

УДК [614.841.332:691.327.33]:620.181.4

ОГНЕСТОЙКОСТЬ АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА

Нгуен Тхань Киен, Кудряшов В.А.

Разработана методика и проведены экспериментальные исследования параметров огнестойкости автоклавного ячеистого бетона. Получены полные и трансформированные диаграммы деформирования автоклавного ячеистого бетона в сжатом и изгибаемом напряженном состоянии, а также теплотехнические характеристики, необходимые для аналитического описания и моделирования огнестойкости и огнесохранности конструкций из автоклавного ячеистого бетона. Предложена методика расчета огнестойкости кладки из автоклавных ячеистобетонных блоков.

Ключевые слова: огнестойкость, автоклавный ячеистый бетон, диаграммы деформирования, температура, усадка.

(Поступила в редакцию 21 марта 2016 г.)

Введение. Автоклавный ячеистый газобетон – один из наиболее распространенных материалов, широко применяемых в современное время в несущих и ограждающих конструкциях зданий. Экологичность, дешевизна, низкая плотность и теплопроводность в сочетании с достаточной прочностью и легкостью в обработке обеспечили указанному строительному материалу повсеместное применение. Миллионы кубических метров автоклавного ячеистого бетона ежегодно производятся и возводятся в Беларуси и Вьетнаме, обеспечивая комфортные условия для людей в суровых белорусских морозах и изнуряющей вьетнамской жаре [1].

Вместе с высокими эксплуатационными характеристиками, ячеистый бетон является неорганическим негорючим материалом, обладающий высокой огнестойкостью. При этом, номенклатура испытанных конструкций в Республике Беларусь [2], как правило, включает толстостенные конструкции, толщиной 300...400 мм, испытанные под конкретной центрально приложенной нагрузкой, показывающих пределы огнестойкости 90...150 минут и более. Распространить указанные испытания на всю номенклатуру изделий, выпускаемых в Республике Беларусь, не представляется возможным. В Социалистической Республике Вьетнам вообще отсутствует испытательное оборудование, позволяющее проводить огневые экспериментальные исследования, поэтому экспериментальные исследования огнестойкости ячеистых бетонов является актуальным направлением.

При этом в Республике Беларусь действует ряд гармонизированных европейских стандартов, таких как ТКП ЕН 1996-1-2 и СТБ ЕН 12602 [3, 4], включающих аналитические методики по оценке огнестойкости автоклавных ячеистых бетонов. Однако данные, представленные в данных стандартах несколько ограничены (идеализированы) и являются по сути частным случаем теории огнестойкости железобетонных конструкций. Иные литературные источники [5], свидетельствуют о повышении прочности ячеистого бетона при повышенных температурах, а также о значительной усадке в области 700...1000 °С. Вопрос огнесохранности изделий из ячеистого бетона практически не рассматривается.

Учитывая, что свойства автоклавных ячеистых бетонов весьма чувствительны к особенностям технологического производства, к составам и качеству исходных компонентов, а также принимая во внимание отсутствие единой методологии к оценке огнестойкости указанных материалов в европейских стандартах [3, 4], в Командно-инженерном институте МЧС Республики Беларусь при содействии ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» был спланирован и проведен комплекс экспериментальных исследований огнестойкости и термостойкости автоклавных ячеистых бетонов белорусского производства класса по прочности на сжатие В2,5, марки по средней плотности D500 согласно СТБ 1117 [6].

Методика экспериментальных исследований параметров огнестойкости автоклавного ячеистого бетона. Целью экспериментальных исследований являлась разработка методики расчета огнестойкости автоклавного ячеистого бетона на основе диаграмм деформирования в сжатом и изгибаемом напряженном состоянии, а также структурных и

теплотехнических параметров исследуемого материала. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведены исследования прочности образцов автоклавного ячеистого бетона, нагретых в диапазоне температур 200...800 °С и получены необходимые данные для построения диаграмм деформирования в сжатом и изгибаемом напряженном состоянии с учетом результатов статистической обработки.

2. Проведены термогравиметрические, спектральные и тепловые исследования образцов автоклавного ячеистого бетона и получены необходимые данные по изменению плотности материала, изменению геометрических размеров, а также о физико-химических процессах, протекающих в структуре материала.

3. Проведены тепловые исследования образцов автоклавного ячеистого бетона и получены необходимые данные по изменению теплоемкости и теплопроводности материала при повышенных температурах. Проведено тепловое моделирование процесса нагрева автоклавного ячеистого бетона при пожаре.

4. 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.

В силу ограниченного объема, в настоящей статье рассмотрены исследования термостойкости и прочности образцов автоклавного ячеистого бетона, нагретых в диапазоне температур 200...800 °С, диаграммы деформирования в сжатом и изгибаемом напряженном состоянии с учетом результатов статистической обработки, а также итоговая методика расчета огнестойкости и огнесохранности кладки из автоклавных ячеистобетонных блоков.

