

УДК 614.841.11:666.973.6

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЕРДОСТИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ТЕМПЕРАТУРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ, ИНДЕНТОРАМИ С УГЛАМИ РАСТВОРА КОНУСА 20–55°

Волосач А.В., Горовых О.Г.

Для установления очага пожара в сооружениях из ячеистого бетона предлагается определять среднюю твердость поледнего, зависящую от температуры воздействия. Дано описание применяемого для определения поверхностной твердости специального устройства и представлены результаты измерения глубины погружения инденторов с углами раствора конуса 20–55° в образцы из ячеистого бетона. При одинаковой ударной нагрузке глубина погружения индентора коррелирует с поверхностной твердостью исследуемых образцов ячеистого бетона. Приведены зависимости глубины погружения инденторов с разными углами раствора конуса на предварительно обработанные при различных температурах образцы ячеистого бетона, из которых видно, что при воздействии температуры в течение 15 мин и времени старения образцов 2 года разброс в значениях поверхностной твердости велик, и глубина погружения не является закономерно изменяемой величиной. В образцах, 20 мин подвергавшихся воздействию температур температур от 600 до 1000 °С, поверхностная твердость значительно снижается, что объясняется потерей сорбционной и химически связанной воды, зависимость погружения индентора от температуры становится более выраженной.

*Ключевые слова:* ячеистый бетон, термическое воздействие, индентор, поверхностная твердость, очаг пожара.

(Поступила в редакцию 16 января 2019 г.)

**Введение.** Статистические данные свидетельствуют о том, что в последние годы в Республике Беларусь, несмотря на уменьшение общего количества, сохраняется значительный уровень числа пожаров с материальными потерями и человеческими жертвами. Ежегодно в нашей стране происходит свыше 5 тысяч пожаров, к примеру, в 2018 г. их произошло 6104 [1]. Одной из серьезных проблем остаются вопросы, связанные с установлением очага пожара и определением его причины.

Реконструкция допожарной и пожарной обстановки сопряжена с существенными трудностями, вызванными изменениями, внесенными в нее пожаром; потерей механической прочности конструкций; механическим и химическим воздействием струй воды или других огнетушащих веществ; вскрытием конструкций и перемещением предметов пожарными и другими лицами, проводящими работы по спасанию людей и ликвидации ЧС [2].

Обнаружение очага пожара также является одной из главных задач при осмотре места ЧС. Решается она на основе информации, получаемой путем изучения термических поражений конструкций и предметов, и выявления так называемых очаговых признаков [3].

При расследовании причин возникновения пожаров крайне важно обнаружить и оценить любой элемент, любое вещественное доказательство, которое поможет найти очаг и причину ЧС. Одним из таких предметов, которые хранят информацию о предшествующем температурном и временном воздействии, могут являться ячеистые бетоны, как наиболее сохраняющиеся объекты на месте пожара.

Ячеистый бетон – это искусственный пористый строительный материал с характерной равномерно распределенной мелкодисперсной ячеистой структурой. Его физико-технические свойства соответствуют новым нормативным требованиям материало- и энергосбережения в малоэтажном и высотном каркасном строительстве, а сам ячеистый бетон зарекомендовал себя как отличный конструктивно-теплоизоляционный материал. Ячеистый бетон (газобетон) получают в результате поризации и гидратационного твердения рационально подобранной, тщательно перемешанной растворной смеси, состоящей из вяжущего, кремнеземистого компонента, порообразователей и добавок [4].

Использование ячеистого бетона в строительстве принимает все более масштабный характер. В настоящее время в Республике Беларусь годовой объем производства газобетонных изделий находится в пределах 3–4 млн м<sup>3</sup> [5].

Ячеистый бетон – один из самых востребованных строительных материалов – может использоваться как для возведения несущих стеновых конструкций малоэтажных построек,

так и для заполнения каркасов поэтажно опертых стен многоэтажных зданий. Блоки из ячеистых бетонов предназначены для кладки наружных, внутренних стен, стен подвалов и перегородок зданий с относительной влажностью воздуха помещений не более 75 % и при неагрессивной среде.

Высокое качество изделий из ячеистого бетона обеспечивает снижение монтажных, эксплуатационных и экологических затрат, а также гарантирует долгий срок службы и качество жилья. Ячеистый бетон не содержит токсичного наполнения и не выделяет токсичных веществ. В случае пожара из него не поступают в окружающую среду газы, опасные для здоровья человека.

