализовано бесчисленное множество пожаров, тлеющих, локальных и объемных, определить однозначно функцию плотности суммарного теплового потока к конструкциям не представляется возможным. Поэтому на практике используют так называемый классический принцип определения огнестойкости – с использованием стандартного огневого воздействия [2].

Стандартное огневое воздействие является одной из наиболее унифицированных характеристик в области технического нормирования. Сформулированная более 100 лет назад, она и сегодня является актуальной и в неизменном виде используется испытательными лабораториями и проектировщиками Европы, в том числе Беларуси и Вьетнама [3, 4]. Поэтому предел огнестойкости, определенный под воздействием теплового потока от газовой среды с изменяющейся температурой, соответствующей зависимости стандартного огневого воздействия (1), является единым для большинства стран мира.

$$\theta(\tau) = 345 \cdot \lg(8\tau + 1) + \theta_0, \quad (1)$$

где θ – значение температуры обогревающей среды, °С; τ – время от начала температурного воздействия; θ_0 – начальное значение температуры обогревающей среды, °С.

Не трудно убедиться, что функция (1) является бесконечной монотонно возрастающей, которая в пределах длительности температурного воздействия до 5 минут резко повышается до 576 °С, а затем в пределах от одного до четырех часов (в этот диапазон попадает большинство реальных пожаров) принимает значение 945...1153 °С. Поэтому вопрос огнестойкости (впрочем, как и любой другой характеристики пожарной опасности) в большинстве случаев сопряжен с изучением свойств материалов до 1000...1200 °С, и только в исключительных случаях выше (например, для пожаров с горением углеводородов).

При всех своих преимуществах стандартное огневое воздействие не лишено недостатков. И если повышение температуры выше 1200 °С в течение первого часа является не самым распространенным случаем, то к самому серьезному недостатку следует отнести от-

сутствие стадии охлаждения температурного воздействия. Этот параметр в литературе часто уже не относят к непосредственно огнестойкости, а считают «огнесохранностью» [5], хотя эти два понятия неразлучно фигурируют на любом пожаре и влияют на безопасность людей. В большинстве стран огнесохранность в настоящее время никак не регулируется, хотя косвенно обеспечивается запасами по огнестойкости.

Понятие «предел огнестойкости» всегда условно разделяется на три основные функции: R (resistance) – несущая способность, E (integrity) – целостность; I (isolation) – теплоизолирующая способность [2]. Несущая способность (R) предполагает функцию потери прочности и устойчивости конструкции при пожаре, в то время как целостность (E) и теплоизолирующая способность (I) есть функция потери ограждающей способности конструкции. Для стержневых конструкций применяется только функция (R), для плоскостных конструкций могут применяться все три функции (REI) в различных сочетаниях.

Таким образом, огнестойкость конструкции – обобщенный показатель безопасности конструкции, который определяется ее прочностными и теплотехническими характеристиками в диапазоне температур до 1200 °С. На основании сформулированных принципов огнестойкости были запланированы и проведены экспериментальные исследования и моделирование прогрева образцов автоклавного ячеистого бетона, позволивших разработать методику оценки огнестойкости конструкций с применением указанного материала.

Методика экспериментальных исследований. Целью экспериментальных исследований являлось получение теплотехнических характеристик, необходимых для аналитического описания и моделирования огнестойкости и огнесохранности конструкций автоклавного ячеистого бетона. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведены тепловые исследования образцов, изготовленных из автоклавного ячеистого бетона, и получены необходимые данные по изменению теплоемкости и теплопроводности материала при повышенных температурах.

2. Проведены натурные огневые испытания тонких перегородок, выполненных из автоклавного ячеистого бетона, в сочетании со стальными элементами жесткости, а также конструктивной огнезащитой и получены необходимые данные для апробации аналитических методик и моделирования на основе диаграмм деформирования и иных теплотехнических свойств автоклавного ячеистого бетона.

В силу ограниченного объема, в настоящей статье рассмотрены только тепловые исследования прогрева конструкций из автоклавного ячеистого бетона в условиях пожара в диапазоне температур 200...1000 °С.

Теплотехнические характеристики автоклавных ячеистых бетонов при нормальных условиях изучены достаточно полно [6]. Это обусловлено широким применением указанного материала в качестве теплоизолирующего. Однако характер изменения теплотехнических характеристик при повышенной температуре, соответствующей температуре пожаров, остается не достаточно изученным вопросом. Подробные данные по изменению теплотехнических характеристик позволят более точно оценить огнестойкость конструкций, выполненных с применением автоклавных ячеистых бетонов, а также использовать указанный материал в качестве эффективной огнезащиты.

Принимая во внимание, что теплотехнические характеристики определяются путем решения обратной задачи теплопроводности, было принято решение изучить тепловое сопротивление пластинок, выполненных из автоклавного ячеистого бетона на испытательном оборудовании, позволяющем моделировать высокотемпературное воздействие пожара.

В качестве оборудования для моделирования стационарного теплового воздействия пожара была применена испытательная установка для оценки воспламеняемости материалов по ГОСТ 30402 [7]. Отличительной особенностью указанной установки является конусообразная радиационная панель, выполненная с применением электрических нагревательных элементов. Указанный нагреватель позволяет создавать достаточно равномерный стационарный тепловой поток на поверхности испытуемой пластины, плотностью от 5 до 40 кВт/м². Такие значения плотности теплового потока характерны для начальной стадии пожара и соответствуют принятым нормативным данным по оценке воздействий пожара [8]. В качестве экспериментальных образцов допускается использовать пластины в форме квадрата размерами 165x165 мм и толщиной до 70 мм. Для экспериментальных исследований было подготовлено 14 образцов толщиной 10...15 мм, выпиленных из блоков автоклавного ячеистого бетона класса по прочности на сжатие В2,5 и марки по плотности D500 согласно СТБ 1117 [9].

