

## Влажностное состояние современных конструкций из автоклавного газобетона в условиях эксплуатации

*Начальник отдела технического развития Г.И. Гринфельд\*;  
инженер-технолог-лаборант С.А. Морозов,  
ООО «АЭРОК СПб»;*

*студент И.А. Согомоян;  
студент П.С. Зырянов,*

*ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** автоклавный ячеистый бетон; газобетон; эксплуатационная влажность; высыхание.

В Санкт-Петербурге и области в настоящий момент действуют шесть организаций, производящих ячеистый бетон автоклавного твердения. На всех предприятиях ячеистый бетон производится газовым способом поризации по литьевой технологии. Литьевая технология на практике означает массовую влажность бетона на выходе из автоклавов на уровне 35–45% (большие значения влажности соответствуют меньшим плотностям). Аналогичная ситуация наблюдается в других регионах: более 80% всех автоклавных ячеистых бетонов в России производятся по литьевой технологии [1].

Высокая влажность, обусловленная в начальный период эксплуатации наличием технологической и построечной влаги, быстро снижается, достигая постепенно эксплуатационного уровня [2,3]. Установившаяся влажность ячеистого бетона автоклавного твердения в составе ограждающих стен составляет 3–6% по массе [2–6]. Однако повышенная влажность ячеистого бетона в начальный период эксплуатации обуславливает меньшие расчетные значения прочности бетона в кладке [7]. Прочность бетона, в свою очередь, влияет и на несущую способность анкерных креплений для навесных вентилируемых фасадов, если таковые анкерятся в тело ячеистого бетона. Контрольные испытания анкеров на увлажненной ячеистобетонной кладке даже служат причиной возникновения заблуждений, касающихся ограничений в применимости ячеистобетонной кладки в качестве основы для крепления навесных фасадных систем [8]. Необходимость учитывать влияние начальной влажности и сравнительно невысокую несущую способность анкеров в ячеистых бетонах невысоких плотностей повышает интерес к фасадным системам с жесткими направляющими профилями, позволяющими не использовать кладку, заполняющую ячейки несущего железобетонного каркаса, в качестве основы для крепления, ограничиваясь анкерровкой в торцы железобетонных элементов каркаса [9, 10].

Таким образом, информация о динамике изменения влажности кладки в начальный период эксплуатации позволяет оценивать сроки выхода конструкций на расчетные прочностные и теплофизические показатели.

Автоклавный газобетон позиционируется на рынке как элемент энергосберегающих конструкций. При этом следует обратить внимание, что при оценке экономической эффективности энергосберегающих мероприятий необходимо учитывать срок службы или эффективной эксплуатации ограждающих конструкций [11], учитывать теплотехническую однородность кладки [12, 13, 14], а также принимать в расчет вид наружной отделки конструкции [15]. Единственным критерием долговечности каменной кладки является морозостойкость использованных для ее возведения материалов (см. СНиП II-22-81\* «Каменные и армокаменные конструкции»), что подтверждается натурными и лабораторными исследованиями [16-19]. Вопрос влияния различных факторов на долговечность ячеистых бетонов подробно рассмотрен в монографии [20], где в частности отмечено, что в условиях штатной эксплуатации структура бетона со средней плотностью 400-700 кг/м<sup>3</sup> имеет большой объем «резервной» пористости, что делает ячеистый бетон практически неограниченно морозостойким.

При этом, опуская особенности начального периода, в теплотехнических расчетах за расчетную принимается влажность строительных материалов, устанавливающаяся в эксплуатируемых конструкциях через некоторое время после окончания строительства, после их выхода на квазистационарный влажностный режим. Расчетные значения влажности автоклавных ячеистых бетонов в зависимости от режима эксплуатации конструкций с их применением были приняты до 1970-х (СНиП II-A.7-71 «Строительная теплотехника») и на общегосударственном уровне с тех пор не корректировались (СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»). В то же время результаты более поздних исследований учитывались при разработке территориальных нормативов (см. например: ТСН 301-1-97\*. «Руководство по применению газосиликата для конструкций с повышенным термическим сопротивлением. Теплотехнические характеристики» / Администрация Воронежской области) и стандартов организаций (СТО 00044807-001-2006 «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций» / Российское общество инженеров строителей).