Благодаря пористой структуре ячеистый бетон легок и массивен. С одной стороны, он не горюч и прочен, как изделия из камня [4], с другой – обладает податливостью и легкостью, характерными для дерева. Строения, возведенные из ячеистого бетона, классифицируются как каменные строения, однако данный материал относится к легким бетонам, и тот микроклимат, который в нем формируется, весьма близок к климату дома из дерева. В отличие от построек из обычного кирпича или бетона, дом из ячеистого бетона «дышит» за счет пор в блоке. Прочность, превосходные теплоизоляционные свойства, долговечность, малый вес, негорючесть низкая, теплопроводность – плюсы, которые позволяют отнести данный материал к широко востребованным в строительстве.

Использование на строительном рынке изделий из ячеистых бетонов настоятельно требует исследования изменений их свойств при воздействии факторов пожара для восстановления картины предпожарной обстановки и выявления (обнаружения) очага пожара на основе научно подтвержденных методик физико-химического анализа объектов, подвергшихся воздействию высоких температур.

**Постановка проблемы.** В доступной для изучения литературе, в основном, отражены изменения, происходящие на пожаре от воздействия высоких температур на металлические, железобетонные и изготовленные из древесины конструкции. Закономерности же изменения свойств иных материалов, в том числе таких, как ячеистый бетон, при различной температуре и времени воздействия, которые помогут восстановить картину пожара, выявить области влияния наибольших температур и тем самым указать на возможный очаг пожара, недостаточно освещены в методических материалах о расследовании пожаров [3, 6–9].

Изменение свойств ячеистого бетона при длительном или кратковременном высокотемпературном воздействии, которое возникает во время пожара, требует дальнейшего изучения и использования выявленных закономерностей (изменение различных физико-химических свойств) при определении очага пожара.

Из работы [10] известно, что при тепловом воздействии вплоть до температуры 300 °С заметных, визуально наблюдаемых изменений на поверхности ячеистого бетона не происходит. Микротрещины в образцах из газобетона начинают образовываться при 400 °С.

В связи с этим визуальный осмотр поверхности газосиликатного бетона дает недостаточную информацию о величине температурного воздействия на данную конструкцию. Можно четко выявить только места, где температура воздействия превышала 400 °С или достигала величины 1000 °С.

Отмеченная в [10] зависимость интенсивности трещинообразования и ширины раскрытия трещин от температуры нагрева позволяет оценивать примерную температуру нагрева конструкций в тех или иных зонах пожара. Изменение внешнего вида ячеистого бетона говорит о его структурных изменениях и в первую очередь о разрушении перегородок межпорового пространства.

Одним из таких физических свойств, которое изменяется под воздействием высоких температур у ячеистых бетонов, является поверхностная твердость. Твердость – это способность материала сопротивляться упругой и пластической деформации при внедрении в него более твердого тела (индентора). Исходя из этой формулировки твердость можно определять у практически любых материалов, в том числе и ячеистого бетона. Т. е. для определения твердости у вспененных материалов с помощью теста на вдавливание необходимо только подобрать адекватный метод.

Однако закономерности изменения твердости ячеистых бетонов (скачкообразно, линейно или случайно) от воздействующей ранее температуры и продолжительности этого воздействия даже в фундаментальной работе А.Ф. Гаевой по ячеистым бетонам не отражены [11].

Твердость металлических материалов обычно определяют методом измерения твердости по Роквеллу и Бринеллю. Принципы измерения твердости по Роквеллу и Бринеллю различаются: твердость по Бринеллю представляет собой частное от деления усилия вдавливания на площадь отпечатка, а твердость по Роквеллу – отношение глубины проникновения индентора к единице деления шкалы прибора, который измеряет эту глубину (поэтому твердость по Роквеллу безразмерная, а по Бринеллю – измеряется в Па). В материаловедении также определяют твердость и микротвердость неметаллических материалов. Известно, что чем более неоднороден материал, тем больший по величине индентор. При этом угол раствора конуса изменяется вплоть до  $90^\circ$ , в зависимости от предполагаемой прочности материала. Например чугун имеет неоднородную структуру – там присутствует феррит, перлит, графит, цементит. Поэтому твердость чугуна – это усредненная величина, которая складывается из твердости всех этих структурных составляющих [12]. Инденторы для измерения твердости обычно изготавливают из стали, они имеют форму шарика или конуса, а также применяются алмазные пирамиды. Исключив алмазную пирамиду и понимая, что при применении конуса можно использовать меньшую ударную нагрузку, чем при применении индентора в виде шарика, остановились на изготовлении конических инденторов.

Проведенное исследование посвящено закономерностям изменения величины средней твердости (обозначается  $H$ , от англ. *hardness* – твердость) ячеистого бетона в зависимости от предшествующего воздействия высоких температур при использовании различных инденторов.

**Цель исследования** – определить величину угла раствора прямого кругового конуса индентора для измерения поверхностной твердости ячеистых бетонов.

