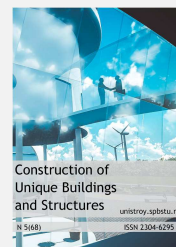




Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



doi: 10.18720/CUBS.68.7

Фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов автоклавного твердения

Actual thermal insulation properties of cellular autoclave curing concretes

А.С. Горшков^{1*}, И.И. Пестряков², С.В. Корниенко³,
Н.И. Ватин⁴, В.Я. Ольшевский⁵

^{1,2,4,5}Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, Санкт-Петербург,
Россия

³Волгоградский государственный технический
университет, г. Волгоград, Россия

A.S. Gorshkov^{1*}, I.I. Pestryakov², S.V. Korniyenko³,
N.I. Vatin⁴, V.Ya. Olshevskiy⁵

^{1,2,4,5}Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia

³Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

газобетонные блоки;
плотность;
теплопроводность;
равновесная сорбционная влажность;
паропроницаемость;
сопротивление паропроницанию;
наружные стены;
термическое сопротивление;
энергосбережение;
энергоэффективность;

KEYWORDS

aerated concrete blocks,
density,
thermal conductivity,
water vapor sorption,
vapour permeability,
vapour permition resistance,
exterior walls,
heat transfer resistance,
energy saving,
energy efficiency

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 28.07.2018
Принята: 14.08.2018

ARTICLE HISTORY

Submitted: 28.07.2018
Accepted: 14.08.2018

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты лабораторных испытаний стеновых неармированных изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения (газобетонных блоков). Фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов, выпиленных из образцов продукции трех производителей, в большинстве случаев не совпадают со значениями, заявленными производителями и представленными в стандартах, подготовленных с их непосредственным участием. Несоответствие расчетных и фактических значений теплопроводности материалов и изделий, используемых при устройстве наружных ограждающих конструкций, приводит к увеличению трансмиссионных потерь через стены и перерасходу тепловой энергии на отопление. В этой связи требуется кардинальный пересмотр заявленных производителями значений, а также стандартов, на основании которых производится выпуск изделий, и корректное их представление в действующих нормативных документах.

ABSTRACT

Results of laboratory researches of the wall not reinforced products from cellular concrete of autoclave curing (gas-concrete blocks) are presented. The actual thermal insulation properties of the cellular concrete cut from product samples of three producers in most cases don't coincide with the values declared producers and presented in the standards prepared with their direct participation. The discrepancy of calculated and actual values of thermal conductivity of the materials and products used at the device of the external protecting designs leads to increase in heat losses through walls and to an over expenditure of specific heat consumption of heating system. In this regard cardinal revision of the values declared producers and also standards on the basis of which the release of products, and their correct representation in the existing normative documents is made is required.

Содержание

1.	Введение	76
2.	Методы и материалы	84
3.	Результаты и обсуждение	86
4.	Заключение	101

1. Введение

1.1. Применение изделий стеновых из ячеистого бетона автоклавного твердения

Изделия стеновые из ячеистого бетона автоклавного твердения находят широкое применение в современном строительстве. В основном стеновые блоки из ячеистого бетона (газобетонные блоки) применяются при кладке наружных и внутренних стен [1–14], в гораздо меньшей степени – в составе сборно-монолитных ребристых перекрытий [15–18].

В 2013 году объемы производства изделий из автоклавного газобетона превысили объемы изготовления керамических стеновых материалов. Ячеистый бетон стал основным стеновым материалом в России (рисунок 1).

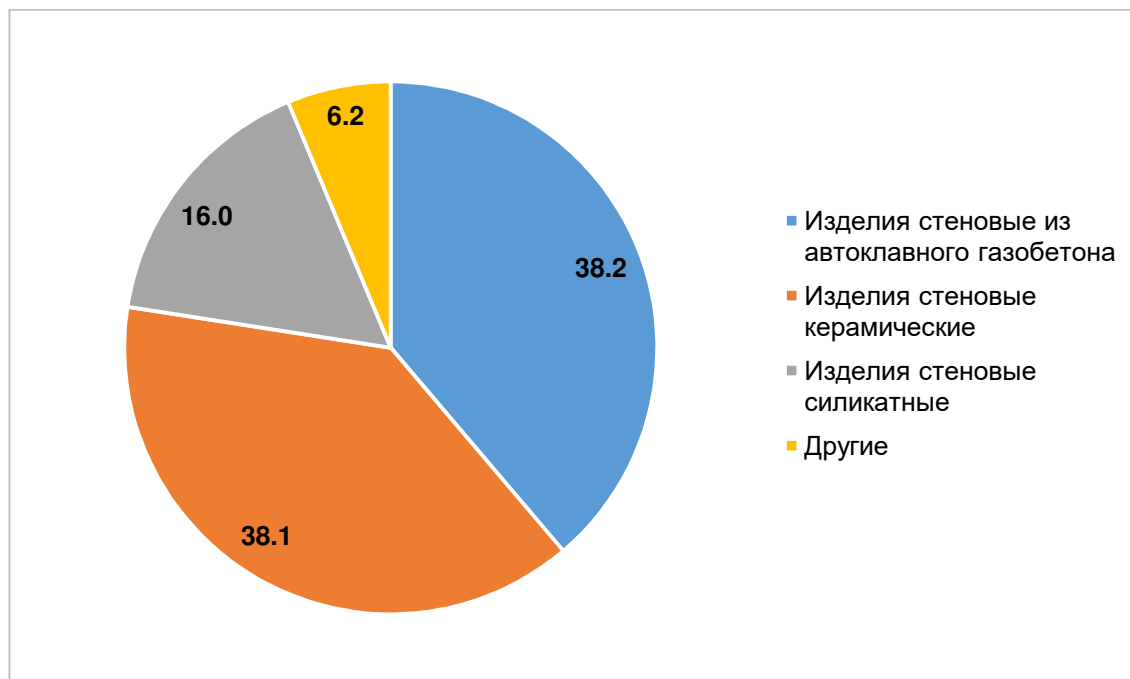


Рисунок 1. Распределение долей российского рынка стеновых материалов [19]

Потери тепла через наружные ограждающие конструкции, расход тепловой энергии в здании и его энергетическая эффективность, а также качество микроклимата в эксплуатируемых помещениях зависят от теплопроводности материалов и изделий, применяемых в составе наружных ограждающих конструкций.

Одной из причин несоответствия вводимых в эксплуатацию зданий проектным показателям их энергопотребления и энергетической эффективности является несоответствие заявленных и фактических теплотехнических характеристик материалов и изделий.

В работе [20, 21] авторами (Лобов О.И., Ананьев А.И., Рымаров А.Г.) высказано мнение, что для достижения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций экспериментальные значения теплопроводности многих строительных материалов были искусственно занижены. В работе [22] приведены данные лабораторных испытаний различных типов кладки стен из каменных изделий. Показано, что фактическая теплопроводность кладочных материалов в подавляющем большинстве случаев превышает заявленные производителями и указанные в стандартах характеристики. В этой связи возникает необходимость комплексного исследования свойств строительных материалов, в том числе, ячеистых бетонов автоклавного твердения, которые в настоящее время являются одним из наиболее распространенных стеновых материалов.

1.2. Анализ нормативных документов

В 2007 году при активном участии производителей изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения были утверждены два новых стандарта:

- ГОСТ 31359 [23] (взамен ГОСТ 25485 [24]), устанавливающий технические требования, правила приемки, методы контроля, а также требования к транспортированию и хранению ячеистых бетонов автоклавного твердения;

- ГОСТ 31360 [25] (взамен ГОСТ 21520 [26]), устанавливающий технические требования, физико-механические характеристики, маркировку, приемку, методы контроля требования к транспортированию и хранению изделий (мелких стеновых блоков) из ячеистого бетона автоклавного твердения.

Действие ГОСТ 25485 [24] и ГОСТ 21520 [26] сохранилось в отношении неавтоклавных ячеистых бетонов и изделий из них, соответственно.

Введение в действие ГОСТ 31359 [23] и ГОСТ 31360 [25] устранило многие ограничения, которые были предусмотрены ГОСТ 25485 [24] и ГОСТ 21520 [26], в частности, было исключено требование по отпускной влажности изделий. Это создало благоприятные условия для активного продвижения продукции на рынок, что впоследствии стимулировало рост численности новых производственных площадок.

Следует отметить, что требования по отпускной влажности изделий из ячеистых бетонов автоклавного твердения противоречит требованиям п. 5.6.7 ГОСТ 13015 [27], согласно которому: «Влажность ячеистого бетона при отпуске изделий потребителю не должна превышать 25 % для бетона на песке и 35 % – для бетона на основе золы и других отходов производства». При том, что в разделе 2 ГОСТ 31359 [23] приведена ссылка на ГОСТ 13015 [27]. Указанное несоответствие создало производителям изделий из ячеистых бетонов автоклавного твердения дополнительные конкурентные преимущества по сравнению с предприятиями, выпускающими изделия из ячеистых бетонов неавтоклавного твердения. В результате многие предприятия, которые выпускали качественную и востребованную рынком продукцию из неавтоклавного пенобетона и неавтоклавного газобетона были вынуждены сократить выпуск продукции, другие – остановить производственную деятельность.