Гринфельд Г.И., Морозов С.А., Согомоян И.А., Зырянов П.С. Влажностное состояние современных конструкций из автоклавного газобетона в условиях эксплуатации

Целью натурного обследования эксплуатирующихся наружных ограждающих конструкций и одной из целей возведения экспериментальных стен являлось определение фактического значения средней за отопительный период влажности газобетонного слоя таких конструкций, а также выявление кинетики его выхода на установившиеся значения влажности.

Влажность газобетона определялась по методике ГОСТ 12852.2–77 «Бетон ячеистый. Метод определения влажности и объемной массы». Образцы бетона из кладки отбирались шлямбурами (диаметром 40 мм и диаметром 12 мм). Керны выбуривались на всю толщину конструкции фрагментами по 50 мм. Полученные таким образом цилиндры высотой по 5 см служили источниками данных о распределении влажности по толщине стены.

### **Описание экспериментальных конструкций**

1. Осенью 2004 г. на территории Таллинского технического университета были выполнены два фрагмента стен (1750×2450 мм) северной и южной ориентации, ограждающих помещение с постоянным микроклиматом ( $t_{int} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{int} = 50\%$ ).

Состав конструкции: автоклавный газобетон на смешанном вяжущем D400 B2 (AEROC AS), 375 мм, кладка на тонкослойный раствор (толщина шва 1–3 мм), штукатурка с двух сторон (толщина слоя 3 мм, паропроницаемость  $\mu = 0,05\text{ мг/м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$ ). Из конструкций ежемесячно проводился отбор образцов для определения влажности. Наблюдения велись до осени 2007 г.

2. В мае 2007 г. на территории ОАО «Санкт-Петербургский зональный научно-исследовательский и проектный институт жилищно-гражданских зданий» (ранее ЛенЗНИИЭП) в одном из корпусов была встроена и с 2007 г. по настоящее время наблюдается наружная стена северо-восточной ориентации, ограждающая эксплуатируемое офисное помещение. Из стены не реже трех раз в год отбираются керны для определения влажности газобетонного слоя.

Состав конструкции: автоклавный газобетон на смешанном вяжущем D500 B2 (ФГУП 211 КЖБИ), 400 мм, кладка на тонкослойный раствор (толщина шва 1–3 мм), облицовка с наружной стороны – 120 мм лицевого силикатного кирпича (зазор между слоями кладки отсутствует), внутренняя отделка – гипсокартон на металлическом каркасе, без герметизации, со смотровыми проемами для отбора проб.

### **Общее описание обследованных эксплуатируемых конструкций**

С 1998 г. по настоящее время конструктивные решения наружных стеновых ограждений в Санкт-Петербурге и области с автоклавным газобетоном в качестве единственного теплоизоляционного материала не претерпели существенных изменений. Единственным (значимым) изменением стал массовый переход с применения бетона марки по средней плотности D500 на бетон D400 – переход произошел в 2006–2007 гг. вследствие изменения рыночного предложения.

Обследовались конструкции с применением газобетона марки D400 2006–2007 гг. постройки, преимущественно неблагоприятной ориентации (северо-западной, северной, северо-восточной). Конструкции двухслойные (с облицовкой газобетонного слоя кирпичом – как с оставлением, так и без оставления воздушного зазора) и однослойные. Однослойные конструкции в большинстве случаев имели наружные штукатурные слои.

Всего за отопительные сезоны 2008/09 и 2009/10 гг. было обследовано 76 конструкций. Возраст конструкций составлял 1,5–3 года. Средний возраст кладки на момент обследования составлял 22,5 месяца. В рамках данной статьи приводятся данные по влагосодержанию наиболее характерных конструкций.

### **Результаты**

#### **1. Экспериментальная конструкция на территории Таллиннского ТУ (2004–2007 гг.)**

Начальное влагосодержание фрагментов стен сразу по окончании кладочных работ было близко к послеавтоклавной влажности и было несколько выше 30% по массе.

Представленная на рис. 1 кривая показывает изменение средней по толщине стены массовой влажности в процессе эксплуатации конструкции.

При фактических погодных условиях 2004–2007 гг. в Таллине переход газобетонного слоя наблюдаемой конструкции от высыхания к сезонным колебаниям влажности (выход на квазистационарный влажностный режим) практически завершился за 3 года. Распределение влаги по толщине стены к концу периодов влагонакопления приведено на рис. 2.