Сущность испытаний заключалась в воздействии на образцы-пластины стационарного одностороннего теплового потока плотностью $5...40 \text{ кВт/м}^2$. В ходе испытаний фиксировали значение температуры на нагревательном элементе установки, на обогреваемой и необогреваемой поверхности образцов посредством хром-алюмелевых термоэлектрических преобразователей. Первая серия испытаний была пробной, поэтому проводилась с шагом в 5 кВт/м^2 для каждого образца длительностью не более 15 минут. Вторая серия испытаний была контрольной, для нее были проведены по два испытания с плотностью теплового потока 20 и 40 кВт/м^2 длительностью не более 30 минут.

В ходе проведения испытаний было выявлено, что открытый способ испытания, предусмотренный установкой по ГОСТ 30402 [7] хорошо позволяет оценить температуру обогреваемой поверхности образца под воздействием стационарного радиационного теплового потока постоянной плотности, но при этом значение температуры на необогреваемой стороне образца обусловлено значительными потерями в окружающую среду. Кроме того, диапазон мощностей указанной установки не позволяет поднять температуру выше $700 \text{ }^\circ\text{C}$, что ниже температуры, образующейся на реальных пожарах. Поэтому было принято решение провести дополнительные испытания с использованием муфельной печи, оборудованной для оценки эффективности огнезащитных покрытий согласно СТБ 11.03.02 [10].

Согласно СТБ 11.03.02 [10], испытания огнезащитных покрытий проводят на стальных пластинах толщиной 2 мм размерами $210 \times 210 \text{ мм}$. При этом стальная пластина крепится на дверцу муфельной печи таким образом, что образец подвергается нестационарному одностороннему тепловому воздействию. Тепловой режим в печи должен соответствовать стандартному температурному режиму. Однако технические характеристики муфельной печи с электрическими нагревателями не позволяют обеспечить такую скорость нагрева. Для соответствия требованиям, муфельную печь предварительно разогревают до температуры $450 \text{ }^\circ\text{C}$ с использованием специального теплового экрана (т. е. с открытой дверцей). При достижении требуемой температуры тепловой экран снимают и в течение 30 секунд закрывают дверцу с заранее установленным образцом. Температура в камере муфельной печи при этом падает, но разогретые стенки печи способствуют быстрому последующему нагреву, соответствующему стандартному огневому режиму.

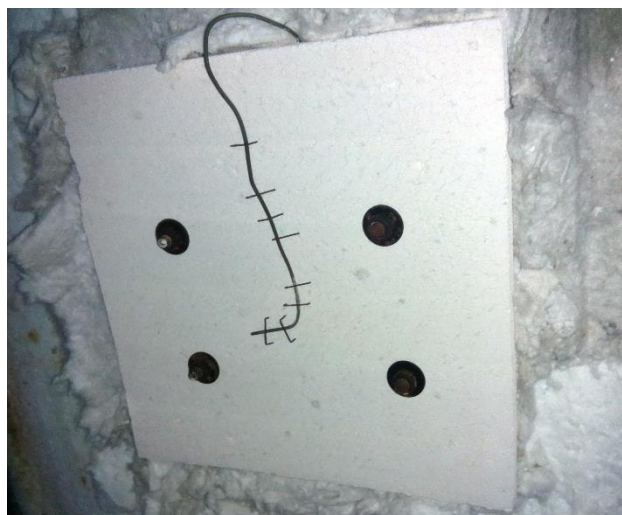


Рисунок 1 – Общий вид испытаний при нестационарном тепловом потоке стандартного режима в муфельной печи

При тепловых испытаниях пластин ячеистого бетона был принят аналогичный подход, за тем исключением, что испытываемый образец крепился к стальной пластине уменьшенного размера ($100 \times 150 \text{ мм}$) посредством четырех болтов диаметром 6 мм с шайбами диаметром 18 мм. Болты не затягивали вплотную, чтобы дать возможность пластине искривляться под действием температурных деформаций, не разрушаясь. При этом с каждой стороны образца устанавливали хромель-алюмелевые термоэлектрические преобразователи для фиксации температуры на обогреваемой и необогреваемой стороне. С учетом конструктивной изоляции дверцы муфельной печи необогреваемая сторона может быть принята теплоизолированной. К испытаниям были приняты 4 пластины с усредненными размерами $20 \times 210 \times 210 \text{ мм}$ и 4 пластины с усредненными размерами $10 \times 210 \times 210 \text{ мм}$ из ав-

токлавного ячеистого бетона класса по прочности на сжатие В2,5, марки по плотности D500 согласно СТБ 1117 [9]. Все образцы были изготовлены в ноябре 2014 года и кондиционировались при нормальных условиях в течение полутора года при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 50 ± 10 %. Общий вид испытываемого образца, установленного в муфельной печи, представлен на рисунке 1.

Для обеспечения процесса численного теплового моделирования были также проведены стандартные испытания по определению теплофизических свойств ячеистого бетона по СТБ 1618 [11] и импульсным методом лазерной вспышки.