В таблице 1 представлены значения теплопроводности ячеистых бетонов в сухом состоянии, установленные в различных нормативных документах.

Таблица 1. Теплопроводность ячеистого бетона в сухом состоянии

Марка по средней плотности	Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м·К), согласно стандарту						
	ГОСТ 31359 [23]	ГОСТ 25485 ¹ [24]	СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28]	СТО НААГ 3.1 [29]	СП 50.13330 ^{2,3} [30]	EN 1745 $\lambda_{50/50}$ [31]	EN 1745 $\lambda_{90/90}$ [31]
D200	0,048	- ⁴	0,048	0,048	-	0,048	
D250	0,06	-	-	-	-	0,06	
D300	0,072	0,08	0,072	0,072	-	0,072	0,085
D350	0,084	-	-	-	-	0,084	
D400	0,096	0,10	0,096	0,096	0,11	0,096	0,11
D450	0,108	-	-	-	-	0,108	
D500	0,12	0,12	0,12	0,12	-	0,12	0,13
D600	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16
D700	0,17	0,18	0,17	0,17	-	0,17	0,18
D800	0,19	0,21	-	-	0,21	0,19	0,21
D900	0,22	0,24	-	-	-	0,22	0,24
D1000	0,24	0,29	-	-	0,29	0,24	0,26
D1100	0,26	0,34	-	-	-	0,26	
D1200	0,28	0,38	-	-	-	0,28	

Примечания.

1. Значения теплопроводности по ГОСТ 25485 [24] приведены для ячеистых бетонов, изготовленных на песке.
2. Значения теплопроводности по СП 50.13330 [30] приведены для «газо- и пенобетона на цементном вяжущем». В СП 50.13330 [30] для изделий, обозначенных как «газо- и пенобетон на известняковом вяжущем» и «газо- и пенозолобетон на цементном вяжущем», значения теплопроводности в сухом состоянии при одной и той же плотности выше, чем указанные в настоящей таблице.
3. Численные значения теплопроводности ячеистых бетонов в сухом состоянии, приведенные в Приложении Т СП 50.13330 [30], совпадают с аналогичными показателями, приведенными в Приложении Д СП 23-101-2004 [32].
4. Прочерки в таблице означают, что для указанных марок по плотности в стандартах отсутствуют численные значения теплопроводности либо сами марки по плотности не указаны в стандарте.
5. В таблице 1 зеленым колером выделены минимальные из всех возможных сравниваемых значений теплопроводности для заданной марки ячеистого бетона, оранжевым – максимальные.

В предисловии к ГОСТ 31359 [23] указано, что стандарт соответствует европейским стандартам EN 1745:2002 [31] в части теплопроводности ячеистых бетонов.

В таблице 1 численные значения теплопроводности ячеистых бетонов $\lambda_{50/50}$ и $\lambda_{90/90}$ приняты на основании данных, представленных в стандарте EN 1745 [31] при квантилях распределения соответственно $p = 50$ и $p = 90$.

Квантиль распределения p обеспечивает минимальную выборку значений, которые лежат в заданном доверительном интервале. $\lambda_{50/50}$ показывает верхнее значение диапазона возможных значений теплопроводности, которое для испытываемого образца с вероятностью 50 % не превысит измеренное значение.

Следует отметить, что в странах Европейского Союза расчет теплотехнических характеристик ограждающих конструкций выполняется по методике стандарта ISO 6946 [33]. Согласно требованиям п. 5.1 стандарта ISO 6946 [33] при расчете термического сопротивления однородного слоя теплоизоляции (thermal resistance of homogeneous layers, – R-value) учитывается расчетное значение теплопроводности материала (design thermal conductivity of the material), которое определяется на основании методики, приведенной в стандарте ISO 10456 [34].

Стандарт ISO 10456 [34] устанавливает порядок определения так называемых заявленных (declared thermal values) и проектных (design thermal values) значений теплотехнических характеристик строительных материалов и изделий, а также правила преобразования значений, полученных при одних условиях, в соответствующие значения, действительные при других условиях применения материалов, которые подробно описаны в работе [35].

Согласно методике, изложенной в стандарте ISO 10456 [34], заявленное значение теплопроводности (declared thermal conductivity) определяется на основании результатов испытания десяти образцов испытываемого материала при заданной температуре и влажности с 90-процентным квантилем, т.е. должно приниматься на основании показателя теплопроводности $\lambda_{90/90}$.

Из данных, представленных в таблице 1, следует:

1. Практически по всем маркам ячеистого бетона по средней плотности численные значения теплопроводности материала в сухом состоянии, принятые в табл. 1 ГОСТ 31359 [23], совпадают (при тех же средних плотностях ячеистого бетона) со значениями $\lambda_{50/50}$, принятыми в стандарте EN 1745 [31].
2. Единственное исключение из упоминаемого в п. 1 совпадения выявлено для ячеистого бетона марки по средней плотности D 600, для которого численное значение теплопроводности в сухом состоянии, принятое в ГОСТ 25485 [24] и СП 50.13330 [30], оказалось ниже значения $\lambda_{50/50}$, принятого в стандарте EN 1745 [31].
3. Численные значения теплопроводности ячеистых бетонов в сухом состоянии, принятые в ГОСТ 31359 [23], СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28] и СТО НААГ 3.1 [29], для одних и тех же марок по средней плотности полностью совпадают.

Отсюда можно сделать вывод о том, что при разработке ГОСТ 31359 [22] и составлении таблицы с данными теплопроводности ячеистого бетона в сухом состоянии (табл. 1 ГОСТ 31359 [23]) авторами стандарта были приняты минимальные из всех возможных значений (в таблице 1 выделены зеленым колером), встречающихся в различных стандартах.

При этом действие ГОСТ 25485 [24] сохранилось в отношении неавтоклавных изделий из ячеистого бетона. Возникла ситуация, при которой для ячеистых бетонов автоклавного твердения, выпускаемых по ГОСТ 31359 [23], численные значения теплопроводности по большинству выпускаемых марок оказались ниже аналогичных значений, принятых в ГОСТ 25485 [24] для неавтоклавных ячеистых бетонов при одной и той же средней плотности.

Условия эксплуатации (расчетные показатели равновесной влажности по массе) ячеистых бетонов при рассмотрении различных нормативных документов также обнаруживают заметные отличия. В таблице 2 приведены показатели эксплуатационной влажности, принятые для установления расчетных теплотехнических характеристик ячеистых бетонов в Приложении Т СП 50.13330 [30].

Таблица 2. Эксплуатационная влажность ячеистых бетонов согласно данным, представленным в СП 50.13330 [30]

Плотность	Эксплуатационная влажность ячеистых бетонов, %					
	Газо- и пенобетон на цементном вяжущем		Газо- и пенобетон на известняковом вяжущем		Газо- и пенозолобетон на цементном вяжущем	
	А	Б	А	Б	А	Б
400	8	12	-	-	-	-
500	-	-	11	16	-	-
600	8	12	11	16	-	-
800	8	12	11	16	15	22
1000	8	12	12	18	15	22
1200	-	-	-	-	15	22

Примечание. Прочерки в таблице означают, что для указанных плотностей различных типов ячеистых бетонов данные в СП 50.13330 [30] не приведены.

Из данных, представленных в таблице 2, в частности, следует:

- для разных типов ячеистых бетонов приняты разные расчетные влажности: более низкие – для ячеистых бетонов на цементном вяжущем, более высокие – для ячеистых бетонов на известняковом вяжущем, самые высокие – для ячеистых бетонов, изготовленных на золе;
- для ячеистых бетонов на известняковом вяжущем различной плотности расчетная их влажность может отличаться.

В таблице 3 приведены данные о сорбционной влажности ячеистых бетонов при относительной влажности воздуха 75 и 97 %, представленные в ГОСТ 25485 [24].

Таблица 3. Сорбционная влажность ячеистых бетонов согласно данным, представленным в ГОСТ 25485 [24]

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	Сорбционная влажность бетона, % не более при относительной влажности воздуха			
		75 %		97 %	
		на песке	на золе	на песке	на золе
Теплоизоляционный	D300	8	12	12	18
	D400	8	12	12	18
	D500	8	12	12	18
Теплоизоляционно-конструкционный	D500	8	12	12	18
	D600	8	12	12	18
	D700	8	12	12	18
	D800	10	15	15	22
	D900	10	15	15	22
Конструкционный	D1000	10	15	15	22
	D1100	10	15	15	22
	D1200	10	15	15	22

Из данных, представленных в таблицах 2 и 3, следует, что численные значения влажности ячеистых бетонов, изготовленных на песке и на золе, за исключением бетонов на песке с плотностями 800 и 1000 кг/м³, коррелируют между собой, несмотря на то, что в СП 50.13330 [30] и ГОСТ 25485 [24] они имеют разное наименование (влажность в СП 50.13330 [30] и сорбционная влажность – в ГОСТ 25485 [24]).