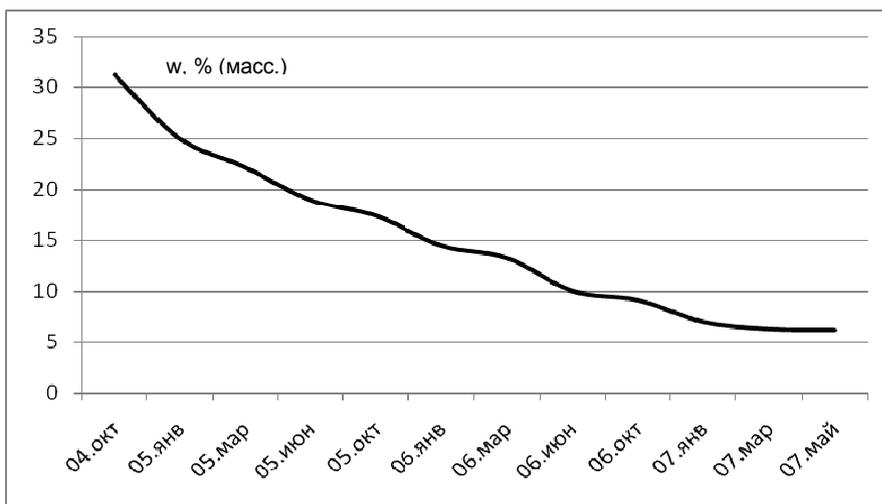


Рисунок 1. Динамика изменения во времени среднего по толщине стены значения массовой влажности газобетона (D400, 375 мм, штукатурка)

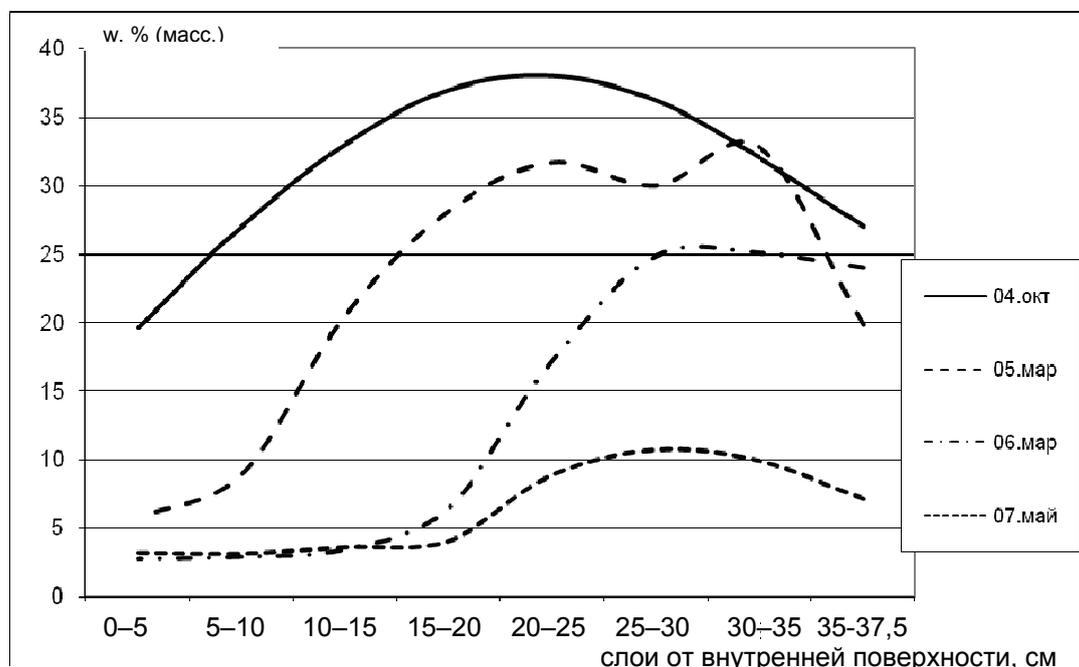


Рисунок 2. Распределение влаги по толщине стены (Таллиннский технический университет)