В качестве основы для оценки прочностных характеристик и построения диаграмм деформирования при нагреве принята методика по ГОСТ 24452 [7] с учетом положений ГОСТ 10180 [8]. При этом ввиду отсутствия дорогостоящего оборудования, особенностей изучаемого материала, а также с целью более подробного изучения характеристик после нагрева, испытания образцов проводили с отдельным нагревом до заданной температуры, охлаждением и последующим испытанием на автоматической сжимающе-разрывной испытательной машине. Отдельный нагрев и прочностные испытания были удачно апробированы в работе [9] и основываются на гипотезе необратимых физико-химических преобразований в структуре материала при нагреве.

До проведения статистических экспериментов был проведен ряд предварительных пробных экспериментов на образцах ячеистого бетона в виде кубов со стороной 100 мм. После тщательного измерения кубы помещали в муфельную печь, нагревали в течение часа до заданной температуры с шагом в 100 °С, затем в нагретом состоянии вынимали и измеряли полученные деформации, потерю массы и охлаждали в естественных условиях. Впоследствии образцы испытывались на автоматической сжимающе-разрывной испытательной машине с автоматическим построением диаграмм деформирования. В результате испытаний было выявлено, что прочность автоклавного ячеистого бетона слабо изменяется в диапазоне температур до 600 °С, а сам материал обладает весьма низкой теплопроводностью и чувствителен к резкому нагреву и охлаждению.

Итоговая экспериментальная методика тепло-прочностных испытаний была скорректирована с учетом результатов предварительных исследований. Для испытаний при содействии ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» было подготовлено 32 образца призм из автоклавного ячеистого бетона класса по прочности на сжатие В2,5, марки по средней плотности D500 согласно СТБ 1117 [6] с усредненными размерами 70×70×280 мм. Фактическая плотность образцов составляла 566 ± 20 кг/м³. Размеры образцов были обусловлены ограничениями внутреннего пространства имеющейся муфельной печи. План проведения эксперимента предусматривал 8 серий испытаний (по 4 образца в каждой) и включал испытания не нагреваемых образцов при сжатии, испытания нагреваемых (с шагом в 200 °С) образцов при сжатии, испытания не нагреваемых образцов при изгибе, испытания нагреваемых (до температуры 600 °С) образцов при изгибе. 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 %.

Для обеспечения необходимой точности измерений каждый образец по длине был условно разделен на 4 измеряемых базы находящихся на расстоянии 10, 100, 200 и 270 мм. Ширину и высоту поперечного сечения каждого образца измеряли 4 раза в местах расположения измерительных баз электронным штангенциркулем с точностью измерения

0,01 мм. Длина каждого образца измерялась 4 раза металлической линейкой с переменной точностью измерения 0,5 и 0,25 мм (по длине линейки). Масса образца измерялась в последнюю очередь перед нагревом путем взвешивания на электронных весах с точностью измерения 0,1 и 0,01 г.

После образец помещали в муфельную печь (рисунок 1). Ввиду ограниченного внутреннего пространства печи образец устанавливали плашмя, симметрично боковым стенкам печи. Для предотвращения механических повреждений образцов от теплового расширения/усадки было принято решение укладывать образец непосредственно на керамическую поверхность нижней стороны печи, не используя опорные столики.



Рисунок 1 – Вид экспериментального образца в муфельной печи

Для обеспечения равномерного нагрева и максимального исключения влияния усадочных деформаций (либо деформаций расширения) на механическую прочность образцов, их нагревание производили ступенчато, с нарастающим периодом нагревания и длительной выдержкой на заключительном этапе нагревания. Обобщенный график нагрева образцов представлен на рисунке 2. Все образцы в серии нагревали по идентичному режиму с точностью в 1 минуту. Охлаждение образцов производили в закрытой печи не менее 12 часов до температуры 30 ± 10 °С. Ступенчатое охлаждение применяли только для образцов, нагреваемых до температуры 800 °С, т. к. скорость охлаждения до 600 °С превышала скорость первоначального нагрева.