При этом ни в СП 50.13330 [30], ни в ГОСТ 25485 [24] нет деления ячеистых бетонов на автоклавные и неавтоклавные. Производители изделий из автоклавного ячеистого бетона посчитали, что значения эксплуатационной влажности, указанные в СП 50.13330 [30] и ГОСТ 25485 [24], справедливы только в отношении изделий неавтоклавных. А для автоклавных изделий эксплуатационная влажность ячеистого бетона, как для условий эксплуатации А, так и для условий эксплуатации Б, должна принимать более низкие значения. Это подтверждают сами производители ячеистого бетона автоклавного твердения. На сайте Национальной ассоциации производителей (<http://gazo-beton.org/usloviya-chlenstva/osnovnye-napravleniya-deyatelnosti-naag>) в качестве одной из проблем отрасли, в частности, отмечена следующая:

Вместе с тем, перед отраслью стоит ряд проблем, сдерживающих её развитие и более широкое использование продукции из автоклавного газобетона. В первую очередь это завышенные требования

к теплозащите ограждающих конструкций. В частности, существующие нормы регламентируют равновесную влажность в ячеистом бетоне на уровне 8 % (для нормальной влажности). С учетом этого, ограждение из ячеистого бетона в большинстве случаев требует утепления, что повышает его стоимость. Между тем многочисленные исследования показывают, что равновесная влажность автоклавного газобетона не превышает 4 %. В этой связи предлагается внести поправки в нормативы и принять более низкие значения равновесной влажности (для условий эксплуатации А и Б 4 и 5 % соответственно).

Поэтому при разработке ГОСТ 31359 [23] авторы стандарта решили установить иные значения эксплуатационной влажности для ячеистых бетонов автоклавного твердения. Но какую? Обратим внимание на данные, представленные в таблице 4.

Из данных таблицы 4 следует:

- во всех указанных в таблице 4 стандартах значения равновесной влажности по массе приняты идентичными;
- равновесная влажность ячеистых бетонов не зависит от марки по средней плотности;
- равновесная влажность ячеистых бетонов автоклавного твердения не зависит от типа связующего;
- равновесная влажность ячеистых бетонов автоклавного твердения не зависит от кремнеземистого компонента (для изделий, изготовленных на песке, значения равновесной влажности по массе приняты такими же, как для изделий, изготовленных на золе).

Насколько перечисленные выше постулаты верны, должны были подтвердить или опровергнуть какие-либо исследования. Однако при изучении доступных источников информации таких исследований обнаружено не было.

Таблица 4. Численные значения равновесной влажности ячеистых бетонов автоклавного твердения согласно данным, представленным в ГОСТ 31359 [23], СТО НААГ 3.1 [29] и СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28]

Марка ячеистых бетонов по средней плотности	Равновесная влажность ячеистых бетонов, % по массе, согласно стандарту					
	ГОСТ 31359		СТО НААГ 3.1		СТО НОСТРОЙ 2.9.136	
	А	Б	А	Б	А	Б
D200	4	5	4	5	4	5
D250	4	5	-	-	-	-
D300	4	5	4	5	4	5
D350	4	5	-	-	-	-
D400	4	5	4	5	4	5
D450	4	5	-	-	-	-
D500	4	5	4	5	4	5
D600	4	5	4	5	4	5
D700	4	5	4	5	4	5
D800	4	5	-	-	-	-
D900	4	5	-	-	-	-
D1000	4	5	-	-	-	-
D1100	4	5	-	-	-	-
D1200	4	5	-	-	-	-

Примечание. Прочерки в таблице означают, что в данном стандарте для указанных плотностей численные значения эксплуатационной влажности ячеистых бетонов не приведены.

В таблице А.1 Приложения А прямо не указывается, что равновесные значения влажности по массе 4 и 5 % соответствуют условиям эксплуатации «А» и «Б», соответственно. Однако, в разделе «Термины и определения» ГОСТ 31359 [23] дано определение равновесной влажности (см. п. 3.15 [23]):

3.15 равновесная влажность: Фактическая средняя влажность ячеистого бетона по толщине стены конструкции и сторонам света за отопительный период после 3-5 лет эксплуатации.

А ниже, под определение равновесной влажности приведено примечание следующего содержания:

Примечание – Равновесную весовую влажность в наружных стенах из ячеистых бетонов зданий с сухим режимом эксплуатации в сухой и нормальной климатических зонах влажности и

зданий с **нормальным режимом эксплуатации** в сухой климатической зоне принимают равной 4 %. В остальных наружных стенах из ячеистых бетонов равновесную влажность принимают равной 5 %.

В п. 4.4.3 СТО НААГ 3.1 [29] отмечено, что для однослойных наружных стен и стен и облицовочной кладкой допускается принимать расчетную влажность бетона для условий эксплуатации «А» (по СП 50.13330 [30]) 4 % по массе, а для условий эксплуатации «Б» 5 % по массе.

В табл. Д.1.2 ГОСТ НОСТРОЙ 2.9.136 [28] расчетные значения теплопроводности автоклавных ячеистых бетонов для условий эксплуатации «А» указаны при конкретной расчетной влажности $W = 4$ % по массе, для условий эксплуатации «Б» – $W = 5$ % по массе.

В альбомах многих производителей изделий из автоклавного газобетона при указании расчетных значений теплопроводности ячеистых бетонов приняты численные значения теплопроводностей из табл. А.1 ГОСТ 31359 [23] и установлены для условий эксплуатации А (при равновесной влажности 4 % по массе) и Б (при равновесной влажности 5 % по массе).

Таким образом, вся та многолетняя работа, которая была проведена в Советском Союзе при установлении расчетных теплотехнических характеристик ячеистых бетонов, в том числе автоклавных, с утверждением ГОСТ 31359 [23] была игнорирована разработчиками стандарта.

На сайте ННАГ (<http://gazo-beton.org/usloviya-chlenstva/osnovnye-napravleniya-deyatelnosti-naag>) указано, что: «...многочисленные исследования показывают, что равновесная влажность автоклавного газобетона не превышает 4 %».

При изучении сборников трудов конференций, которые также обнаруживаются на сайте Ассоциации, многочисленных исследований не обнаружено. Некоторые работы при этом заслуживают внимания.

В работе [36] раскрываются некоторые подробности установления влажностей 4 и 5 % по массе для соответствующих условий эксплуатации. В статье отмечено, что в 1997 году международным комитетом по бетону была создана рабочая группа по ячеистому бетону автоклавного твердения, которая «...одним из основных показателей выделила эксплуатационную влажность, составляющую 4,0-5,0 % по массе и устанавливающуюся через 1-2 года эксплуатации».

Далее в статье [36] отмечено, что в 1997 году приказом Минстройархитектуры Республики Беларусь № 374 от 29.08.1997 г. было утверждено Изменение № 1 к СНБ 2.01.01-93 «Строительная теплотехника», «...установившее для ячеистого бетона плотностью 700-300 кг/м³ величину эксплуатационной влажности 4,0 % для условий эксплуатации «А» и 5,0 % – для условий эксплуатации «Б» по массе. Это позволило снизить величину расчетной теплопроводности ячеистых бетонов на 23 % и обеспечить нормативные требования к показателю сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий и сооружений до июля 2009 г.

После введения с 01.07.2009 г. повышенных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций ячеистый бетон автоклавного твердения остался практически единственным строительным материалом, который автономно обеспечивает выполнение нормативных требований строительной теплотехники».

Врезка, указанная выше, не требует дополнительных комментариев, чтобы понять причины перехода на влажности 4 и 5 %, принятые в отношении ячеистых бетонов автоклавного твердения для условий эксплуатации «А» и «Б», соответственно.

Таким образом, для авторов ГОСТ 31359 [23] решение, принятое в 1997 году Международным комитетом по бетону, оказалось более весомым по сравнению с исследовательской работой, проведенной в нашей стране при установлении условий эксплуатации и расчетных теплотехнических показателей ячеистых бетонов.