## 2. Экспериментальная конструкция на территории ОАО СПБЗНИиПИ (2007 г. – настоящее время)

Влажность газобетона по толщине стены после завершения этапа монтажа стеновой конструкции не контролировалась, но по результатам, полученным на основании результатов испытаний случайного отбора образцов, составляла около 30 %. В целом условия возведения испытываемой стеновой конструкции были максимально приближены к реальным условиям на строительной площадке: материал для возведения стен был заказан перед началом выполнения монтажных работ, строительные работы были начаты после установления необходимых для возведения стен температурных условий. В дальнейшем, влажность контролировалась в среднем три раза в год: в начале отопительного периода, в его середине и в конце, а также несколько раз значения влажности по толщине стены контролировались в промежуточные периоды, например, летом – в августе месяце.

На рис. 3 и 4 показаны изменение средней влажности газобетонного слоя с течением времени и распределение влаги по толщине стены в разные периоды.

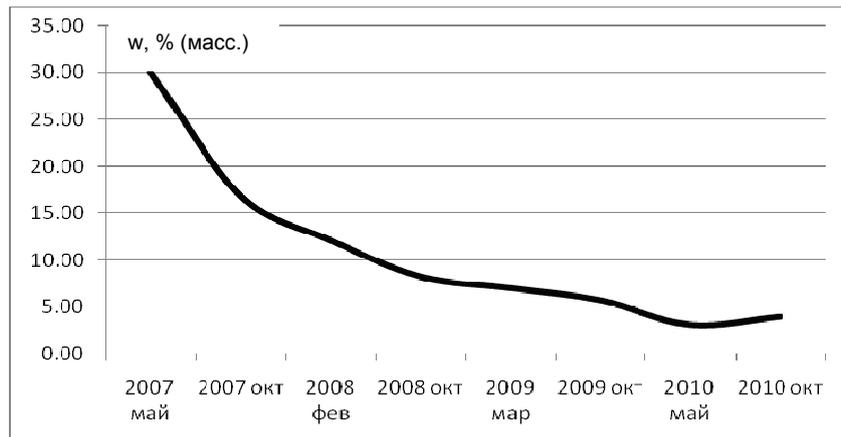


Рисунок 3. Динамика изменения во времени среднего по толщине стены значения весовой влажности газобетона (D500, 400 мм, облицовка ½ кирпича)

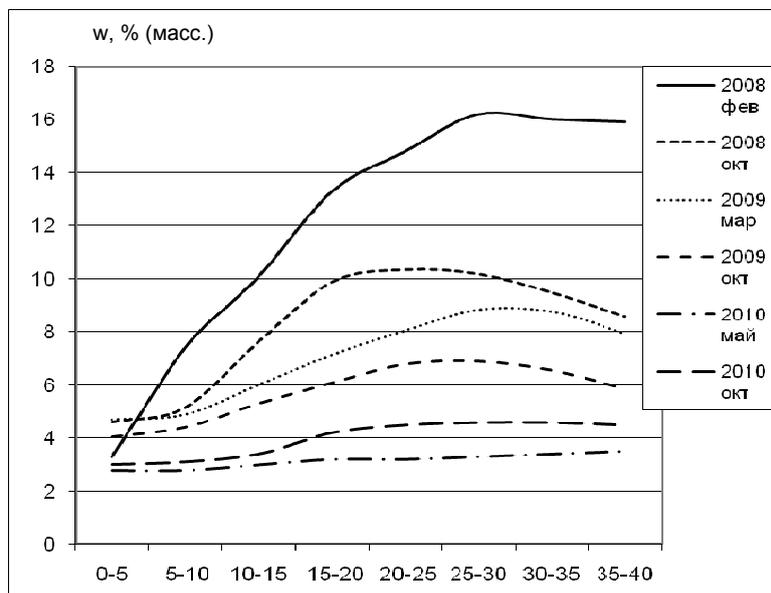


Рисунок 4. Распределение влаги по толщине стены (СПбЗНИИПИ)

### 3. *Натурные обследования эксплуатируемых конструкций (СПб и ЛО, 2008–2010 гг.)*

На рис. 5 приведены данные по распределению влаги по толщине стен, наиболее характерные для кладок обследованных зданий. Ряд 11 – обобщающая кривая, показывающая средние значения влажности различных слоев кладки.