Результаты экспериментальных исследований. Результаты теплового моделирования прогрева образцов автоклавного ячеистого бетона на установке по оценке воспламеняемости представлены на рисунке 2. При средней толщине образцов 11...14 мм и тепловом потоке плотностью до 15 кВт/м^2 в течение первых 15 минут устанавливается равновесие температур на обогреваемой и необогреваемой стороне. Для тепловых потоков $20 \dots 30 \text{ кВт/м}^2$ равновесие температур устанавливается только через тридцать минут. При этом вплоть до 20 кВт/м^2 температура на необогреваемой стороне не превышает 200 °С, что свидетельствует о теплоизолирующей способности по огнестойкости даже тонкой пластинки в течение 30 минут огневого воздействия, но при сравнительно слабых пожарах, менее мощных чем стандартный.

Следует отметить, что образцы, которые подвергались воздействию стационарного теплового потока плотностью 20 кВт/м^2 и выше претерпели деформации температурной усадки, которые в конечном итоге привели к появлению трещин и разлому пластин по границе нагрева.

Результаты теплового моделирования в муфельной печи образцов-пластин из автоклавного ячеистого бетона толщиной 10 и 20 мм при тепловом режиме, близком к стандартному, и идеальной теплоизоляции с тыльной стороны представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что тепловой режим в муфельной печи был близок к стандартному огневому режиму. Таким образом, пластинка толщиной 10 мм способна обеспечить теплоизолирующую способность по огнестойкости не более 5 минут стандартного пожара, в то время как пластинка толщиной 20 мм обеспечивает теплоизолирующую способность по огнестойкости в 2,5 раза дольше. Рост температуры на необогреваемой поверхности для всех образцов имеет близкий к линейному характер. После испытаний была также зафиксирована сильная температурная усадка пластин, которая привела к выгибу ее краев в сторону нагревающей среды с максимальным значением выгиба около 4,0 мм.

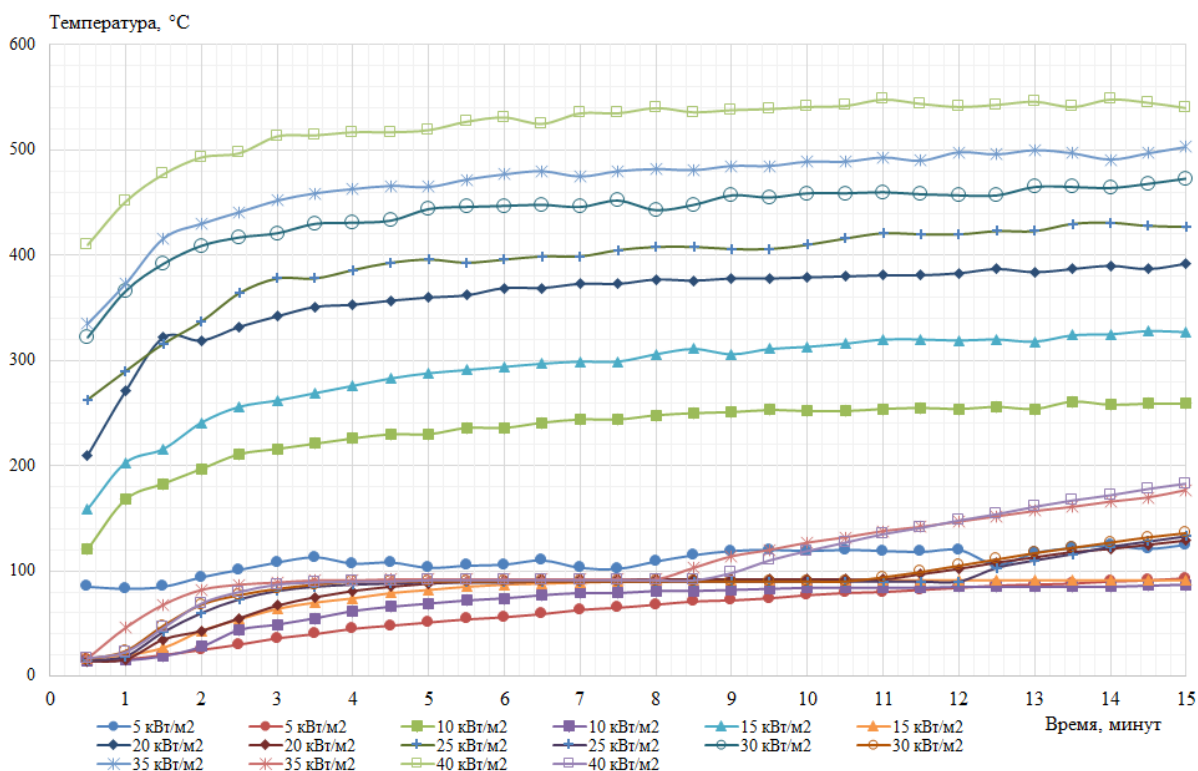


Рисунок 2 – Результаты моделирования прогрева ячеистого бетона при стационарном тепловом потоке