**Методика экспериментальных исследований.** Для исследований было подготовлено 60 образцов призм из ячеистого газобетона марки по средней плотности D500 согласно ГОСТ 31359-2007 [13] с усредненными размерами  $100 \times 100 \times 120$  мм. Размеры образцов были обусловлены ограничениями оборудования – внутреннего пространства муфельной печи SNOL-8,2/1100 с цифровым терморегулятором.

Для эксперимента (термического воздействия) были отобраны образцы, не имеющие видимых повреждений и однородные по структуре, т. к. в [14] указано, что «на блоках не допускаются трещины, пересекающие более двух граней, несквозные трещины более чем по четырем граням, а также линзообразные и параллельные отдельные расслоения по высоте блока».

План подготовки к испытанию на определение поверхностной твердости предусматривал термическое воздействие на образцы в течение определенного времени. Для каждой температуры и времени воздействия было взято по 2 образца. Их помещали в муфельную печь, заранее разогретую до соответствующей температуры. После загрузки образцов в печь дополнительно поднимали температуру до требуемого значения, т. к. при открытии печи для загрузки она снижалась. Скорость подогрева от момента помещения образцов в печь до достижения требуемой температуры составляла  $1^\circ$  за 4–5 с. После достижения в печи соответствующей температуры выдерживали в ней образцы фиксированное время (15, 20 и 30 мин). Интервалы времени были выбраны исходя из статистических данных МЧС. Согласно сводной таблице боевой работы подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь за 12 месяцев 2018 г. время с момента получения сообщения до прибытия к месту на 99,8 % пожаров составляет менее 20 мин. Причем образцы, подвергшиеся температурному воздействию в печи в течение 15 мин, до испытания на поверхностную твердость подвергались двухлетней выдержке при температуре помещения; подвергшиеся температурной обработке в течение 20 мин хранились 1 год; выдержанные в печи в течение 30 мин – 1 месяц.

Затем образцы из ячеистого газобетона извлекали из печи. Охлаждение образцов проводили без дополнительного обдува в температурных условиях помещения лаборатории, хотя в реалиях пожара возможно и более интенсивное охлаждение конструкций при тушении пожара как водой, так и пеной.

Для определения поверхностной твердости ячеистого газобетона, подвергшегося воздействию высоких температур, применялся метод измерения глубины (мм) погружения индентора в образец по аналогии с известным методом определения твердости по Роквеллу. Для сообщения индентору ударно-поступательного движения было использовано специально разработанное для этих целей приспособление с ранее установленным количе-

ством витков и твердости пружины, обеспечивающей при ее сжатии необходимую силу удара. Общий вид изготовленного специального приспособления представлен на рисунке 1.

Оно состоит из сжимаемой жесткой пружины, пускового устройства, прикрепленного к пусковому устройству индентора, площадки, обеспечивающей перпендикулярность размещения устройства относительно исследуемого образца, и рукоятки.

Твердость материала обозначает его сопротивление пластической местной деформации при проникновении в него иного тела, которое не подвержено такой деформации. Из данного определения следует вывод, что твердость внедряемого тела должна превосходить таковую у испытуемого образца на достаточную величину. Поэтому в качестве материала индентора выбрали инструментальную сталь твердостью 217 МПа (НВ).

В испытаниях анализировали шесть инденторов, изготовленных из инструментальной стали У12 (рис. 2), имеющих правильную форму конуса и одинаковый размер диаметра – 7,5 мм, но разный угол раствора конуса (табл. 1).

Шероховатость поверхности конуса индентора после фрезерной обработки и шлифовки равнялась  $Ra = 12,5$ .

Поверхность для испытаний выбирали так, чтобы она была ровной и плоской, не имела грубых рисок, выбоин, царапин. Поверхность перед испытанием освобождали от пыли, обрабатывая мягкой кисточкой. Толщина контролируемого образца была как минимум больше 12-кратной глубины внедрения индентора.

**Таблица 1. – Углы раствора конуса индентора**

Номер индентора	1	2	3	4	5	6
Значение угла раствора конуса индентора	35	45	55	25	20	30

Для определения глубины погружения индентора использовался глубиномер Digital Tread Depth Gauge с диапазоном измерений от 0 до 25,4 мм, ценой измерения и погрешностью 0,01 мм (рис. 3).