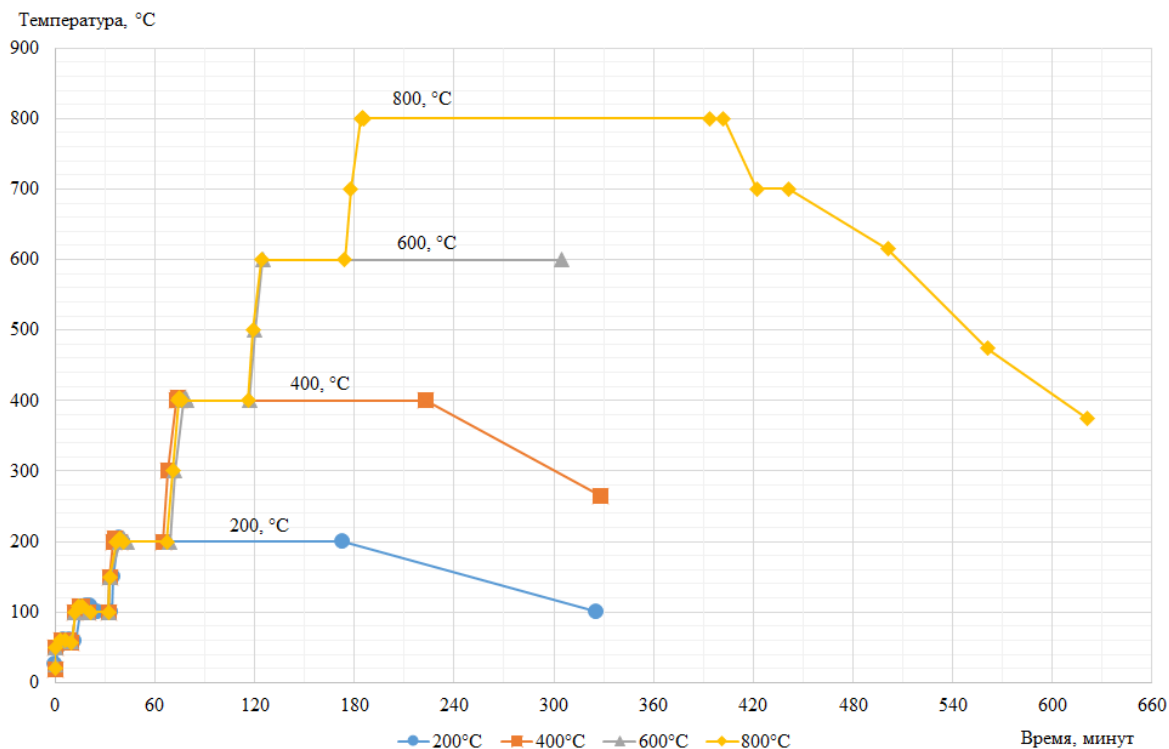


Рисунок 2 – Режим нагрева образцов-призм в муфельной печи

Извлеченные из печи образцы взвешивались и подвергались подробному измерению ширины и высоты поперечного сечения в местах измерительных баз, а также длины вдоль каждой из 4 граней. Каждый образец укладывали в герметичный пластиковый пакет для предотвращения сорбции влаги до момента прочностных испытаний.

Прочностные испытания на сжатие производили сериями, по 12-16 образцов в серии, на автоматической сжимающе-разрывной испытательной машине. Перед прочностными испытаниями проводили контрольные замеры массы и размеров образцов. Сущность испытаний заключалась в сжатии образцов призм вдоль продольной оси до разрушения с фиксацией перемещений и усилия сжатия с точностью, соответственно, 0,001 мм и 0,01 Н. В каждом испытании исследовался один образец, установленный между опорными пластинами соосно с центром приложения усилий траверсы. Уровень преднагрузки в испытаниях был принят равным 30,0 Н. Скорость испытания была принята постоянной – 2 мм/мин. Процесс испытания сопровождался синхронным построением диаграммы деформирования материала ($F, N - \Delta, мм$) на мониторе испытательной машины. Ввиду отсутствия дорогостоящего оборудования в виде индикаторов деформаций, деформации образцов во время испытаний фиксировали по данным перемещения траверсы испытательной машины (с высокой точностью). В качестве момента разрушения принимали снижение усилий сжатия более 20 % от пикового значения, после чего испытания прекращали.

После первой серии испытаний было обнаружено, что верхняя прижимная пластина не обладает достаточным шарнирными свойствами. Такой вывод был сделан на основании полученных диаграмм деформирования, имеющих рваный характер в области пика. Указанный характер, вероятно, свидетельствует о преждевременном разрушении образца и как итог – заниженная оценка прочности материала ввиду недостаточного центрирования. В последующей серии испытаний было принято решение использовать дополнительные опорные столики в виде двух стальных пластин размерами 70×70 мм и толщиной 20 мм каждая, при этом верхняя стальная пластина перекладывалась мягкими прокладками из ПВХ линолеума толщиной 2,2 мм каждый. Общий вид испытаний в двух сериях представлен на рисунке 3.



а) – общий вид 1 серии испытаний (без опорных столиков); б) – общий вид 2 серии испытаний (с опорными пластинами и мягкими прокладками)

Рисунок 3 – Общий вид образцов при испытании на прочность при сжатии

Для оценки разрывной прочности ячеистого бетона были проведены испытания образцов-призм с усредненными размерами 70×70×280 мм на растяжение при изгибе. В качестве базовой была принята методика по ГОСТ 10180 [8]. Для проведения испытаний на нижнюю пластину были установлены линейные шарнирные опоры на базе 250 мм. Ввиду отсутствия специальных приспособлений, усилие изгиба передавались в середине длины

призмы посредством стального цилиндра диаметром 30 мм, уложенного перпендикулярно плоскости изгиба через мягкую ПВХ прокладку толщиной 2,2 мм (рисунок 4). Сущность испытаний заключалась в изгибе образцов призм между линейными шарнирными опорами до разрушения с фиксацией перемещений и усилий. В каждом испытании исследовался один образец, установленный на линейные шарнирные опоры, перпендикулярно центру приложения усилий траверсы. Уровень преднагрузки в испытаниях был принят равным 5,0 Н. Скорость испытания была принята постоянной – 1 мм/мин. В качестве момента разрушения принимали полное разрушение образца (все образцы хрупко раскалывались на две части в плоскости приложения усилия). В остальном испытания на растяжение при изгибе соответствовали испытаниям на прочность при сжатии.