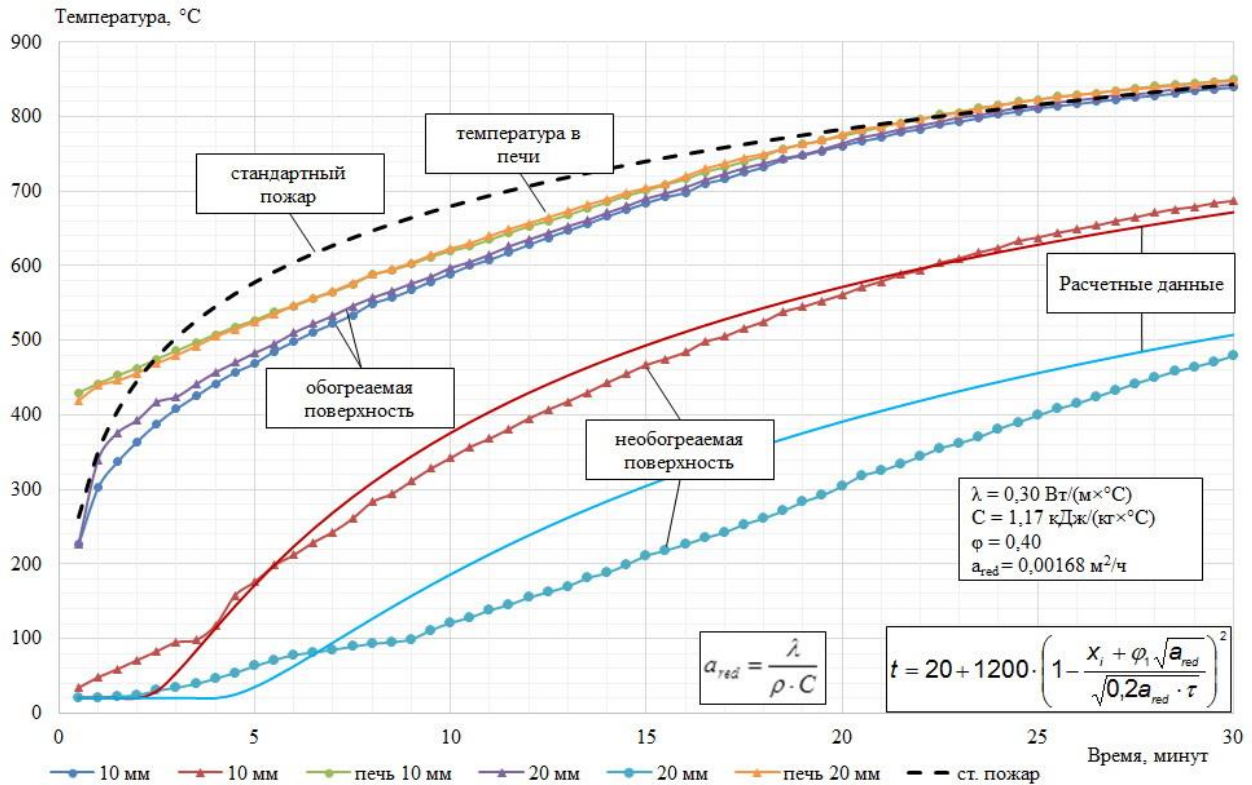


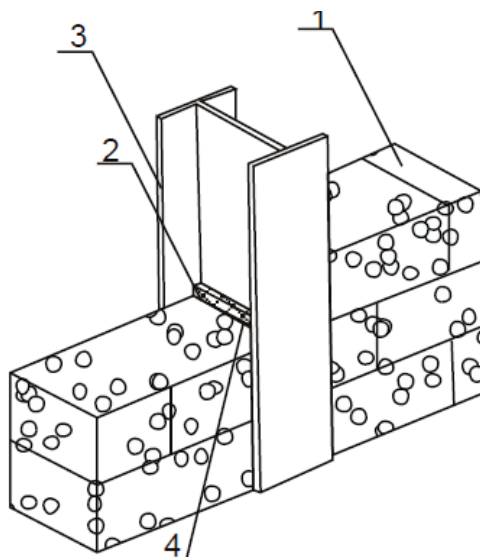
Рисунок 3 – Результаты моделирования прогрева ячеистого бетона при нестационарном тепловом потоке стандартного режима

В совокупности испытаний было проведено численное моделирование прогрева образцов, по методике, приведенной в работе [12]. Получена удовлетворительная сходимость результатов численного и экспериментального моделирования.

Натурные огневые испытания. Для оценки огнестойкости конструкций, выполненных из автоклавного ячеистого бетона авторами было принято участие в натуральных огневых испытаниях фрагмента конструктивной системы на основе стального каркаса с использованием плитных огнезащитных материалов на гипсовом и цементном связующем при температурном режиме, близком к стандартному, образующимся в результате горения углеводородной нагрузки в здании (помещении) стандартной проемности со стенами, выполненными из перегородочных ячеистобетонных блоков толщиной 120 мм с элементами жесткости из стальных профилей и покрытием из стального профилированного листа с трапециевидными гофрами [13].

По сути ячеистые блоки в указанном эксперименте играли роль огневой камеры. При этом основная задача при проектировании фрагмента состояла в том, чтобы конструкции ячеистобетонных стен выдержали не менее 60 минут огневого воздействия, близкого к стандартному. Это можно было бы легко обеспечить за счет ячеистобетонных стен толщиной 300 мм и более, обладающих значительным пределом огнестойкости. Однако было принято решение использовать наиболее тонкие из возможных блоков, чтобы выявить предельные возможности ячеистого бетона как огнестойкого и огнезащитного материала, а также сократить расходы на возведение экспериментального фрагмента. Поэтому при проектировании ограждающих конструкций было принято решение использовать перегородочные блоки толщиной 120 мм. Такая перегородка представляет особый интерес, т. к. в зависимости от условий применения ее огнестойкость может сильно различаться. Так, согласно действующим нормам по огнестойкости каменных конструкций конструкций, ТКП ЕН 1996-1-2 [14], огнестойкость перегородки (стены) из автоклавных ячеистобетонных блоков толщиной 120 мм по ограждающей способности может быть от EI 180 до EI 240 (и менее), как несущей наружной ограждающей – от REI 60 до REI 120 (и менее), как внутренней несущей стены длиной более 1,0 м – R30 с отделкой, а в качестве внутренней несущей стены длиной менее 1,0 м ее огнестойкость и вовсе остается неопределенной («nvg» [14]).