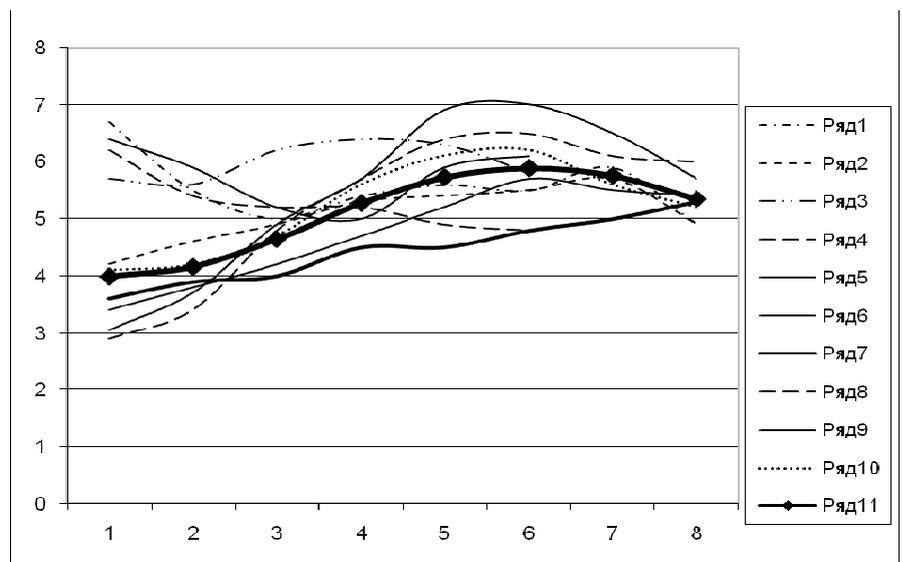


Рисунок 5. Распределение влаги по толщине стены в обследованных конструкциях 2006–2007 годов постройки. Ряд 11 – обобщающая кривая

### Данные смежных исследований

Исследования, направленные на выявление влажностного состояния однослойных бетонных ограждающих конструкций, велись в нашей стране и за рубежом на протяжении большей части двадцатого века [21]. Постоянная корректировка значений расчетной влажности материала в сторону их уменьшения – общая тенденция, обусловленная изменением целей тепловой защиты и связанным с этим изменением конструктивных решений ограждающих конструкций. Так, расчетная надбавка к теплопроводности автоклавных ячеистых бетонов в сухом состоянии, учитывающая влажностное состояние в условиях эксплуатации, последовательно снижалась в германских нормативах с 1952 по 2001 г. [22]. Сходные изменения отображены в разных изданиях книги «Ячеистый бетон. Руководство» [23]. Данные, показывающие значения эксплуатационной влажности, отличные от указанных в СНиП II-A.7-71, СП 23-101-2004 приводятся и по результатам современных отечественных натурных обследований [6].

Влажностное состояние и выход на установившуюся влажность ячеистобетонных конструкций исследуются и в климатических условиях, близких к российским [24]. Общий подход к назначению расчетных теплотехнических характеристик строительных материалов также претерпел изменения за последние десятилетия. Поскольку задачи нормирования теплозащитных свойств ограждающих конструкций изменились и вместо обеспечения минимального комфорта направлены на обеспечение экономичного расходования ресурсов, изменен и подход к назначению расчетных характеристик материалов: вместо обеспеченности 90% результатами исследований по умолчанию становятся средние значения.

Современные тенденции в определении и назначении расчетных температурно-влажностных характеристик различных строительных материалов в связи с развитием вычислительной техники демонстрируют всё большую дифференцированность. Поскольку состояние материала меняется в зависимости от типа конструкции, в которой он применен, выполняемой функции, степени однородности слоя, содержащего материал, и ряда других поддающихся формализации факторов, эксплуатационные характеристики материалов могут определяться расчетным путем. Применительно к ячеистым бетонам существуют как отечественные инженерные подходы к расчету влажностного режима конструкций с применением ячеистого бетона [25], так и зарубежные расчетные модели [26].

### Выводы

1. Снижение влажности газобетона марки D400 от отпускной до установившейся эксплуатационной происходит в климатических условиях Северо-Запада в течение трех лет.
2. Фактическая установившаяся влажность бетона марки D400 в обследованных конструкциях ниже введенной в нормативные документы к 1970 гг.