**Рисунок 1. – Общий вид используемого приспособления**



**Рисунок 2. – Внешний вид исследуемых инденторов**



**Рисунок 3. – Глубиномер Digital Tread Depth Gauge**

Измерения проводились в такой последовательности: на исследуемый образец помещали устройство для внедрения индентора, предварительно сжав пружину, освобождали пусковое устройство, и индентор под воздействие ударной нагрузки погружался в исследуемый образец. Устройство размещали таким образом, чтобы оно отстояло от граней образцов не менее чем на 10 мм. Устройство убирали и измеряли глубину образовавшегося конического следа от индентора в исследуемом образце газобетона при помощи глубиномера. На каждом из образцов проводили не менее 5 измерений всеми инденторами. Вид образца со следами воздействия индентора приведен на рисунке 4.

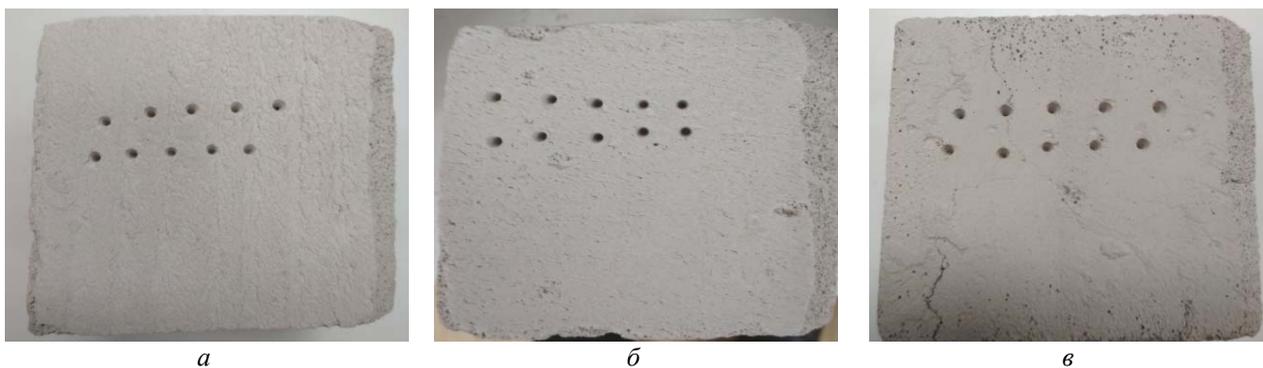


Рисунок 4. – Вид образцов, подвергнутого температурному воздействию 300 °С, со следами от внедрения индентора № 1 (время температурного воздействия: *а* – 15 минут; *б* – 20 минут; *в* – 30 минут)

Суммарно было проведено 1800 измерений, причем измерения проводились на каждом из образцов каждым из шести инденторов. Каждый индентор погружали в один образец с одной стороны 5 раз.

**Результаты экспериментальных исследований.** На рисунках 5–10 представлены графики, отражающие изменение глубины погружения исследуемых инденторов (с доверительным интервалом) в образцы в зависимости от температуры в печи. Точка на графике отображает среднее значение глубины погружения индентора, полученное при проведении 10 измерений, по пяти на каждом из параллельных образцов.

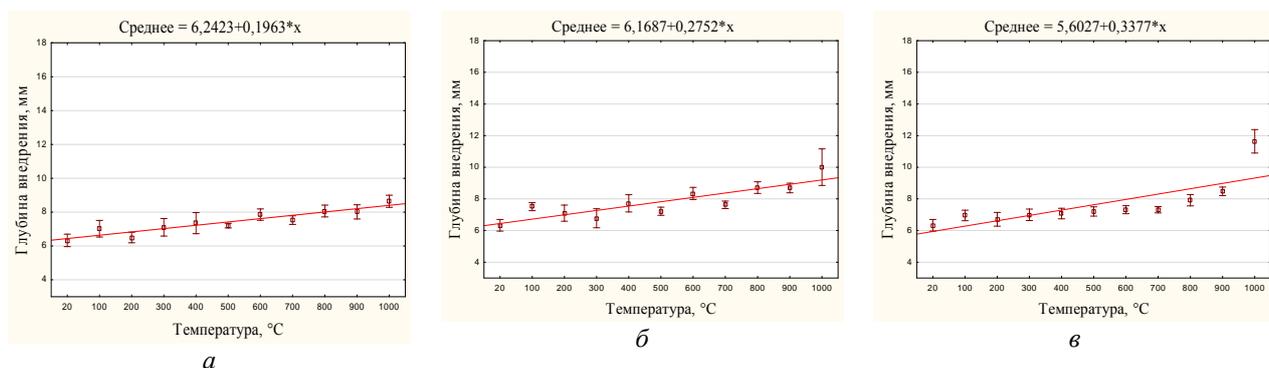


Рисунок 5. – Глубина внедрения индентора № 1 (время выдержки в печи: *а* – 15 минут; *б* – 20 минут; *в* – 30 минут)