Следует отметить, что территория России гораздо больше по площади территории стран Евросоюза, а климатические условия на территории Российской Федерации существенно более разнообразны по сравнению с теми, которые характерны для стран ЕС и, в том числе, Беларуси. Для автоматического переноса численных значений эксплуатационной влажности, принятых для ячеистых бетонов в странах ЕС, без проведения комплекса лабораторных и натурных исследований, решение Евро-международного комитета по бетону не представляется необходимым и достаточным условием. Градусо-сутки отопительного периода (далее – ГСОП) в странах ЕС редко превышают 4500 К·сут/г. На территории России есть регионы, для которых ГСОП превышает 10000 К·сут/г. Период влагонакопления в ограждающих конструкциях в годовом цикле эксплуатации в России продолжительнее и интенсивнее (ввиду установления меньших значений температуры наружного воздуха и, как следствие, большей разности парциальных давлений между внутренним и наружным воздухом). Интенсивность высушивания стен при эксплуатации в этом случае будет более медленной, а процесс установления расчетной (эксплуатационной) влажности ячеистого бетона в конструкциях стен – более длительным. Данное

обстоятельство будет вносить неопределенность при установлении расчетных теплотехнических характеристик ячеистых бетонов, применяемых в составе ограждающих конструкций на территории Российской Федерации.

От численных значений эксплуатационной влажности изделий зависят расчетные значения теплопроводности. Чем меньше эксплуатационная влажность изделий, тем меньше их расчетная теплопроводность. Это обстоятельство коррелирует с мнением, высказанным специалистами в работе [21].

В таблице 5 приведены расчетные значения теплопроводности для различных марок ячеистых бетонов по средней плотности, представленные в различных стандартах.

Из данных, представленных в таблице 5, следует:

- расчетные значения теплопроводности ячеистых бетонов, указанные в ГОСТ 31359 [табл. А.1, 23], СТО НААГ 3.1 [табл. 4.2, 29] и СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [табл. Д.1.2, 28], совпадают для всех марок по средней плотности ячеистого бетона;
- расчетные значения теплопроводности ячеистых бетонов, указанные в СП 50.13330 [приложение Т, 30] и СНиП II-3-79* [приложение 3, 37], за исключением плотности 1000 кг/м^3 , также совпадают;
- несовпадение расчетных значений теплопроводности ячеистых бетонов, указанных в СП 50.13330 [приложение Т, 30] и СНиП II-3-79* [приложение 3, 37], обусловлено тем, что в СНиП II-3-79* [37] для газо- и пенобетонов плотностью 1000 кг/м^3 значения теплопроводности для условий эксплуатации «А» и «Б» приняты при влажности 10 % и 15 % соответственно, а в СП 50.13330 [30] – при влажности 8 % и 12 %.

Расхождение между расчетными значениями теплопроводности для одних и тех же условий эксплуатации («А» или «Б») и для одних и тех же марок ячеистых бетонов по средней плотности в СП 50.13330 [30] и в стандартах, разработанных при участии Ассоциации производителей автоклавного газобетона (ГОСТ 31359 [23], СТО НААГ 3.1 [29] и СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28]), составляет от 20 до 32 %.

Например, для ячеистого бетона со средней плотностью 400 кг/м^3 расчетная теплопроводность для условий эксплуатации «Б» согласно данным, представленным в табл. А.1 ГОСТ 31359 [23], составляет $0,117 \text{ Вт/(м·К)}$, что на 22 % меньше расчетного значения теплопроводности, указанного для условий эксплуатации «Б» в таблице Т.1 СП 50.13330 [30] – $0,15 \text{ Вт/(м·К)}$ (см. данные табл. 5).

Таблица 5. Расчетные значения теплопроводности ячеистых бетонов, приведенные на основании данных, представленных в различных стандартах

Марка по средней плотности	Расчетная теплопроводность ячеистых бетонов, Вт/(м·К), согласно стандарту									
	ГОСТ 31359		СНиП II-3-79 ¹		СТО НОСТРОЙ 2.9.136		СТО НААГ 3.1		СП 50.13330 ²	
	А ³	Б ³	А ⁴	Б ⁴	А ³	Б ³	А ³	Б ³	А ⁴	Б ⁴
D200	0,056	0,059	- ⁵	-	0,056	0,059	0,056	0,059	-	-
D250	0,070	0,073	-	-	-	-	-	-	-	-
D300	0,084	0,088	0,11	0,13	0,084	0,088	0,084	0,088	-	-
D350	0,099	0,103	-	-	-	-	-	-	-	-
D400	0,113	0,117	0,14	0,15	0,113	0,117	0,113	0,117	0,14	0,15
D450	0,127	0,132	-	-	-	-	-	-	-	-
D500	0,141	0,147	-	-	0,141	0,147	0,141	0,147	-	-
D600	0,160	0,183	0,22	0,26	0,160	0,183	0,160	0,183	0,22	0,26
D700	0,199	0,208	-	-	0,199	0,208	0,199	0,208	-	-
D800	0,223	0,232	0,33	0,37	-	-	-	-	0,33	0,37
D900	0,258	0,269	-	-	-	-	-	-	-	-
D1000	0,282	0,293	0,41 ⁶	0,47 ⁶	-	-	-	-	0,38	0,43
D1100	0,305	0,318	-	-	-	-	-	-	-	-
D1200	0,329	0,342	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания.

1. Расчетные значения теплопроводности для ячеистых бетонов в ГОСТ 25485 [24] не приведены. По этой причине в таблице 5 указаны расчетные значения теплопроводности на основании данных, представленных (для «Газо- и пенобетонов, газо- и пеносиликатов») в Приложении 3 СНиП II-3-79* [37].

который действовал на момент утверждения ГОСТ 25485 и устанавливал расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий.

2. Расчетные значения теплопроводности по СП 50.13330 [Приложение Т, 30] приведены для «Газо- и пенобетона на цементном вяжущем». В СП 50.13330 [30] для изделий, обозначенных: «Газо- и пенобетон на известняковом вяжущем» и «Газо- и пенозолобетон на цементном вяжущем», расчетные значения теплопроводности при одной и той же плотности выше, чем для указанных в настоящей таблице «Газо- и пенобетонов на цементном вяжущем».

3. В ГОСТ 31359 [23], СТО НААГ 3.1 [29] и СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28] расчетные значения теплопроводности для условий эксплуатации «А» приведены при влажности 4 % по массе, для условий эксплуатации «Б» – при влажности 5 % по массе.

4. В СНиП II-3-79* [37] и СП 50.13330 [30] расчетные значения теплопроводности для условий эксплуатации «А» приведены при влажности 8 % по массе, для условий эксплуатации «Б» – при влажности 12 % по массе.

5. Прочерки в таблицах означают, что для указанных марок ячеистых бетонов по средней плотности в стандарте отсутствуют численные значения расчетных значений теплопроводности либо сами марки по средней плотности в стандарте не указаны.

6. В СНиП II-3-79* [37] для изделий с плотностью 1000 кг/м^3 расчетные значения теплопроводности для условий эксплуатации «А» приведены при влажности 10 % по массе, для условий эксплуатации «Б» – при влажности 15 % по массе.

В результате расчетные значения теплопроводности ячеистых бетонов автоклавного твердения оказались еще более заметно меньше расчетных значений теплопроводности, установленных в ГОСТ 25485 [24] для ячеистых бетонов неавтоклавного твердения.

Следует отметить, что в настоящее время ячеистобетонные изделия выпускаются в основном на импортных производственных линиях, на долю которых приходится более 80 % от всех мощностей по выпуску изделий из ячеистого бетона. Основными поставщиками импортного оборудования на российский рынок являются немецкие компании Wehrhahn (34 %) и Masa Henke (19 %). Из других производителей импортных линий следует выделить также Hess (8 %) и WKB (6 %). По состоянию на 2015 год распределение доли рынка среди различных производителей показано на рисунке 2 [38].

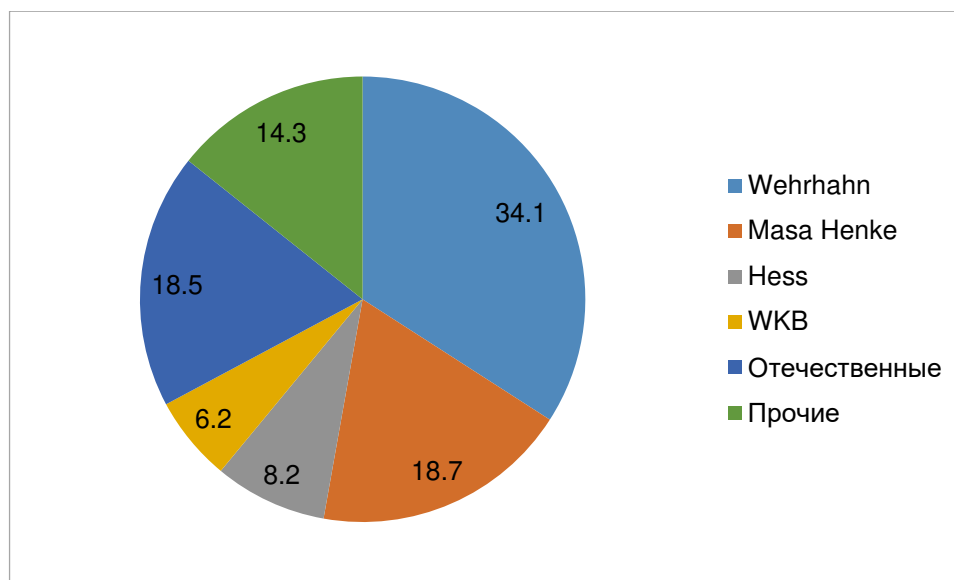


Рисунок 2. Распределение долей рынка (по установленным мощностям) среди производителей оборудования по выпуску изделий из ячеистого бетона [38]

Преобладающие позиции на рынке ячеистых бетонов автоклавного твердения занимают изделия марок по плотности D500 (66 % рынка), D600 (22 % рынка) и D400 (10 %).