Для исключения взаимного влияния огнестойкости, стены и стойки стального каркаса были запроектированы на удалении не менее 200 мм друг от друга. Для возведения стен на основании столбчатых монолитных фундаментов были установлены железобетонные ростверки размерами 150×150 мм каждый на утрамбованной песчаной подушке. При строительстве были использованы ячеистобетонные блоки автоклавного твердения Минского комбината силикатных изделий марки 2,5-500-3,5-1 по СТБ 1117 [9], размерами 625×120×249 мм (длина×ширина×высота). Ввиду того, что стены (перегородки) не были сопряжены с несущим каркасом, для обеспечения их устойчивости было применено решение по серии 1.431.6-28 [15] и Рекомендациям [16] (рисунок 4), предусматривающее включение элементов жесткости в виде двутаврового профиля № 12 по ГОСТ 8239 [17] в пределах толщины стены, каждый длиной 3,0 м.



1 – ячеистобетонные блоки; 2 и 4 – цементный раствор; 3 – ребро жесткости

Рисунок 4 – Способ обеспечения устойчивости наружной стены

Устойчивость каждого элемента жесткости снизу была обеспечена болтовым соединением М14 через пару уголков профиля № 10 по ГОСТ 8509 [18], заанкеренных в растверки. Сверху элементы жесткости из экономических соображений оставались незакрепленными, а раскреплены были лишь в середине длины через болтовое соединение М14 с Т-образными раскосами из спаренных уголков профиля № 10 по ГОСТ 8509 [18], жестко защемленных в монолитном фундаменте. В стенах с наличием дверного и оконного проемов были установлены по два элемента жесткости, в стенах без проемов – по одному. Оси элементов жесткости не совпадали с осями колонн и были смещены на расстояние не менее 500 мм.

Ячеистые блоки укладывались на клеевой состав марки «Тайфун Мастер» №18 (18М) марки М150 по СТБ 1307 [19] тонким слоем до 4 мм. В стене в осях 3/Б-В (см. рисунок 1 [13]) был предусмотрен оконный проем размерами 1000×1500 мм (ширина×высота), нижний срез оконного проема размещался на высоте 1000 мм от верхнего среза монолитных фундаментов. В стене в осях 1/А-Б был предусмотрен дверной проем размерами 1000×2100 мм (ширина×высота), нижний срез дверного проема размещался на уровне верхнего среза монолитных фундаментов. Кроме того, в стене по оси 3 на уровне 1700 мм от верхнего среза монолитных фундаментов были предусмотрено 3 измерительных проема размерами каждый 300×300 мм для крепления выносных индикаторов деформаций элементов стального каркаса. Аналогичные проемы были также предусмотрены в стене по оси А (один проем для средней стойки) и в стене по оси 1 (один проем для средней стойки). По верху стены (перегородки) из ячеистых блоков для отвода дождевой воды предусмотрен карнизный ряд, выполненный для блоков положенных на боковую сторону. Все горизонтальные и вертикальные внутренние и наружные швы кладки были тщательно зашпаклеваны клеевым составом. Общий вид фрагмента с построенными стенами из ячеистобетонных блоков в момент начала испытаний представлен на рисунке 5. При этом изнутри большая часть поверхности стен была защищена конструктивной огнезащитой на основе гипсовых и цементных плит с утеплителем из минеральной ваты. Лишь небольшой участок стены (сте-

на слева на рисунке 5) оставался не защищенным. Вид незащищенной стены изнутри показан на рисунке 6.

Сущность испытаний заключалась в изучении поведения и огнестойкости комплекса взаимосвязанных конструктивных элементов со сжиганием реальной пожарной нагрузки (около трех с половиной тонн масла и древесины) до полного разрушения. В ходе экспериментальных исследований производился замер температуры внутри фрагмента, на обогреваемой и необогреваемой стороне стен, в иных контрольных точках, фиксировались все факторы, влияющие на поведение конструкций при пожаре.



Рисунок 5 – Общий вид фрагмента с построенными стенами из ячеистобетонных блоков в момент начала испытаний



Рисунок 6 – Вид незащищенного участка стены изнутри здания

В ходе экспериментальных исследований установлено несовершенство проектного решения с включением стального двутавра в тело перегородки (стены) в качестве ребра жесткости. Уже на 9 минуте от момента розжига пожарной нагрузки были зафиксированы первые трещины в области измерительного проема вблизи ребра жесткости. К 21 минуте испытаний трещины принимали симметричную V-образную форму, через которые начали поступать продукты сгорания. В дальнейшем трещины раскрывались и к 30 минуте испы-

таний через них стало пробиваться пламя. Очевидно, что трещинообразование в ячеистобетонной перегородке было вызвано неравномерным прогревом и изгибом стального ребра жесткости. С 30 до 60 минут испытаний наблюдался медленный возврат стального ребра жесткости в плоскость стены. Следует также отметить, что аналогичный характер перемещений стальных ребер был зафиксирован и для других сторон фрагмента, однако это произошло позднее ввиду наличия огнезащиты и привело к менее серьезным повреждениям. На рисунке 7 представлены результаты численного моделирования локального разрушения ячеистобетонной стены методом конечных элементов. Видно, что разрушение стены вследствие тепловых деформаций расширения стали хорошо описывается эквивалентной силой, приложенной в направлении перемещений.