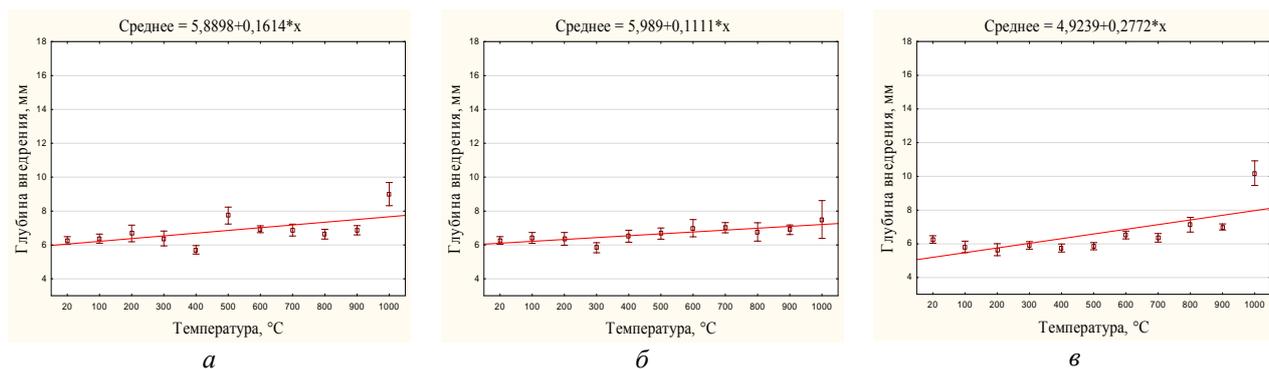
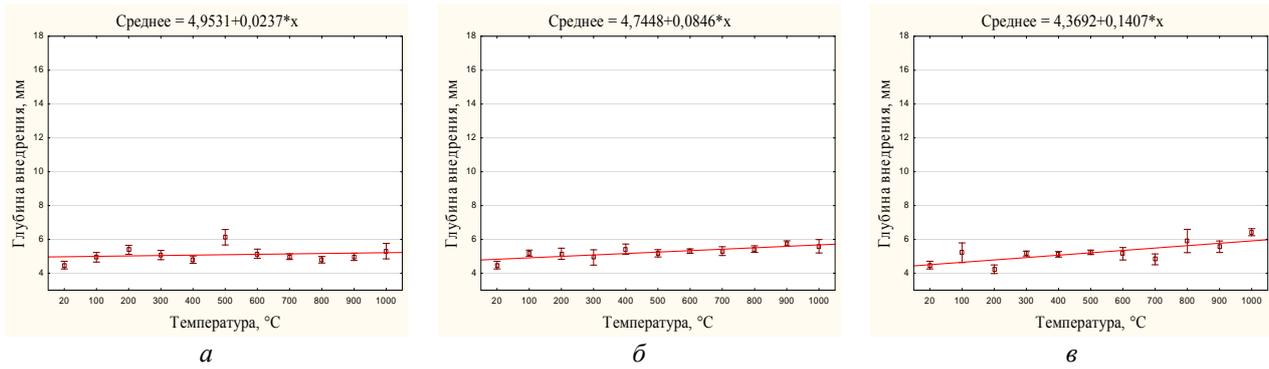
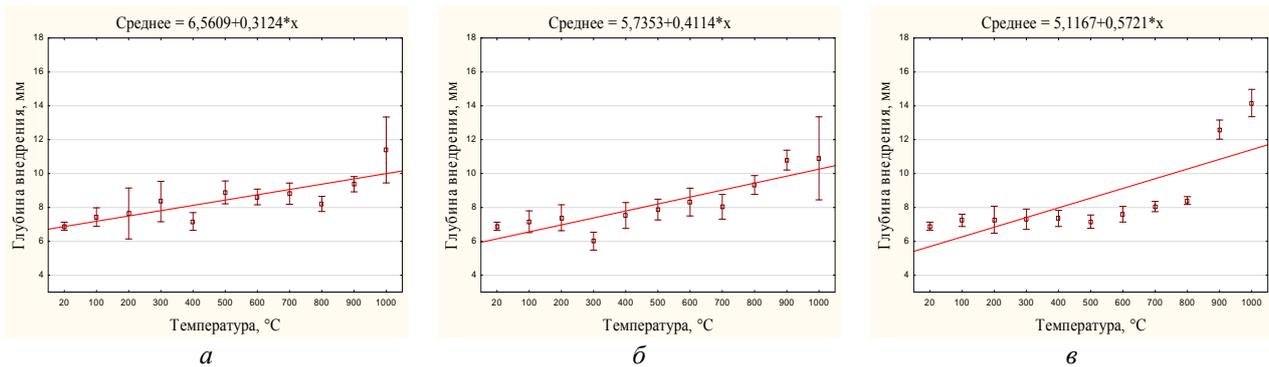