Рисунок 4 – Общий вид образцов при испытании на растяжение при изгибе

Результаты экспериментальных исследований автоклавного ячеистого бетона.

Результаты проведенного комплекса экспериментальных исследований позволили установить диаграммы деформирования в сжатом и изгибаемом напряженном состоянии, а также получить ряд экспериментальных данных по структурным преобразованиям в автоклавном ячеистом бетоне при нагреве и сформулировать методику оценки огнестойкости конструкций кладки из автоклавного ячеистого бетона.

При температурных воздействиях отмечается ярко выраженное падение плотности образцов при общей объемной усадке. Следует отметить, что объемная усадка материала для всех образцов была вызвана относительно равномерной усадкой образцов по длине и в поперечных размерах. Это также свидетельствует о равномерном характере прогрева в муфельной печи. Характер зависимостей, представленный на рисунке 5, показывает приблизительно одинаковую скорость падения плотности и объема (0,06 ед./°С). Это говорит о том, что сокращение объема вызвано прежде всего улетучиванием составляющих структуры ячеистого бетона. Принимая во внимание, что структура ячеистого бетона образована прежде всего кристаллами $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [5] – наиболее вероятная причина усадки является испарение физически связанной воды (дегидратация кристаллов). Так как вода по сути является связующим в бетонах, потеря прочности материала вызвана прежде всего дегидратацией.

При построении диаграмм деформирования ячеистого бетона при нагреве проводили их тщательную физическую и статистическую обработку. Прежде всего для каждой диаграммы деформирования на линейном участке была проведена касательная модуля упругости. Примечательно, что для образцов без мягкой прокладки, которые подвергались предварительному нагреву до температуры 200...600 °С, касательная проходила через точки, соответствующие 0,3 и 0,4 от пиковых значений напряжений, в то время как для образцов с мягкой прокладкой, которые подвергались предварительному нагреву до температуры 600...800 °С, а также для не нагреваемых образцов, испытываемых без мягкой прокладки, касательная проходила через точки 0,4 и 0,8 от пиковых значений напряжений. При этом модуль упругости при различных методиках испытаний принимал значения в пределах статистического разброса. Исходя из гипотезы упругого деформирования бетона при напряжениях до 0,4 от пиковых значений напряжений, пластические деформации преднагрузки были нивелированы и все диаграммы были смещены к точке начала координат (рисунок 6).