По состоянию на 2016 год усредненная по всем предприятиям отрасли плотность изделий составила $512,6 \text{ кг/м}^3$. Все годы производства и использования материала наблюдается устойчивая тенденция к снижению средней плотности изделий (рисунок 3).

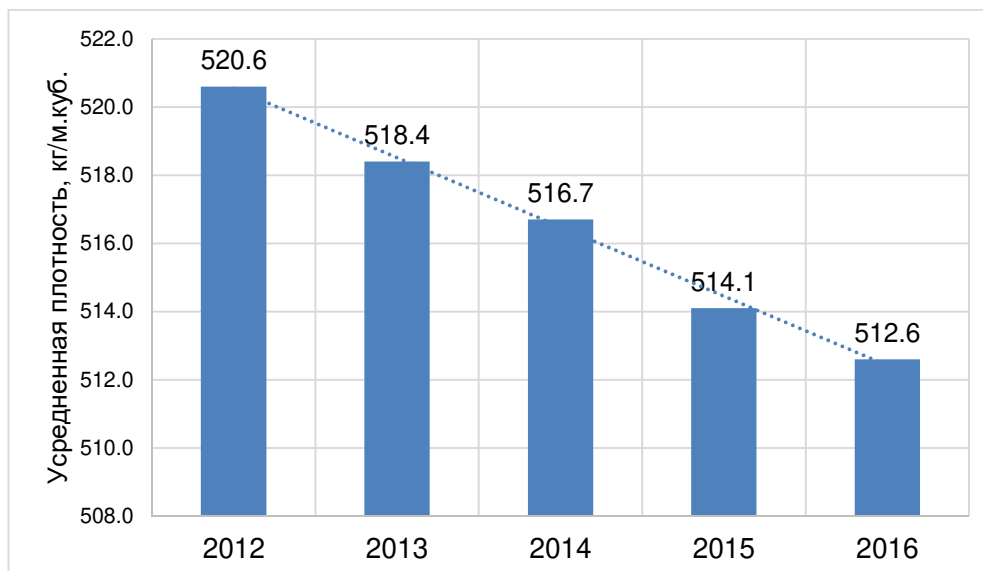


Рисунок 3. Динамика изменения усредненной плотности изделий из автоклавного газобетона, выпущенной на территории Российской Федерации за период с 2012 по 2016 г.г.

По сравнению с советским периодом, когда в 1989 году усредненная плотность всех выпускаемых изделий составляла 643 кг/м^3 [39], к настоящему времени этот показатель снизился на 25 %.

Отпускная влажность изделий, произведенных на импортных производственных линиях по литьевой технологии, как правило, превышает 40 % [40]. С учетом данного обстоятельства, в первые годы эксплуатации зданий с наружными стенами из газобетонных блоков наблюдается значительный перерасход тепловой энергии на отопление. В последующие годы расхождение между расчетным и фактическим сопротивлением теплопередаче стен может быть обусловлено расхождением расчетных и фактических значений теплопроводности.

В этой связи возникает необходимость проведения независимой оценки заявляемых производителями теплотехнических характеристик выпускаемых ими изделий.

2. Методы и материалы

2.1. Место проведения испытания

Испытания проводились в Испытательно-сертификационном центре «Высота» Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого".

2.2. Испытываемые образцы

В рамках проводимого исследования были отобраны изделия трех различных производителей, условно обозначенных номерами 1, 2 и 3. Чем ниже порядковый номер, тем больший объем продукции выпускает данный производитель:

- производитель 1: **марка по плотности D 400 (заявлена производителем);**
- производитель 2: **марка по плотности D 500 (заявлена производителем);**
- производитель 3: **марка по плотности D 500 (заявлена производителем).**

Выбор производителей обусловлен с одной стороны тем, что это три наиболее крупных производителя, расположенных на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, с другой стороны тем, что три указанных выше производителя наиболее активно реализуют в Санкт-Петербурге свою продукцию частным потребителям через сети DIY.

В рамках проводимого исследования выполнялись следующие виды испытаний:

- определение средней плотности по ГОСТ 12730.1 [41];
- определение теплопроводности по ГОСТ 7076 [42];
- испытание фрагмента кладки в климатической камере по ГОСТ 26254 [43] с целью определения теплопроводности кладки;
- определение паропроницаемости по ГОСТ 25898 [44];
- определение сорбционной влажности по ГОСТ 24816 [45].

Согласно требованиям ГОСТ 31360 [25] число образцов для испытаний принимают по табл. А.1. Для определения размеров образцов требуемое число образцов составляет – 6, средней плотности – 6, теплопроводности – 3*.

Примечание*. Перед проведением испытаний по ГОСТ 7076 [42] с целью определения теплопроводности изделий было принято решение изготовить и испытать по 5 образцов каждого производителя, согласно рекомендациям ГОСТ 7076 [п. 4.2, 42].

Согласно требованиям ГОСТ 25898 [п. 5.4, 44], если площадь рабочей поверхности образца меньше $0,02 \text{ м}^2$ при определении паропроницаемости и сопротивления паропрооницанию испытывают не менее 5 образцов (в других случаях испытывают не менее 3 образцов). Согласно требованиям ГОСТ 24816 [п. 5.1, 45] равновесную сорбционную влажность определяют на 3 образцах.

Всего было изготовлено:

- 18 образцов размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ – по 6 от каждого производителя для проведения испытаний с целью определения средней плотности ячеистого бетона в сухом состоянии по ГОСТ 12730.1 [41];
- 15 образцов размером $250 \times 250 \times 50 \text{ мм}$ – по 5 образцов от каждого производителя для проведения испытаний ячеистого бетона в сухом состоянии на теплопроводность по ГОСТ 7076 [42];
- 15 образцов диаметром 100 мм и толщиной 30 мм – по 5 образцов от каждого производителя с целью определения паропроницаемости ячеистого бетона по ГОСТ 25898 [44];
- 21 образец произвольной формы – по 7 от каждого производителя для проведения испытаний с целью определения сорбционной влажности ячеистого бетона по ГОСТ 24816 [45].

Также был изготовлен один фрагмент кладки из блоков на клею толщиной 150 мм для проведения испытаний в климатической камере по ГОСТ 26254. Фрагмент кладки смонтирован из блоков заявленной производителем марки по средней плотности D500 (производитель 2).

2.3. Приборы и методы испытаний

Технические характеристики приборов и оборудования для проведения испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6. Приборы и оборудование для проведения испытаний

Наименование прибора и/или оборудования	Назначение	Технические характеристики
Камера климатическая TX-500	Камера климатическая предназначена для проведения климатических испытаний и других лабораторных исследований. Камера обеспечивает автоматическое поддержание в замкнутом объеме заданной температуры или ее изменение по заданной программе.	Диапазон производимых температур, °C: минус 60 / плюс 100. Дискретность установки температуры, °C: 0,1. Отклонение температуры от заданного значения не более, °C: ± 2 . Габаритные размеры, мм: $1180 \times 2110 \times 1810$.
Камера климатическая CM 5/100-XX ТВО	Камера климатическая предназначена для проведения климатических испытаний и других лабораторных исследований. Камера обеспечивает автоматическое поддержание в замкнутом объеме заданной температуры и относительной влажности воздуха.	Диапазон производимых температур, °C: плюс 5 / плюс 100. Точность поддержания температуры в контрольной точке: не более, °C: ± 2 . Диапазон поддержания относительной влажности воздуха, %: 40...97.
Измеритель плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ4.03 «Поток»	Предназначен для определения теплового потока в стационарных условиях и определения теплотехнических характеристик (теплопроводности и термического сопротивления) измеряемого образца.	Диапазон измерения: - плотности теплового потока, Вт/м ² : 10...999; - температуры, °C: от минус 30 до 100. Относительная погрешность при измерении плотности теплового потока, %: $\pm 6,0$.