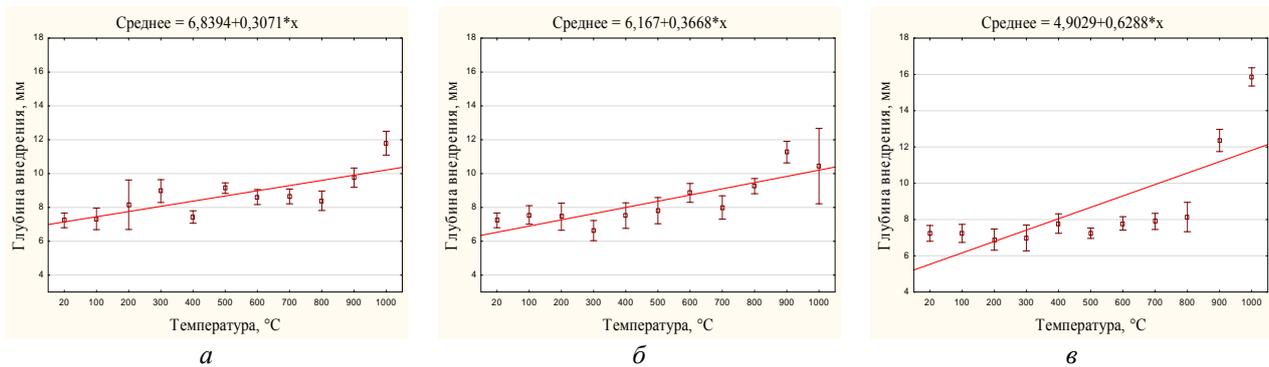
Рисунок 6. – Глубина внедрения индентора № 2 (время выдержки в печи: *а* – 15 минут; *б* – 20 минут; *в* – 30 минут)



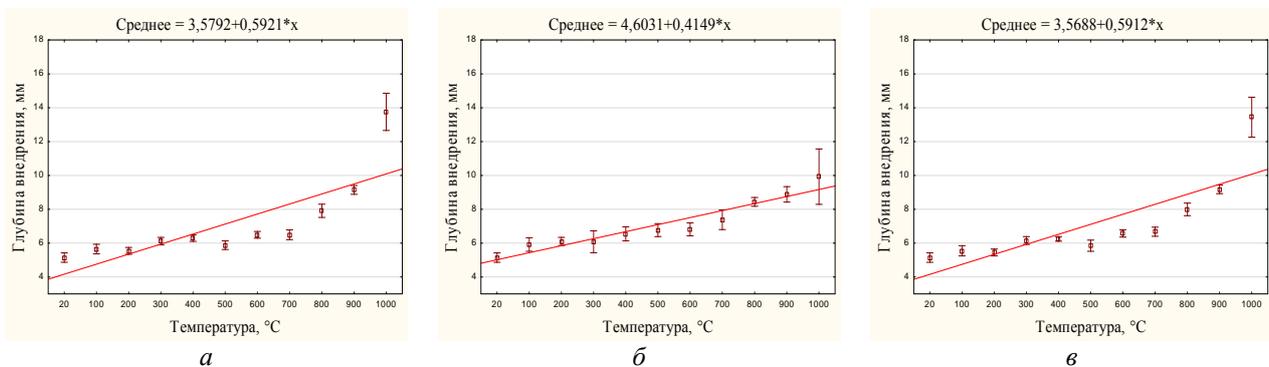
**Рисунок 7. – Средняя глубина следа от внедрения индентора № 3 (время выдержки в печи: *а* – 15 минут; *б* – 20 минут; *в* – 30 минут)**



**Рисунок 8. – Глубина внедрения индентора № 4 (время выдержки в печи: *а* – 15 минут; *б* – 20 минут; *в* – 30 минут)**



**Рисунок 9. – Глубина внедрения индентора № 5 (время выдержки в печи: *а* – 15 минут; *б* – 20 минут; *в* – 30 минут)**



**Рисунок 10. – Глубина внедрения индентора № 6 (время выдержки в печи: *а* – 15 минут; *б* – 20 минут; *в* – 30 минут)**

**Выводы.** Результаты исследования показывают, что при малом времени воздействия температуры (15 мин) и большом времени старения образцов (2 года) разброс в полученных величинах глубины погружения индентора достигает 1,5 мм (рис. 6а–10а). Это говорит о том, что поверхностная твердость образцов меняется в результате хранения, и применять данный метод определения поверхностной твердости для установления предшествующей температуры воздействия надо в небольшой промежуток времени после действия высокой температуры на газосиликатные блоки.