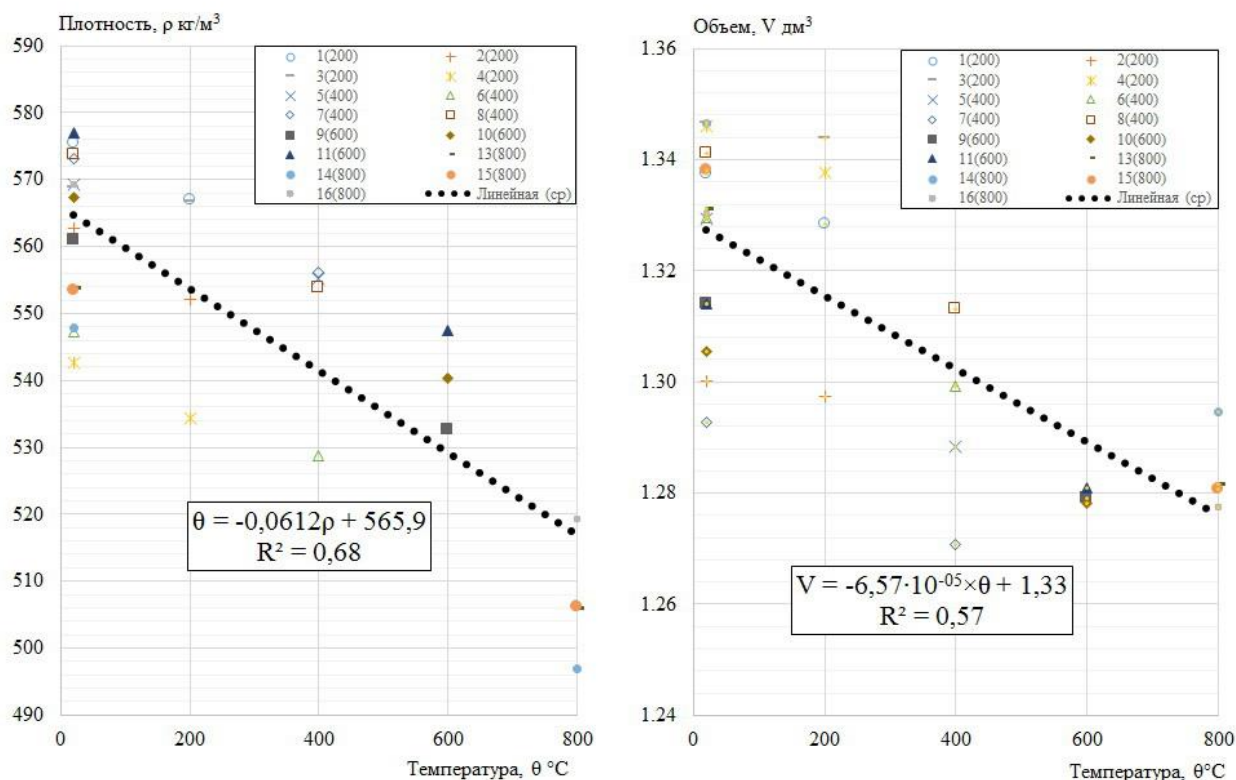


Рисунок 5 – Характер снижения плотности и усадки объема

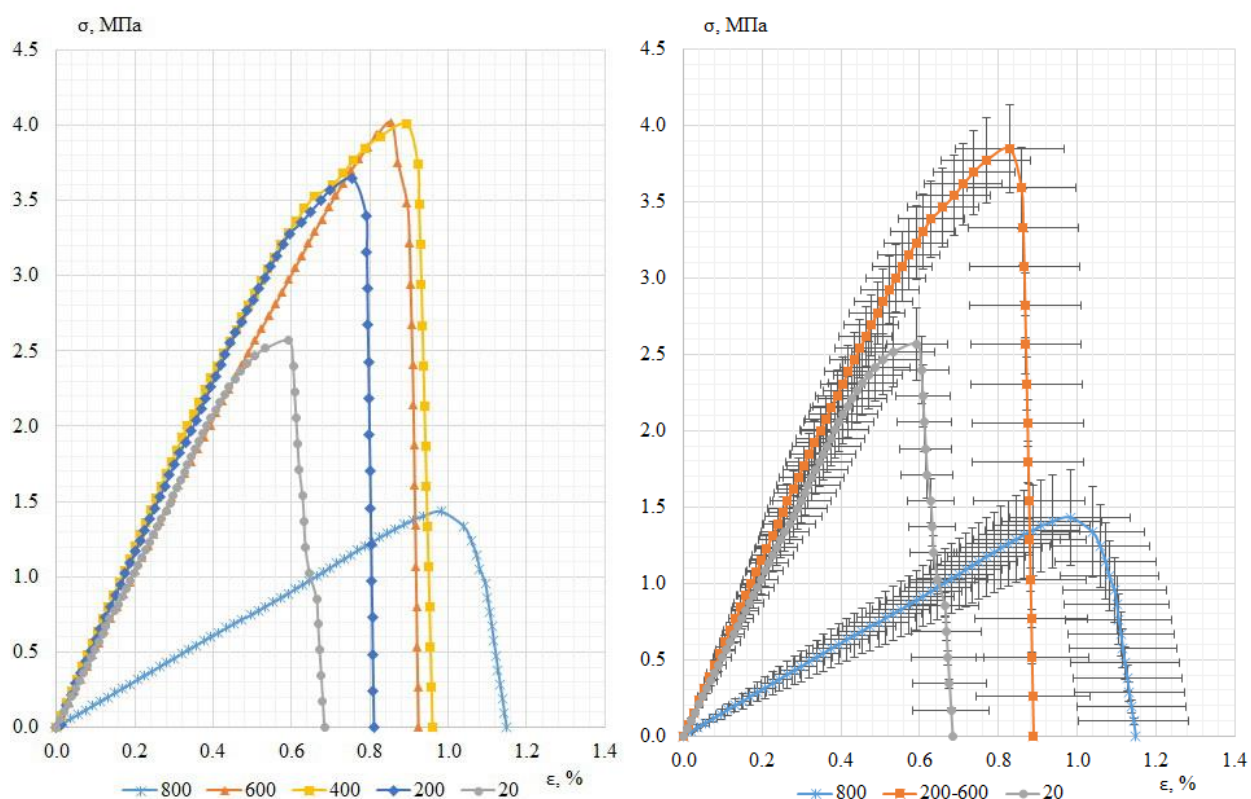


Рисунок 6 – Диаграммы деформирования ячеистого бетона при нагреве

Следует отметить, что испытания образцов ячеистого бетона, не подвергаемых нагреву (исходных), проведенные на образцах двухмесячного возраста показали наиболее низкие значения прочности (см. рисунок 6). Испытания аналогичных не нагретых образцов,

но в возрасте 1,5 года показали значения плотности приблизительно на 30 % выше (на рисунке 6 не приведены). Все иные диаграммы деформирования построены на основе испытаний образцов в возрасте 1,5 года.

Трансформация диаграмм деформирования и методика оценки огнестойкости автоклавного ячеистого бетона. Статистическая обработка диаграмм деформирования проведена на основе математического ожидания, принятого в качестве среднего арифметического между координатами напряжений и деформаций, соответствующих равным долям напряжений от пикового значения (см. рисунок 6 справа). Для этого график каждой диаграммы был разбит на равное количество точек, с шагом 1/50 пикового значения напряжения для восходящей ветви и 1/15 пикового значения для нисходящей ветви. Нисходящая ветвь была искусственно продлена до нулевого значения. Статистическая обработка диаграмм деформирования показала, что в диапазоне нагрева 200...600 °С разброс значений имеет исключительно статистическую природу и, вероятно, не вызван значимыми структурными изменениями, поэтому диаграммы могут быть обобщены.