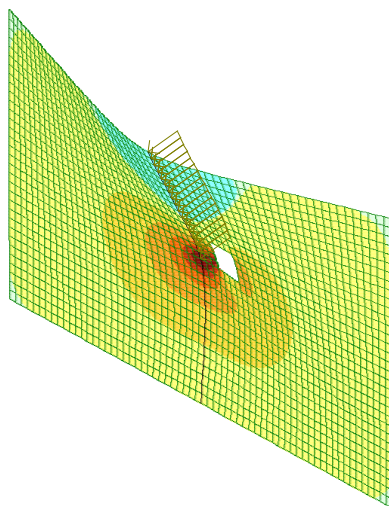


Рисунок 7 – Результаты численного моделирования локального разрушения стены

На 74 минуте испытаний было зафиксировано разрушение стального каркаса. При этом перемещения элементов каркаса привели к разрушению около 30 % конструкций стены. Принимая, что разрушение каркаса имело в определенной мере случайный характер, конструкция участка стены без конструктивной огнезащиты осталась не разрушенной, за исключением локального разрушения, рассмотренного выше.

Следует отметить, что при всех локальных разрушениях, незащищенная часть стены оказывала значительное сопротивление огневому воздействию. На рисунке 8 представлена тепловизионная фотография стены на 51 минуте от начала испытаний. Видно, что температура необогреваемой поверхности в среднем составляла 50...75 °С. Верхнее значение температуры из представленного диапазона характерно для горизонтальных швов.

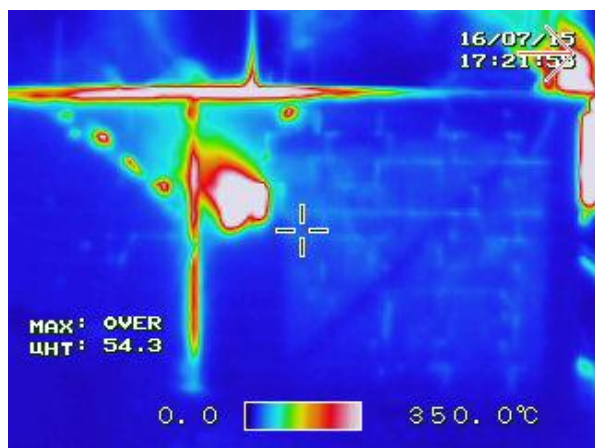


Рисунок 8 – Характер прогрева и разрушения стены из ячеистобетонных блоков по данным тепловизионной съемки на 51 минуте испытаний

На рисунке 9 представлен характер развития среднеобъемной температуры экспериментального пожара в сравнении со стандартным, температура необогреваемой поверх-

ности стены из ячеистобетонных блоков и стального ребра. Значение максимальной температуры необогреваемой поверхности стального ребра обусловлено предельными параметрами тепловизора (350 °С) и в диапазоне 50...70 минут экспериментального пожара была выше приведенной на графике.

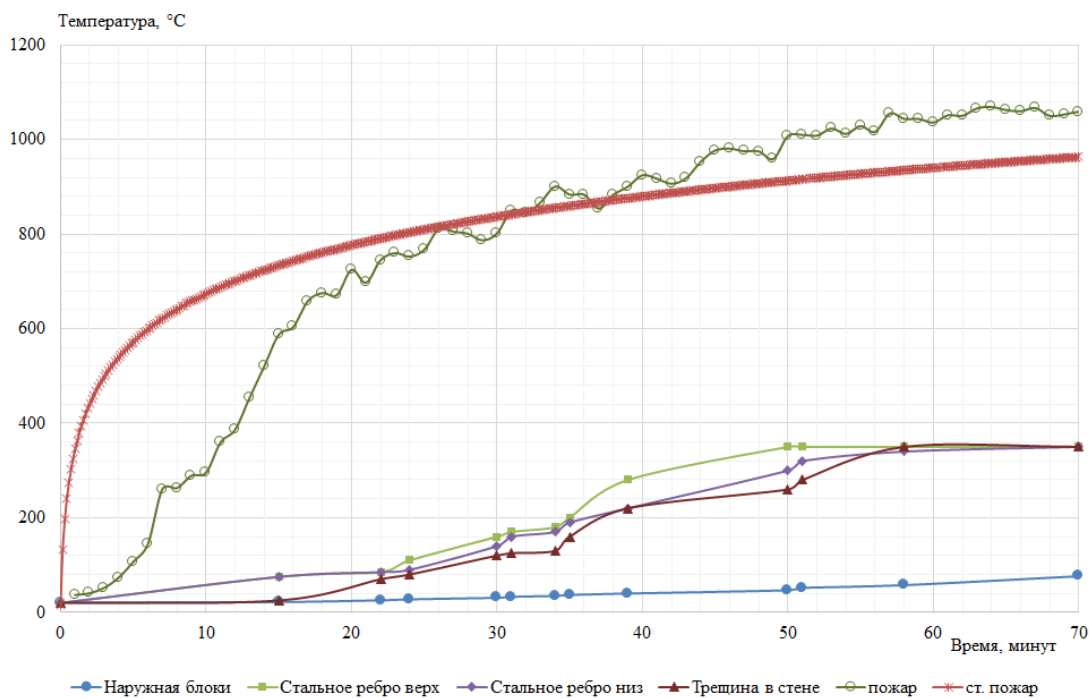


Рисунок 8 – Прогрев незащищенной стены из ячеистобетонных блоков

На рисунке 9 показано, что резкий прогрев стены при малой теплопроводности и высоком коэффициенте температурной усадки приводит к поверхностному разрушению обогреваемых слоев стены. Изучение излома ячеистобетонного блока показало, что усадочные трещины достигают глубины 30 мм, при этом отмечается характерное изменение цвета от желтого для наружных слоев (до 3 мм) до розовато-серого для слоев 5...30 мм.