При 20-минутном воздействии высокой температуры на образцы снижение твердости при увеличении температуры становится достаточно постепенным, просматривается закономерность: чем выше температура в печи, при которой выдерживались образцы, тем меньшая у них поверхностная твердость (рис. 10б).

При воздействии на исследуемые образцы высокой температуры в течение 20 мин независимо от угла раствора конуса индентора наибольшая твердость у анализируемых образцов наблюдается при температуре 200 °С (рис. 5в–10в). Это можно объяснить тем, что при нагревании до температуры 200 °С происходит потеря сорбированной и химически связанной воды, при этом твердость материала увеличивается. В дальнейшем при повышении температуры твердость начинает падать, что объясняется увеличением количества разрушений перегородок в межпоровом пространстве [10].

У инденторов № 3 и № 4 (угол раствора конуса 55 и 25°) глубина погружения индентора на образцах, выдержанных при температурах 200, 300 и 400 °С, то резко понижается, то возрастает на величину до 1 мм, что выделяет данные инденторы из других и говорит о невозможности использования данных углов заточки при измерении поверхностной твердости.

Из приведенных графиков видно, что при применении индентора № 6 (угол раствора конуса 30°) измеренная поверхностная твердость у образцов, выдержанных в печи при температуре более 700 °С, значительно отличается от поверхностной твердости у образцов газобетона, подвергшихся более низкой температуре воздействия. Отсутствуют области пересечения доверительных интервалов значений температур более 700 °С с более низкими температурами, что дает возможность четко определить те области в помещении, где поверхность блоков из ячеистых бетонов подверглась температуре более 700 °С.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Информация о чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/operativnaya-informatsiya/sutochnye-svodki-mchs/v-rb/234857>. – Дата доступа: 15.01.2019.
2. Горовых, О.Г. Определение очага пожара по визуально наблюдаемым изменениям ячеистого бетона после термического воздействия / О.Г. Горовых, А.В. Волосач // Судебная экспертиза Беларуси. – 2017. – № 1 (4). – С. 59–62.
3. Чешко, И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / И.Д. Чешко. – СПб.: СПБНИПБ МВД Рос. Федерации, 1997. – 400 с.
4. Мартыненко, В.А. Теоретические и структурные свойства ячеистого бетона / В.А. Мартыненко // Theoretical foundations of civil engineering: Polish-Ukrainian transactions. – 2003. – Т. 21. – С. 177–186.
5. Сахаров, Г.П. Развитие производства и повышение конструктивных свойств автоклавного ячеистого бетона и изделий на его основе / Г.П. Сахаров // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения: материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф., Брест, Малорита, 22–24 мая 2012 г. / М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь; редкол. Н.П. Сажнев (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Стринко, 2012. – С. 32–36.
6. Чешко, И.Д. Анализ экспертных версий возникновения пожара / И.Д. Чешко, В.Г. Плотников. – СПб.: ф-л ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010. – 708 с.
7. Чешко, И.Д. Технические основы расследования пожаров: методич. пособие / И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.
8. Таубкин, С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С.И. Таубкин. – М., 1999. – 201 с.
9. Зернов, С.И. Пожарно-техническая экспертиза / С.И. Зернов, В.А. Левин. – М.: ЭКЦ МВД России, 1991. – 76 с.
10. Горовых, О.Г. Изменение величины сорбции ячеистых бетонов после термического воздействия / О.Г. Горовых, А.В. Волосач // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2018. – № 1 (43). – С. 57–64.

11. Гаевой, А.Ф. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона / А.Ф. Гаевой, Б.А. Качура. – Харьков: Вища школа, 1978. – 224 с.
12. Розенберг, Ю.А. исследование твердости серого чугуна в приложении к процессу резания / Ю.А. Розенберг, А.К. Байкалов // Изв. Томского политехн. ин-та. – 1961. – Т. 96 (2). – С. 192–206.
13. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия: ГОСТ 31359-2007. – Введ. 1.01.2009. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. – 9 с.
14. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия: СТБ 1117-98. – Введ. 01.04.1999. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – 68 с.

## RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF SURFACE HARDNESS OF CELLULAR CONCRETES EXPOSED TO TEMPERATURE BY INDENTORS HAVING 20–55° ANGLES OF CONE OPENING

**Olga Gorovykh**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

**Aliaksander Volosach**

Branch «The Institute for Retraining and Professional Development» of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», village Svetlaya Roshcha, Borisov area, Belarus

*Purpose.* Determination of angle of opening of a straight circular cone of indenter, to measure the surface hardness of cellular concrete.