Для практического применения полученные диаграммы деформирования целесообразно представить в виде трансформирующихся диаграмм деформирования. Наиболее удачная трансформирующаяся аппроксимация, по мнению авторов, может быть выполнена с использованием формулы Левитского В.Е. на основе статистического распределения прочности структурных связей Вейбулла [10]:

$$\frac{\sigma_{ci,t}}{f_{ck}} = \frac{\varepsilon_{ci,t}}{\varepsilon_{c1,t}} \exp \left(k \left[1 - \left(\frac{\varepsilon_{ci,t}}{\varepsilon_{c1,t}} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \right), \quad (1)$$

$$k = -\ln(v_{c1,t}), \quad (2)$$

$$v_{c1,t} = \frac{\sigma_{c1,t}}{E_{c,t} \varepsilon_{c1,t}}. \quad (3)$$

где $\sigma_{ci,t}$ – текущее значение напряжений, МПа; f_{ck} – пиковое значение напряжений (прочность), МПа; $\varepsilon_{ci,t}$ и $\varepsilon_{c1,t}$ – соответственно, значения текущей деформации и деформации пиковых напряжений, доли; $v_{c1,t}$ – коэффициенты упругости при пиковых напряжениях; $E_{c,t}$ – модуль упругости, МПа;

Таблица 1 – Обобщенные параметры экспериментальных диаграмм деформирования

| Θ , °С | f_{ck} , МПа | $k_{c,t}$ | $E_{c,t}$, МПа | $\beta_{c,t}$ | $\varepsilon_{c1,t}$, % | $\varepsilon_{cu,t}$, % | $v_{c,t}$ | $\varepsilon_{\tau,t}$, % |
|---------------|----------------|-----------|-----------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-----------|----------------------------|
| 20 | 2,57 | 1,00 | 522 | 1,00 | 0,593 | 0,684 | 0,829 | 0,192 |
| 200 | 3,64 | 1,42 | 579 | 1,11 | 0,756 | 0,810 | 0,831 | 0,173 |
| 400 | 4,01 | 1,56 | 599 | 1,15 | 0,894 | 0,960 | 0,747 | 0,170 |
| 600 | 4,02 | 1,56 | 516 | 0,99 | 0,855 | 0,924 | 0,911 | 0,194 |
| 200-600 | 3,85 | 1,50 | 580 | 1,11 | 0,828 | 0,889 | 0,800 | 0,172 |
| 800 | 1,43 | 0,56 | 152 | 0,29 | 0,982 | 1,149 | 0,956 | 0,658 |

где $\varepsilon_{cu,t}$ – значение предельной деформации на нисходящей ветви диаграммы деформирования, %; $\varepsilon_{\tau,t}$ – значение деформации максимальных деформаций растяжения, %.

На рисунке 7 показано применение зависимости (1) для экспериментальных диаграмм деформирования. Видна хорошая сходимость между аналитическими графиками и экспериментальными данными. В таблице 1 приведены обобщенные параметры экспериментальных диаграмм деформирования, полученные в экспериментальных исследованиях. Следует отметить повышенную деформативность ячеистого бетона, полученную в ходе экспериментальных исследований, по сравнению с данными иных публикаций [5, 3, 4]. Очевидно, такое расхождение вызвано методикой экспериментальных исследований, размерами образцов и является предметом дальнейших исследований.