Измеритель плотности теплового потока ИТП-МГ4	Предназначен для определения теплового потока в стационарных условиях и определения теплотехнических характеристик (теплопроводности и теплового сопротивления) измеряемого образца.	Диапазон измерений при стационарном тепловом режиме: - теплопроводности, Вт/(м·К): 0,02...1,5; - теплового сопротивления, м ² ·К/Вт: 0,01...1,5. Относительная погрешность при измерении плотности теплового потока, %: ± 5,0. Диапазон регулирования температур, °С: - холодильника: 5...25; - нагревателя: 25...60.
Измеритель теплофизических величин «Теплограф»	Предназначен для: определения сопротивления теплопередаче и термического сопротивления ограждающих конструкций, блоков оконных и дверных, измерения и регистрации тепловых потоков, проходящих через одно- и многослойные ограждающие конструкции, измерения температуры поверхностей или воздуха внутри и снаружи помещений.	Диапазон измерения плотности теплового потока, Вт/м ² : 10...500. Диапазон измерения температуры, °С: минус 40...+100. Диапазон измерения влажности воздуха, %: 0...100. Погрешность измерения плотности теплового потока, %: ± 6,0. Погрешность измерения температуры поверхности, °С: ±0,2...0,5; воздуха, °С: ±0,2.
Весы электронные RADWAG WPS 3100/C/2	Весы предназначены для статических измерений массы различных веществ и материалов.	Диапазон измерений: 0,1...3100 г. Точность е, г: 0,1.
Весы электронные ViBRA AB	Весы предназначены для статических измерений массы различных веществ и материалов.	Диапазон измерений: 0,02...320 г. Точность е, г: 0,01.
Шкаф сушильный CM 50/250-XX ШС	Предназначен для проведения аналитических работ, сушки строительных материалов в воздушной среде.	Диапазон регулирования температуры, °С: 50...250. Размеры рабочей камеры, мм, не менее: 900×1250×900.
Низко-температурная лабораторная электропечь (сушильный шкаф) SNOL 67/350	Предназначена для проведения аналитических работ, сушки строительных материалов в воздушной среде.	Диапазон автоматического регулирования температуры, °С: 50...350. Размеры рабочей камеры, мм, не менее: 390×445×390.
Высоко-температурная лабораторная электропечь SNOL 8,2/1100	Предназначена для проведения аналитических работ, сушки и термообработки различных материалов в воздушной среде.	Диапазон автоматического регулирования температуры, °С: 50...1100. Размеры рабочей камеры, мм, не менее: 200×300×133.

Более детально методика каждого испытания рассматривается в следующем разделе для удобства оценки полученных результатов.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Определение плотности

3.1.1. Образцы для испытания и метод определения

Образцы выпиливались из блоков. Размеры образцов: 100×100×100 мм. После выпиливания образцы шлифовались, помещались в сушильный шкаф и высушивались до постоянной массы в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.2 [46].

Объем образцов вычислялся по их геометрическим размерам. Размеры образцов определялись штангенциркулем с погрешностью не более 0,5 мм по методике ГОСТ 10180 [47].

Масса испытываемых образцов определялась взвешиванием на технических весах с погрешностью не более 0,1%.

Плотность бетона каждого отдельного испытываемого образца определялась по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} \cdot 1000, \quad (1)$$

где m – масса образца, г;
 V – объем образца, см³.

Плотность бетона серии образцов вычислялась как среднее арифметическое значение результатов испытания всех образцов серии.

3.1.2. Результаты измерений плотности

Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты испытаний плотности образцов

Условное обозначение производителя и заявленная марка по плотности изделий		
Производитель 1 (D400)*	Производитель 2 (D500)*	Производитель 3 (D500)*
426	496	536
Примечание. В скобках указана заявленная производителем марка изделий по плотности.		

Согласно требованиям ГОСТ 27005 [п. 8.1, 48] партия бетонных изделий подлежит приемке по плотности, если плотность бетона в партии D_m не выше требуемой D_T .

Требуемая плотность бетона D_T представляет собой максимально-допустимое среднее значение плотности в контролируемых партиях, соответствующее нормируемой плотности бетона при ее фактической однородности. Численное значение требуемой плотности рассчитывается по формуле:

$$D_T = k_T \cdot D_{\text{норм}}, \quad (2)$$

где k_T – коэффициент требуемой плотности, численное значение которого принимается в зависимости от среднего коэффициента вариации плотности бетона V_m в анализируемом периоде;

$D_{\text{норм}}$ – проектная марка бетона по плотности, например D400.

В настоящее время для изделий заданной марки ГОСТ 27005-2014 [48] позволяет оценить только верхнюю допустимую границу по средней плотности. Для изделий марки по плотности D400 верхняя граница по средней плотности составляет 428 кг/м³ (при коэффициенте вариации 2 %), для изделий марки по плотности D500 – 535 кг/м³. При большем коэффициенте вариации плотности в выпускаемой партии изделий верхняя граница плотности для заданной марки изделий окажется еще меньше. Например, при коэффициенте вариации 9 % (максимально допустимом по ГОСТ 27005 [48]) для изделий марки по плотности D400 верхняя граница по средней плотности составит 388 кг/м³ (при коэффициенте вариации 2 %), для изделий марки по плотности D500 – 485 кг/м³.

Для ячеистых бетонов марок по плотности до D600 включительно коэффициент требуемой плотности бетона k_T при контроле по схеме 1 может принимать значения от 0,97 (при среднем коэффициенте вариации $V_m = 9$ %, который является максимально допустимым) до 1,07 (при среднем коэффициенте вариации $V_m = 2$ %), т.е. верхняя граница плотности для изделий, например, марки по плотности D500 может составлять от 485 до 535 кг/м³ (в зависимости от среднего коэффициента вариации).

В ГОСТ 27005-86 помимо верхней границы плотности для заданной марки изделий устанавливалась также так называемая нижняя предупредительная граница плотности бетонов $\rho^{н.п.г.}$, кг/м³. Однако в ГОСТ 27005-2014 [48] данная характеристика для изготавливаемой партии бетона была исключена. Отсутствие нижней предупредительной границы плотности бетонов позволяет производителю формально

представить в испытательную лабораторию продукцию, которая по средней плотности фактически соответствует марке D500 или даже D400, но выдать ее за D600 и получить требуемые значения теплопроводности. Нижней границы плотности для изделий заданной марки по плотности в настоящее время не существует.

Повышение средней плотности в выпускаемой партии изделий негативно сказывается на теплопроводности, т.к. для газобетона, как и для большинства строительных материалов, справедлива следующая зависимость: чем выше плотность, тем выше теплопроводность, а следовательно, ниже теплоизоляционные свойства при одной и той же толщине изделий. Но показатель прочности является приоритетным, т.к. дает преимущества производителю по сравнению с конкурентами, которые выпускают продукцию той же марки по плотности (D), но с меньшим классом по прочности на сжатие (B). По этой причине большинство производителей для достижения заданного класса бетона по прочности на сжатие B (например, B 2,5 для изделий марки по плотности D400 или B 3,5 – для изделий марки по плотности D500), стремятся выпускать изделия с плотностью, близкой к верхней допустимой границе для заданной марки изделий по плотности (D). Это подтверждают результаты, представленные в таблице 7.

Из данных, представленных в таблице 7, следует, что изделия только одного производителя (производитель 2) соответствуют заявленной марке по плотности.

Изделия, выпускаемые производителем 1, по средней плотности (426 кг/м^3) соответствуют верхней допустимой границе плотности для изделий заявленной марки по плотности (D 400), которая не должна превышать 428 кг/м^3 (при коэффициенте вариации 2 %). При этом три из шести испытанных образцов превышают верхнюю допустимую границу плотности 428 кг/м^3 . Если коэффициент вариации по плотности выпускаемой партии превышает 2 %, то испытанные образцы не будут соответствовать заявленной марке по плотности (D400).

Изделия, выпускаемые производителем 3, по средней плотности (536 кг/м^3) не соответствуют даже верхней допустимой границе по средней плотности, которая при коэффициенте вариации 2 % не должна превышать 535 кг/м^3 . Фактически изделия, из которых были отобраны и испытаны образцы, соответствуют марке по плотности D600 (при заявленной производителем марке изделий по плотности D500).

Результаты испытаний показывают значительный разброс по плотности испытанных образцов, который может свидетельствовать о достаточно высоком значении коэффициента вариации по плотности для партии изделий, из которых были отобраны испытанные образцы (блоки). Только для изделий одного производителя наблюдается незначительный разброс отклонения результатов отдельных испытаний от среднего значения плотности.

3.2. Определение теплопроводности

3.2.1. Образцы для испытания и метод определения

ГОСТ 7076 [42] распространяется на строительные материалы и изделия, а также на материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов, и устанавливает метод определения их эффективной теплопроводности и термического сопротивления при средней температуре образца от минус 40 до + 200 °C.

Стандарт не распространяется на материалы и изделия с теплопроводностью более $1,5 \text{ Вт/(м·К)}$.

Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца.