Рисунок 9 – Поверхностная усадка и прогрев незащищенной стены из ячеистобетонных блоков

Заключение. В результате анализа основных параметров огневого воздействия, для оценки огнестойкости конструкций из автоклавных ячеистых бетонов разработаны соответствующие методики и проведены экспериментальные исследования по моделированию прогрева конструкций из автоклавного ячеистого бетона в условиях пожара. Результаты теплового моделирования и испытаний теплофизических характеристик позволили оценить теплоизолирующие свойства исследуемых конструкций при пожаре. Принято участие в планировании, проектировании, строительстве и испытании на огнестойкость натурального

фрагмента здания. Получены экспериментальные данные поведения и прогрева тонких ячеистобетонных стен толщиной 120 мм с элементами жесткости из стальных профилей при пожаре. Для обеспечения надежной огнестойкой перегородки либо стены не рекомендуется их сочетать со стальными элементами ввиду теплового расширения стали. Разработана численная конечно-элементная модель, описывающая характер локального разрушения стены. Отмечено, что ввиду низкой теплопроводности стены из ячеистобетонных блоков и ее температурной усадки, поверхностный слой подвергается усадочным повреждениям глубиной до 30 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТР 2009/013/ВУ. Технический регламент Республики Беларусь. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность. – Введ. 31.12.2009г. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 28 с.
2. ГОСТ 30247.0-94. Межгосударственный стандарт. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. – Введ. 01.10.1998г. – Взамен СТ СЭВ 1000-78. – Минск : Минстройархитектуры, 1998. – 16 с.
3. ТКП 45-2.02-142-2010 (02250). Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации – Введ. 01.12.2011 г. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 25 с.
4. QCVN 06: 2010/BXD. Технические нормы Вьетнама по пожарной безопасности зданий и сооружений. – Ханой, 2010. – 88 с.
5. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций – Введ. 20.10.2016 г. – Москва: ФГУП «НИЦ Строительство» 2006. – 81 с.
6. Галкин, С.Л. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика / С.Л. Галкин, Н.П. Сажнев, Стринко, Мн.:2006. – 448 с.
7. ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Методы испытания на воспламеняемость – Введ. 30.03.1997 г. – М. : ФГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1997. – 27 с.
8. ТКП EN 1991-1-2-2009. Еврокод 1 Воздействия на конструкции Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости - Введ. 10.12.2009 г. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 40 с.
9. СТБ 1117-98. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия. – Введ. 15.07.1998 г. – Минск : Минстройархитектуры и строительства Республики Беларусь, 1998. – 11 с.
10. СТБ 11.03.02-2010. Система стандартов пожарной безопасности. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний – Введ. 20.10.2010 г. – Минск : Госстандарт, 2010. – 40 с.
11. СТБ 1618-2006. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме. - Введ. 01.07.2006 г. – Минск : Минстройархитектуры и строительства Республики Беларусь, 1996. – 13 с.
12. Kudryashov V., Shirko A., Lupandin A., Nguyen T.K. Fire resistance evaluation of reinforced concrete structures. // Scientific Journal of RTU: Safety of Technogenic Environment. – 2012. № 3. – P. 45-49.
13. Полевода И.И. Экспериментальные исследования огнестойкости стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой / И.И. Полевода, В.А. Кудряшов, С.М. Жамойдик // Вестн. Командно-инженер. ин-та. МЧС Респ. Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 13-27.
14. ТКП EN 1991-1-2-2009. Еврокод 6 Проектирование каменных конструкций Часть 1-2. Общие требования определения огнестойкости - Введ. 10.12.2009 г. – Минск : Минстройархитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 125 с.
15. Серия 1.431.6-28. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Перегородки кирпичные зданий и сооружений. Выпуск 0. Материалы для проектирования. – Введ. 01.07.1988. – М. : Госстрой СССР, 1988. – 72 с.
16. Парута, В.А. Руководство по проектированию и возведению зданий с использованием изделий марки UDK GAZBETON / В.А. Парута, Е.В. Брынзин, Днепропетр. : 2009. – 213 с.
17. Межгосударственный стандарт. Двутавры стальные горячекатаные: ГОСТ 8239. – Введ. Введ. 27.09.1989 г.– Минск : ИПК издательство стандартов, 1989. – 12 с.
18. Межгосударственный стандарт. Уголки стальные горячекатаные равнополочные: ГОСТ 8509. – Введ. 01.01.1997 – Минск : ИПК издательство стандартов, 1997. – 12 с.
19. СТБ 1307 Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия. – Введ. 01.02.2002 г. – Минск : Минстройархитектуры и строительства Республики Беларусь, 2002. – 17 с.