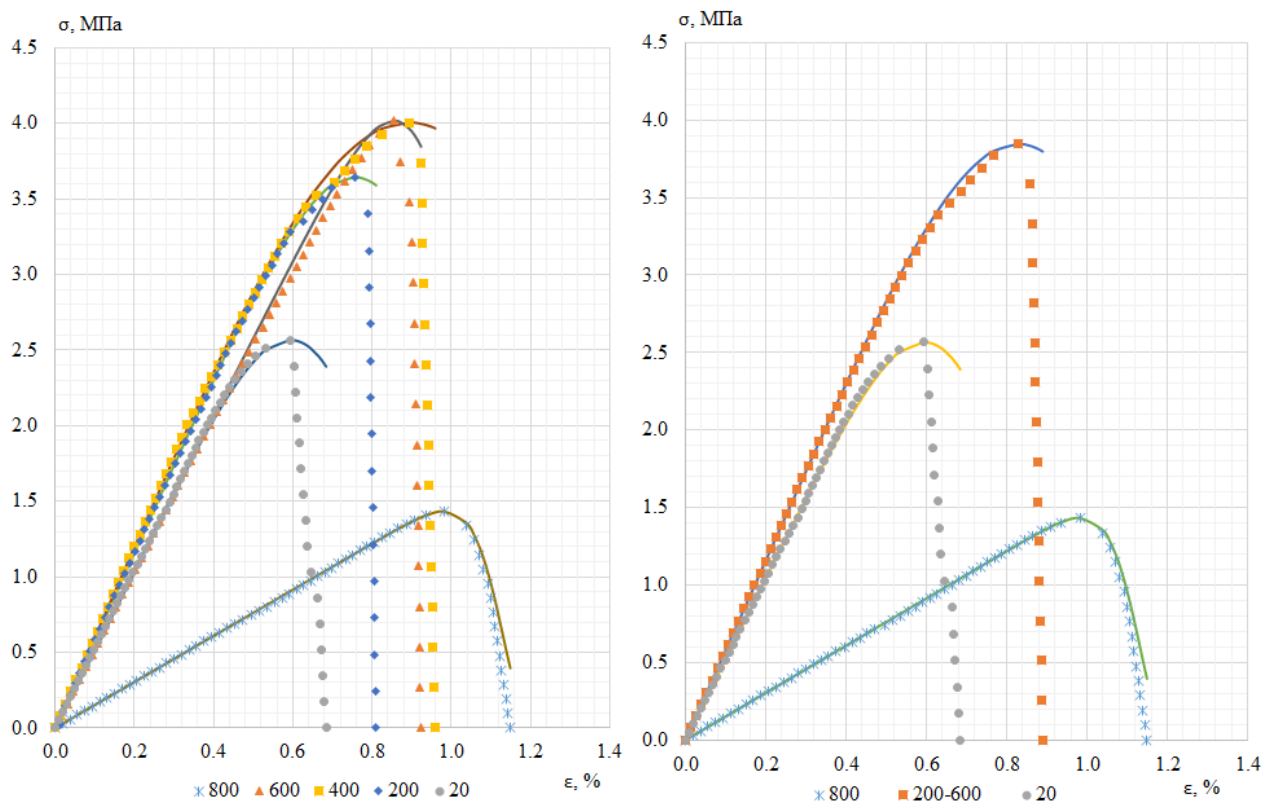


Рисунок 7 – Трансформированные диаграммы деформирования ячеистого бетона при нагреве

Испытания не нагретых блоков на растяжение при изгибе показали сопротивление ячеистого бетона в среднем 1,0 МПа. Исходя из гипотезы равного модуля упругости при сжатии и растяжении это соответствует минимальным деформациям растяжения, равным 0,17 % при температуре 400 °С и 0,20 % в холодном состоянии. Учитывая, что при повышенной температуре значения усадки принимают более высокие значения (в среднем 0,14 % для 200 °С и 0,77% для 400 °С), неравномерный нагрев сечения приводит, как правило, к усадочным трещинам, приводящим к преждевременному растрескиванию и разрушению ячеистого бетона. С учетом медленного прогресса ячеистого бетона при пожаре для нагреваемого слоя характерен резкий градиент температур, и как, результат его повреждение. Поэтому при расчете огнестойкости конструкций из ячеистого бетона целесообразно сопоставлять значения деформаций сжатия с деформациями усадки, и в случае преобладания последних не учитывать поврежденные слои нагретого бетона.

Таким образом, при упрощенном расчете огнестойкости и огнесохранности целесообразно проводить оценку деформированного состояния кладки из ячеистобетонных блоков по выражению

$$\varepsilon^{(tot)} = \varepsilon_{\sigma}(\sigma, T) + \varepsilon_{th}(T), \quad (4)$$

где $\varepsilon^{(tot)}$ – суммарные деформации; ε_{σ} – деформации напряжения; ε_{th} – температурные деформации; T – температура; σ – напряжение.

Слои ячеистого бетона, в которых деформации растяжения превысили предельные (выражение (4) примет отрицательное значение), следует исключать из расчета ввиду появления усадочных трещин. Общий расчет прочности кладки производить по формуле

$$N_{Rd,\theta} = \Phi \cdot f_d \cdot A_{\varepsilon}, \quad (5)$$

где $N_{Rd,\theta}$ – прочность кладки, Н; Φ – коэффициент потери устойчивости; f_d – расчетное сопротивление каменной кладки, МПа; A_{ε} – площадь сечения кладки, в которых не превышены предельные деформации, м².

Заключение. Автоклавные ячеистые бетоны являются перспективными материалами с точки зрения огнестойкости, огнесохранности и огнезащитных свойств. Существующие методики и экспериментальные исследования разобщены и не имеют достаточного теоретического обоснования, а также не учитывают местные технологические особенности