Согласно рекомендациям п. 4.2 ГОСТ 7076 [42] испытания проводились на пяти образцах.

Образцы для испытаний изготавливались в виде прямоугольных параллелепипедов размерами $250 \times 250 \times 50 \text{ мм}$.

Грани образцов, контактирующие с рабочими поверхностями плит прибора, перед проведением испытаний шлифовались. Проверялось отклонение лицевых граней образцов от параллельности, которое по результатам измерений не превышало 0,5 мм.

Длину и ширину образцов в плане измеряли линейкой с погрешностью не более 0,5 мм. Толщину образцов измеряли штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм в четырех углах на расстоянии $(50,0 \pm 5,0) \text{ мм}$ от вершины угла и посередине каждой стороны. За толщину образца принимали среднеарифметическое значение результатов всех измерений.

Образец высушивали до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ (рисунок 4). Образец считали высушенным до постоянной массы, если потеря его массы после очередного высушивания в течение 0,5 ч не превышала 0,1 %. По окончании сушки определяли массу образца и его плотность, после чего подлежащий испытанию образец помещали в прибор. Расположение образца – горизонтальное.

Разность температур лицевых граней образца в процессе проведения испытаний устанавливалась равной 30 К. Средняя температура образца при испытании составляла 298 К (25°C).

Тепловой поток через испытываемый образец считают установившимся (стационарным), если значения термического сопротивления образца, вычисленные по результатам пяти последовательных измерений сигналов датчиков температур и плотности теплового потока, отличаются друг от друга менее чем на 1%, при этом эти величины не возрастают и не убывают монотонно.



Рисунок 4. Высушивание образцов до постоянной массы в сушильном шкафу

Согласно требованиям п. 8.9 ГОСТ 7076 [42] за результат испытания принимаются среднеарифметические значения теплопроводности всех испытанных образцов.

3.2.2. Результаты испытаний теплопроводности

Результаты испытаний представлены в таблице 8.

Таблица 8. Теплопроводность ячеистых бетонов в сухом состоянии

№ п/п	Теплопроводность ячеистых бетонов в сухом состоянии, Вт/(м·К)		
	Производитель 1 (D400)	Производитель 2 (D500)	Производитель 3 (D500)
1	0,108	0,124	0,148
2	0,108	0,127	0,151
3	0,110	0,129	0,145
4	0,110	0,126	0,152
5	0,107	0,127	0,153
Ср.	0,109	0,127	0,150

Для ячеистых бетонов, изготовленных на песке и цементном вяжущем, марок по средней плотности D400-D700 численные значения теплопроводностей в сухом состоянии, установленные в соответствующем стандарте, представлены в таблице 9.

Таблица 9. Теплопроводность ячеистого бетона в сухом состоянии согласно стандартам

Марка по средней плотности	Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м·К), согласно стандарту						
	ГОСТ 31359	ГОСТ 25485	СТО НОСТРОЙ 2.9.136	СТО НААГ 3.1	СП 50.13330	EN 1745 $\lambda_{50/50}$	EN 1745 $\lambda_{90/90}$
D400	0,096	0,10	0,096	0,096	0,11	0,096	0,11
D500	0,12	0,12	0,12	0,12	-	0,12	0,13
D600	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16
D700	0,17	0,18	0,17	0,17	-	0,17	0,18

Примечание. Прочерки в таблице означают, что в СП 50.13330 для указанных марок по плотности отсутствуют численные значения теплопроводности либо сами марки по плотности не указаны в стандарте.

При сравнении измеренных значений теплопроводности испытанных в сухом состоянии образцов ячеистых бетонов с установленными в ГОСТ 31359 [23] следует, что ни одно из них не соответствует заявленным в ГОСТ 31359 [23] и ГОСТ 25485 [24] для указанных производителями марками изделий по средней плотности (соответственно D400 для изделий, выпускаемых производителем 1, D500 – для изделий, выпускаемых производителями 2 и 3).

При этом из сравнения данных, представленных в таблицах 8 и 9, следует, что образцы, выпиленные из блоков, изготовленных производителем № 1, соответствуют значениям $\lambda_{90/90}$, установленным в стандарте EN 1745 [31] и СП 50.13330 [30] для изделий марки по средней плотности D400, образцы, выпиленные из блоков, изготовленных производителем № 2, соответствуют значениям $\lambda_{90/90}$, установленным в стандарте EN1745 [31] для изделий марки по средней плотности D500, а образцы, выпиленные из блоков, изготовленных производителем № 3, соответствуют значениям $\lambda_{90/90}$, установленным в стандарте EN1745 [31] для изделий марки по средней плотности D600.

3.3. Определение сорбционной влажности

3.3.1. Образцы для испытания и метод определения

ГОСТ 24816 [45] распространяется на все виды бетонов (кроме бетонов на крупных заполнителях с размером зерен более 5 мм), строительные растворы, природные и искусственные обожженные и необожженные каменные материалы, древесину, древесноволокнистые, минераловатные, в том числе стекловолокнистые материалы, пеностекло, пенопласты, и устанавливает эксикаторный метод определения равновесной сорбционной влажности этих материалов (рисунок 5).



Рисунок 5. Эксикаторный метод определения сорбционной влажности образцов ячеистого бетона

Равновесная сорбционная влажность строительного материала характеризует его способность поглощать пары воды из окружающего воздуха. Во введении стандарта [45] указано, что численно равновесная сорбционная влажность равна влажности материала после окончания процесса поглощения им паров воды и в значительной мере определяет теплотехнические свойства строительного материала и ограждающих конструкций зданий в целом в процессе их эксплуатации.

Относительная погрешность метода определения равновесной сорбционной влажности материала, приведенного в ГОСТ 24816 [45], не превышает 2 %.

В ГОСТ 24816 [45] применен следующий термин с соответствующим определением:

равновесная сорбционная влажность, %: Влажность материала после достижения им тепловлажностного равновесия с окружающим влажным воздухом.

Сущность метода заключается в доведении образцов строительного материала, предварительно высушенных до постоянной массы, до равновесного состояния в искусственно созданных паровоздушных средах, имеющих относительную влажность воздуха 40%, 60%, 80%, 90%, 97% при температуре 20 °С, и последующем определении влажности этих образцов путем взвешивания.

В Приложении Е СП 23-101 [п. Е.1, 32], в частности, указано, что:

Допускается за величину влажности для условий эксплуатации А принимать значение сорбционной влажности материала при относительной влажности воздуха 80 %, а для условий эксплуатации Б – значение сорбционной влажности при относительной влажности воздуха 97 %.

В этой связи в настоящей работе равновесная сорбционная влажность ячеистого бетона определялась в искусственно созданных паровоздушных средах, имеющих относительную влажность воздуха 80 % и 97 % при температуре 20 °С. Это делается для сравнения фактических значений равновесной влажности ячеистого бетона с установленными в ГОСТ 31359 [23] и СП 50.13330 [30].

Примечание. В ГОСТ 25485 [24] численные значения сорбционной влажности ячеистого бетона указаны при относительной влажности воздуха 75 % и 97 %.

Равновесная сорбционная влажность ячеистого бетона для каждого производителя определялась по результатам испытания шести образцов, имеющих произвольную форму и отобранных из средней части изделий.

Для определения равновесной сорбционной влажности ячеистого бетона были использованы нумерованные бюксы с крышками. Открытые бюксы и их крышки высушивались до постоянной массы в сушильном электрошкафу при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, после чего взвешивались на весах. Высушивание бюкса до постоянной массы считают законченным, когда два последовательных взвешивания дают одинаковые результаты или масса бюкса начнет увеличиваться. За массу высушенного бюкса принималось наименьшее значение, полученное при взвешивании.

Каждый испытываемый образец ячеистого бетона массой 5,9...7,6 г. разламывался на 4-5 частей и помещался их в один высушенный до постоянной массы бюкс. Образцы, помещенные в бюксы, высушивались до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ (рисунок 6). После каждой сушки бюксы с образцами вынимались из сушильного шкафа, закрывались крышками и ставились на фарфоровую вставку эксикатора, предварительно высушенного в течение 1 ч при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ и охлажденного до комнатной температуры. Эксикатор закрывался крышкой. Бюксы с образцами выдерживались в эксикаторе в течение 45 мин для охлаждения до комнатной температуры, затем взвешивались на весах.



Рисунок 6. Высушивание образцов ячеистого бетона при проведении испытаний по ГОСТ 24816 [45]

Высушивание образца до постоянной массы заканчивалось, когда два последовательных взвешивания давали одинаковые результаты. За массу бьюкса с высушенным образцом принималось наименьшее значение, полученное при взвешивании.

Края эксикаторов и их крышек смазывались вакуумной смазкой для предотвращения попадания наружного воздуха внутрь эксикатора. В каждый эксикатор наливался водный раствор серной кислоты:

- 25,23 % – для установления относительной влажности воздуха над раствором 80 %;
- 5,93 % – для установления относительной влажности воздуха над раствором 97 %.