WARMING SIMULATION FOR AUTOCLAVED AERATED CONCRETE STRUCTURES AT FIRE CONDITIONS

Nguyen Thanh Kien

University of Fire Fighting & Prevention, Ministry of Public Security
of the Socialist Republic of Vietnam, Hanoi, Vietnam

Vadim Kudryashov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

The state educational establishment «Institute for Command Engineers»
of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Anton Drobysh

The state educational establishment «Institute for Command Engineers»
of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Purpose. The paper is devoted to experimental study data of autoclaved aerated concrete warming simulation at fire conditions.

Methods. The specimens of autoclaved aerated concrete were heated in flaming machine and muffle furnace. Full-scale fire experiment was planned and conducted. The results of experiments were discussed.

Findings. The autoclaved aerated concrete structures have low thermal conductivity and high shrinkage rate at fire. The behavior and finite-element model for local destruction of autoclaved aerated concrete walls with steel stiffening elements was obtained. It is not recommended to use steel stiffening for fire walls and partitions.

Application field of research. The obtained experimental study data could be used in fire resistance design of autoclaved aerated concrete structures.

Conclusions. Fire resistance design of autoclaved aerated concrete structures should include heating study jointed with shrinkage rate, as far as adjacent elements behavior at fire.

Keywords: fire resistance, autoclaved aerated concrete, experimental study, thermal conductivity, destruction, shrinkage.

(The date of submitting: March 21, 2016)

REFERENCES

1. Technical Regulations 2009/013/BY Buildings and structures, building materials and products. Safety. The full-text information retrieval system «StroyDOCUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
2. Interstate Standard 30247.1-94 Elements of building constructions. Fire resistance tests methods. Loadbearing and separating constructions. The full-text information retrieval system «StroyDOCUMENT» [Electronic resource]. Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
3. Technical Code of Good Practice 45-2.02-142-2011 Buildings, building designs, materials and products. Rules of fire-technical classification. The full-text information retrieval system «StroyDOCUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
4. Technical norms of Vietnam QCVN 06: 2010/BXD Fire safety of buildings and constructions. Hanoi, 2010. 88 pages. (vnm.)
5. Standard organization 36554501-006-2006 Pravila po obespecheniyu ognestoykosti i ognesokhrannosti zhelezobetonnykh konstruktsiy [Rules for fire resistance and fire presering of reinforced concrete structures]. Moscow, 2006. 81 p. (rus)
6. Galkin S.L., Sazhnev N.P. *Primenenie yacheistobetonnykh izdeliy. Teoriya i praktika* [The use of aerated concrete products. Theory and practice]. Minsk : Strinko. 2006. 448 p. (rus)
7. Interstate Standard 30402-96 Building materials. Ignitability test method. The full-text information retrieval system «StroyDOCUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)

8. Technical Code of Good Practice EN 1991-1-2-2009 Eurocode 1 Actions on structures Part 1-2. General actions. Actions on structures exposed to fire. The full-text information retrieval system «StroyDOCUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
9. Blocks of aerated concrete wall. Specifications. Belarus Standard 1117-98. Affirmed 15.07.1998. Minsk: Gosstandard, 1998. 11 p. (rus)
10. Fire Safety Standards System. Fire safety standards system. Fire protection. General technical requirements and test methods: Belarus Standard 11.03.02-2010 Affirmed 24.09.2010. Minsk: Gosstandard, 2010. 21 p. (rus)
11. Building materials and products. The method of determining the thermal conductivity at a stationary thermal regime: Belarus Standard 1618-2006. Affirmed 01.07.2006. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of Belarus, 1996. 13 p. (rus)
12. Kudryashov V., Shirko A., Lupandin A., Nguyen T.K. Fire resistance evaluation of reinforced concrete structures. *Scientific Journal of RTU: Safety of Technogenic Environment*. 2012. № 3. P. 45–49.
13. Palevoda I.I., Kudryashov V.A., Zhamoidik S.M. Eksperimental'nye issledovaniya ognestoykosti stal'nykh karkasnykh konstruksiy s konstruktivnoy ognезashchitoy [Experimental study of fire resistance of steel frame structures of the structural fire protection] / I.I. Palevoda, V.A. Kudryashov, S.M. Zhamoidik. *Vestnik of the Institute for Command Engineers*. 2016. № 1(23). P. 13–27. (rus)
14. Technical Code of Good Practice EN 1991-1-2-2009 Eurocode 6 Design of masonry structures Part 1-2. General requirements for determining fire resistance. The full-text information retrieval system «StroyDOCUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
15. Series 1.431.6-28. Typical design, joints and components for buildings and structures. Brick partitions for buildings and structures. Release 0. Engineering supplies. Affirmed 01.07.1988. Moscow : Gosstroj USSR, 1988. 72 p. (rus)
16. Paruta V.A., Brynzin E.V. *Rukovodstvo po proektirovaniyu i vozvedeniyu zdaniy s ispol'zovaniem izdeliy marki UDK GAZBETON* [Guidelines for the design and construction of buildings with the use of brand products UDK GAZBETON]. Dnepropetr. : 2009. 213 p. (rus.)
17. Interstate Standard 8239-89 Beams steel, hot-rolled. Assortment. Affirmed 27.09.1989 Minsk : Standards Publishing House, 1989. 7 p. (rus)
18. Interstate Standard 8509-93. Hot-rolled steel equal-leg angels. Dimensions. Affirmed 01.01.1997 Minsk : Standards Publishing House, 1997. 12 p. (rus)
19. Mixtures of mortar and mortar. Specifications Belarus Standard 1307 Affirmed 01.02.2002. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of Belarus, 2002. 17 p. (rus)