производства. Для объективной оценки огнестойкости конструкций, выполненных из автоклавных ячеистобетонных блоков, была разработана комплексная методика экспериментальных и теоретических исследований, включающая лабораторные и натурные эксперименты, а также моделирование. Результаты экспериментальных исследований показали, что автоклавный ячеистый бетон обладает низкой теплопроводностью и высоким коэффициентом объемной и массовой усадки, что в совокупности делает наружные нагреваемые слои весьма уязвимыми. Испытания прочности позволили построить полные и трансформированные диаграммы деформирования ячеистого бетона при нагреве, найти предельные деформации сжатия и растяжения и сформулировать методику оценки огнестойкости конструкций, выполненных из автоклавных ячеистобетонных блоков с учетом деформаций усадки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажнев, Н.П. Ячеистый бетон в Республике Беларусь / Н.П. Сажнев, П.П. Ткачик // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения: материалы 8-й Международной научно-практической конференции. Минск – Могилев, 11–13 июня 2014 г. / редкол.: Н.П. Сажнев (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 5 – 9.
2. ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости. – Взамен П1-02 к СНБ 2.02.01-98. – Введ. 12.06.2008 г. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2008. – 126 с.
3. ТКП EN 1996-1-2-2009 (02250). Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости – Введ. 01.01.2010 г. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 100 с.
4. СТБ EN 12602-2011. Государственный стандарт Республики Беларусь. Изделия железобетонные заводского изготовления из автоклавного ячеистого бетона. – Введ. 01.07.2012 г. – Минск : Госстандарт, 2013. – 150 с.
5. Галкин, С.Л. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика. / С.Л. Галкин [и др.]. – Минск : Стринко, 2006. – 448 с.
6. СТБ 1117-98*. Государственный стандарт Республики Беларусь. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия. – Введ. 01.04.1999 г. – Минск : Госстандарт, 2015. – 15 с.
7. ГОСТ 24452-80. Государственный стандарт Союза ССР. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – Введ. 01.01.1982 г. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 16 с.
8. ГОСТ 10180-2012. Государственный стандарт. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 01.02.2016 г. – Минск : Госстандарт, 2015. – 33 с.
9. Полевое, И.И. Огнестойкость изгибаемых железобетонных конструкций из высокопрочного бетона: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / И.И. Полевое. – Минск: БНТУ, 2004. – 122 л.
10. Кудряшов, В.А. Трансформация базовых диаграмм деформирования тяжелого бетона на гранитном заполнителе в условиях кратковременного высокотемпературного воздействия / В.А. Кудряшов, И.И. Полевое, В.М. Кодеба // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2008. – № 1 (7). – С. 21-34.

AUTOCLAVED AERATED CONCRETE FIRE RESISTANCE BASED ON STRESS-STRAIN DIAGRAMS AFTER HIGH HEATING

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

Purpose. The paper is devoted to experimental study data of autoclaved aerated concrete stress-strain diagrams after high heating and fire resistance evaluation.

Methods. The specimens of autoclaved aerated concrete were heated in muffle furnace and tested at breaking machine. The results were analytically discussed and fire resistance evaluation technique proposed.

Findings. The autoclaved aerated concrete stress-strain diagrams after heating are found. Shrinkage rate depending on temperature is determined. The fire resistance evaluation technique is proposed.

Research application field. 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 stress-strain diagrams after heating study jointed with shrinkage rate.

Keywords: fire resistance, autoclaved aerated concrete, stress-strain diagrams, temperature, shrinkage.

(The date of submitting: March 21, 2016)

REFERENCES

1. Sazhnev N.P., Tkachik P.P. Aerated concrete in the Republic of Belarus. *Production and use experience of aerated autoclaved concrete: proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*. Minsk – Mogilev, 11–13 June 2014. the Editorial. : NP Sazhnev (Ed. Ed.) [Et al.]. Minsk, 2014. P. 5–9. (rus)
2. Technical Code of Good Practice 45-2.02-110-2008 (02250). Building constructions. Calculation procedures of fire resistance limits. Introduced on 12.06.2008. Minsk: RUE «Stroitechnorm», 2008. 126 p. (rus)
3. Technical Code of Good Practice EN 1996-1-2-2009 (02250). Eurocode 6. Design of masonry structures. Part 1-2. Structural fire design. – Introduced on 01.01.2010. Minsk : Ministry of Architecture, 2010. 100 p. (rus)
4. Belarus Standard EN 12602-2011. Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete. Introduced on 01.07.2012. Minsk : State Standard, 2013. 150 p. (rus)
5. Galkin, SL The use of aerated concrete products. Theory and practice. / SL Galkin [et al.]. Minsk: Strinko, 2006. 448 p. (rus)
6. Belarus Standard 1117-98*. Wall blocks of cellular concrete. Specifications. Introduced on 01.04.1999. – Minsk State Standard, 2015. 15 p. (rus)
7. State Standard of the USSR 24452-80. Concretes. Methods for determining the prism strength, elastic modulus and Poisson's ratio. Introduced on 01.01.1982. Moscow : Publishing House of Standards, 1989. 16 p. (rus)
8. State standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Introduced on 02.01.2016. Minsk : State Standard, 2015. 33 p. (rus)
9. Polevoda I.I. *Fire resistance of reinforced high-strength concrete bending structures*. Cand. tehn. sci. diss. : 05.23.01. Minsk: Belarusian National Technical University, 2004. 122 p. (rus)
10. Kudryashov V.A., Polevoda I.I., Kodeba V.M. Basic stress-strain diagrams transformation for heavy concrete with granite aggregate in a short-term high-temperature impact. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2008. No. 1 (7). Pp. 21–34. (rus)