### Литература:

1. Гринфельд Г. И. Производство автоклавного газобетона в России: история, современность, перспективы // Материалы семинара «Применение современного автоклавного газобетона в строительстве». Декабрь 2010 г. Екатеринбург, 2010. С. 26-31.
2. Автоклавный ячеистый бетон: Пер. с англ. / Ред.совет: Г.Бове (пред.) и др. М.: Стройиздат, 1981. 88 с.
3. Ухова Т. А., Паплавскис Я. М., Гринфельд Г. И., Вишневский А. А. Разработка межгосударственных стандартов взамен ГОСТ 21520-89 и ГОСТ 25485-89 в части ячеистых бетонов автоклавного твердения // Строительные материалы. 2007. №4. С. 2–4.
4. ГОСТ 31359-2007. Ячеистые бетоны автоклавного твердения. Технические условия.
5. Лундышев И. А. Каркасные системы, применяемые в ограждающих конструкциях при строительстве из монолитного пенобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. №1. С. 13-16.
6. Славчева Г. С., Чернышов Е. М., Коротких Д. Н., Кухтин Ю. А. Сравнительные эксплуатационные теплозащитные характеристики одно- и двухслойных стеновых газосиликатных конструкций // Строительные материалы. 2007. №4. С. 13–18.
7. Бабков В. В., Кузнецов Д. В., Сахибгареев Р. Р., Чуйкин А. Е., Халимов Р. К., Гайсин А. М. Проблемы долговечности автоклавного газобетона // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. №2. С. 97-99.
8. Немова Д. В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. №5. С. 7-11.
9. Гринфельд Г. И. Ограждающие конструкции из газобетонных блоков с облицовкой навесными фасадами // Строительные материалы. Архитектура. 2009. №10. С. 75–78.

10. Горшков А. С., Попов Д. Ю., Глумов А. В. Конструктивное исполнение вентилируемого фасада повышенной надежности // Инженерно-строительный журнал. 2010. №10. С. 5–8.
11. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9-13.
12. Кривошеин А. Д., Федоров С. В. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8. С. 21-27.
13. Горшков А. С., Гладких А. А. Влияние растворных швов кладки на параметры теплотехнической однородности стен из газобетона // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С. 39-42.
14. Гринфельд Г. И., Пинскер В. А., Вылегжанин В. П. Теплофизические испытания фрагмента кладки стены из газобетонных блоков марки по плотности d400 // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 17-19.
15. Ватин Н. И., Глумов А. В., Горшков А. С. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2011. №1. С. 28–33.
16. Горшков А. С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натуральных испытаний // Строительные материалы. 2009. №8. С.17–21.
17. Горшков А. С., Кнатько М. В., Рымкевич П. П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 20-26.
18. Кнатько М. В., Ефименко М. Н., Горшков А. С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2008. №2. С. 50-53.
19. Горшков А. С., Рымкевич П. П., Пестряков И. И., Кнатько М. В. Прогнозирование эксплуатационного срока службы стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. №9. С. 49–53.
20. Силаенков Е. С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М. : Стройиздат, 1986. 176 с.
21. Кауфман Б. П. Теплопроводность строительных материалов. М. : Государственное издательство по строительству и архитектуре, 1955. 159 с.
22. Др. Крефт О., Шох Т. Технологический исследовательский центр Xella. Влияние влажности на теплопроводность газобетона // Alitinform. Международное аналитическое обозрение. 2010. №1. С. 60–65.
23. Homann M. Porenbeton Handbuch., Bauverlag, Guetersloh. 2005.
24. Tariku F.; Kumaran K. Experimental and Analitical Investigations on tha Drying Process Undergone by Aerated Concrete. II Final Report from ASHRAE Research Project 1018-RP. 2002.
25. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Основы для инженерной методики расчета влажностного режима ограждающих конструкций с применением ячеистого бетона // Алитинформ. 2010. №1(13). С. 59–63.
26. Tariku F.; Kumaran M.K. Hydrothermal modeling of aerated concrete wall and compraison with field experiment. 3<sup>rd</sup> International Duiliding Phisics Conference, Montreal, QC., August 27, 2006. Pp. 321–328.

*\* Глеб Иосифович Гринфельд, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. раб.: +7(812)640-33-40; эл. почта: gleb.grinfeld@aeroc.ru*