*Methods.* Determination of the depth of immersion of steel indenters in samples of cellular concrete after high-temperature heating.

*Findings.* Experimental data on the change in hardness of cellular concrete, depending on the effects of high temperatures, have been obtained.

*Application field of research.* The results can be used to determine the fire in cellular concrete structures.

*Conclusions.* The angle of opening of the indenter cone has been determined, allowing to clearly identify those areas in the room where the surface of the blocks of cellular concrete was exposed to a temperature of more than 700 °C.

*Key words:* cellular concrete, thermal effect, indenter, medium hardness, fire.

(The date of submitting: January 16, 2019)

### REFERENCES

1. *Emergency information*, available at: <https://mchs.gov.by/operativnaya-informatsiya/sutochnye-svodki-mchs/v-rb/234857> (accessed: January 15, 2019). (rus)
2. Gorovykh O.G., Volosach A.V. Opredeleniye ochaga pozhara po vizual'no nablyudayemym izmeneniyam yacheistogo betona posle termicheskogo vozdeystviya [Determination of the fire source by visually observable changes in cellular concrete after thermal exposure]. *Sudebnaya ekspertiza Belarusi*, 2017. No. 1. (4). Pp. 59–62. (rus)
3. Cheshko I.D. *Ekspertiza pozharov (ob"yekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Expertise of fires (objects, methods, research methods)]. Saint Petersburg: Ministry of the Interior Russian Federation, 1997. 400p. (rus)
4. Martynenko V.A. Teoreticheskiye i strukturnyye svoystva yacheistogo betona [Theoretical and structural properties of cellular concrete]. *Theoretical foundations of civil engineering: Polish-Ukrainian transactions*, 2003. Vol. 21. Pp. 177–186. (rus)
5. Sakharov G.P. Razvitiye proizvodstva i primeneniye konstruktivnykh svoystv avtoklavnogo betona i izdeliy na yego osnove [Production development and improvement of the structural properties of autoclaved cellular concrete and products based on it]. *Proc. 7th Intern. scientific-practical conf. «Experience of production and use of cellular autoclaved concrete»*, Brest, Malorita, May 22–24, 2012. Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus. Minsk: Strinko, 2012. Pp. 32–36. (rus)
6. Cheshko I.D., Plotnikov V.G. *Analiz ekspertnykh versiy vozniknoveniya pozhara* [Analysis of expert versions of the occurrence of fire]. Saint Petersburg: Branch of the FSI VNIPO EMERCOM of Russia, 2010. 708 p. (rus)
7. Cheshko I.D. *Tekhnicheskiye osnovy rassledovaniya pozharov: Metodicheskoye posobiye*. [Technical bases of fire investigation]: manual. Moscow: VNIPO EMERCOM of Russia, 2002. 330 p. (rus)
8. Taubkin S.I. *Pozhar i vzryv, osobennosti ikh ekspertizy* [Fire and explosion, features of their expertise]. Moscow: VNIPO EMERCOM of Russia, 1999. 201 p. (rus)
9. Zernov S.I., Levin V.A. *Pozharno-tekhnicheskaya ekspertiza* [Fire and technical expertise]. Moscow: Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1991. 76 p. (rus)
10. Gorovykh O.G., Volosach A.V. Izmeneniye velichiny sorbtzii yacheistykh betonov posle termicheskogo vozdeystviya [The change in the value of sorption of cellular concrete after thermal exposure]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya*, 2018. No. 1(43). Pp. 57–64. (rus)

11. Gayevoy A.F., Kachura B.A. *Kachestvo i dolgovechnost' ograzhdayushchikh konstruktsiy iz yacheistogo betona* [The quality and durability of enclosing structures made of cellular concrete]. Kharkov: Vishcha shkola, 1978. 224 p. (rus)
12. Rozenberg Y.A., Baykalov A.K. Issledovaniye tverdosti serogo chuguna v prilozhenii k protsessu rezaniya [Study of the hardness of gray iron in the application to the cutting process]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta*, 1961. Vol. 96 (2). Pp. 192–206. (rus)
13. *Betony yacheistyye avtoklavnogo tverdeniya. Tekhnicheskiye usloviya: GOST 31359-2007* [Concrete cellular autoclaved. Specifications: State standard 31359-2007]. Affirmed January 1, 2009. Minsk: Belarusian State Institute of Standardization and Certification, 2009. 9 p. (rus)
14. *Bloki iz yacheistyykh betonov stenovyye. Tekhnicheskiye usloviya: STB 1117-98* [Blocks of cellular concrete wall. Specifications: standard of Belarus 1117-98]. Affirmed April 1, 1999. Minsk: Belarusian State Institute of Standardization and Certification, 1999. 68 p. (rus)