Поверхность раствора в каждом эксикаторе устанавливалась на 2-2,5 см ниже его фарфоровой вставки.

После приготовления раствора серной кислоты его концентрация в каждом эксикаторе проверялась. Для измерения плотности раствора применялись стеклянные ареометры.

Эксикаторы с образцами материала размещались на полках климатической камеры (рисунок 7), в которой поддерживалась температура $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ и влажность $(50 \pm 5)\%$.

Равновесная сорбционная влажность ячеистого бетона всех трех производителей определялась одновременно. Общее число бьюксов в одном эксикаторе не превышало 21. Все бьюксы помещались в эксикатор в один день.

Бьюксы с образцами материала взвешивались через каждые 15 дней в течение первых двух месяцев испытания, затем через каждые 10 дней до достижения образцами постоянной массы. Перед взвешиванием эксикатор открывался и немедленно закрывался крышками все находящиеся в нем бьюксы с образцами.



Рисунок 7. Установка эксикаторов в климатическую камеру

Процесс поглощения материалом паров воды из окружающего воздуха (процесс сорбции) считается законченным, когда два последовательных взвешивания дают одинаковые результаты или масса бруска с образцом материала начнет уменьшаться. За массу бруска с образцом материала после окончания процесса сорбции принимают наибольшее значение, полученное при взвешивании.

Равновесную сорбционную влажность образца материала, %, вычисляют по формуле:

$$W_c = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где m_1 – масса бруска с образцом материала после окончания процесса сорбции, г;

m_2 – масса бруска с образцом материала после высушивания образца до постоянной массы, г;

m_3 – масса высушенного до постоянной массы бруска, г.

3.3.2. Результаты испытаний сорбционной влажности

Результаты испытаний образцов ячеистого бетона с целью определения равновесной сорбционной влажности материала представлены в таблице 10.

Таблица 10. Результаты испытаний образцов ячеистого бетона с целью определения равновесной сорбционной влажности

Производитель	Марка изделий по средней плотности, заявленная производителем	Равновесная сорбционная влажность*, % при относительной влажности воздуха	
		80 %	97 %
Производитель № 1	D400	3,3	9,3
Производитель № 2	D500	4,0	15,9
Производитель № 3	D500	2,9	9,6

Как было отмечено ранее условия эксплуатации (расчетные показатели равновесной влажности по массе) ячеистых бетонов при рассмотрении различных нормативных документов обнаруживают заметные отличия.

При сравнении результатов испытаний, представленных в таблице 10, со стандартными значениями, представленными в таблицах 3 и 4, следует:

1. Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов всех трех производителей при относительной влажности воздуха 80 % не превышает 4 %, указанной в ГОСТ 31359 [23], СТО НААГ 3.1 [29], СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28] при установлении равновесной влажности ячеистых бетонов по массе для условий эксплуатации А.
2. Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов всех трех производителей при относительной влажности воздуха 97 % значительно превышает 5 %, указанной в ГОСТ 31359 [23], СТО НААГ 3.1 [29], СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28] при установлении равновесной влажности ячеистых бетонов по массе для условий эксплуатации Б.
3. Для изделий одного из производителей равновесная сорбционная влажность ячеистого бетона при относительной влажности воздуха 97 % достигает 16 %, что позволяет сделать предположение о том, что равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов зависит не только от плотности изделий, но и от состава исходных сырьевых компонентов.

3.4. Испытание фрагмента кладки в климатической камере

3.4.1. Образец для испытания и метод определения

ГОСТ 26254 [43] распространяется на ограждающие конструкции жилых, общественных, производственных и сельскохозяйственных зданий и сооружений: наружные стены, покрытия, чердачные перекрытия, перекрытия над проездами, холодными подпольями и подвалами, ворота и двери в наружных стенах, другие ограждающие конструкции, разделяющие помещения с различными температурно-влажностными условиями, и устанавливает методы определения сопротивления их теплопередаче в лабораторных и натурных (эксплуатационных) зимних условиях.

Стандарт не распространяется на светопрозрачные ограждающие конструкции.

Определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций позволяет количественно оценить теплотехнические качества ограждающих конструкций зданий и сооружений и их соответствие нормативным требованиям, установить реальные потери теплоты через наружные ограждающие конструкции, проверить конструктивные решения.

Сопротивление теплопередаче, характеризующее способность ограждающей конструкции оказывать сопротивление проходящему через нее тепловому потоку, определяют для участков ограждающих конструкций, имеющих равномерную температуру поверхностей.

Методы определения сопротивления теплопередаче, основанные на создании в ограждающей конструкции условий стационарного теплообмена и измерении температуры внутреннего и наружного воздуха, температуры поверхностей ограждающей конструкции, а также плотности теплового потока, проходящего через нее, по которым вычисляют соответствующие искомые теплотехнические величины.

В рамках настоящего исследования сопротивление теплопередаче фрагмента стеновой ограждающей конструкции определялось при испытаниях в лабораторных условиях в климатической установке, в которой по обе стороны испытываемого фрагмента создавался температурно-влажностный режим, близкий к расчетным условиям эксплуатации.

Для определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в лабораторных условиях применялась теплоизолированная климатическая установка, состоящая из теплого и холодного отсеков, разделенных испытываемой конструкцией. Для стыковки испытываемого фрагмента стеновой конструкции к тепловому отсеку был использован переходной отсек.

Фотофиксация установки в собранном виде показана на рисунке 8.



Рисунок 8. Фотофиксация установки в собранном виде

Преобразователи тепловых потоков закреплялись на внутренней и наружной поверхностях испытываемого ограждения.

В холодном отсеке автоматически поддерживалась температура воздуха минус 30 ± 1 °C (рисунок 9), в теплом отсеке поддерживалась температура воздуха $+20 \pm 1$ °C и относительная влажность 50 ± 5 % (рисунок 10).



Рисунок 9. Температура воздуха в холодном отсеке климатической установки



Рисунок 10. Температура и относительная влажность воздуха в теплом отсеке климатической установки

Испытания фрагмента проводилось в период с 20.10.2017 по 23.10.2017 в течение 66 часов.

3.4.2. Результаты испытаний фрагмента кладки стеновой конструкции из газобетонных блоков в климатической камере

Результаты испытаний фрагмента кладки стеновой конструкции из газобетонных блоков в климатической камере по ГОСТ 26254 [43] с целью определения ее теплопроводности графически представлены на рисунке 11.

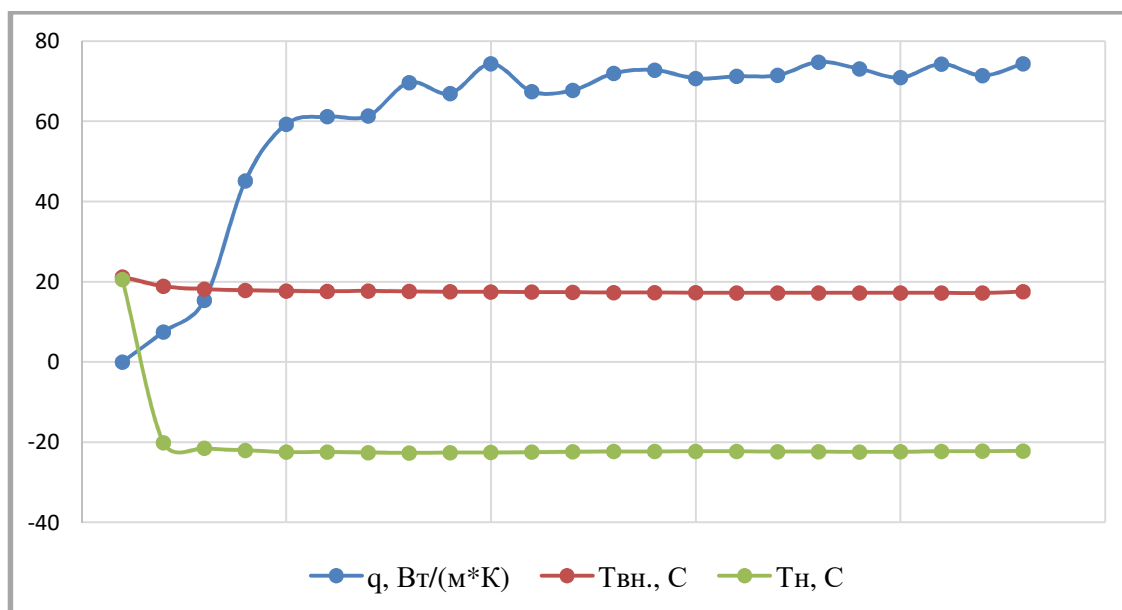


Рисунок 11. Результаты испытаний

Результаты вычисления термического сопротивления испытываемого фрагмента кладки представлены на рисунке 12.

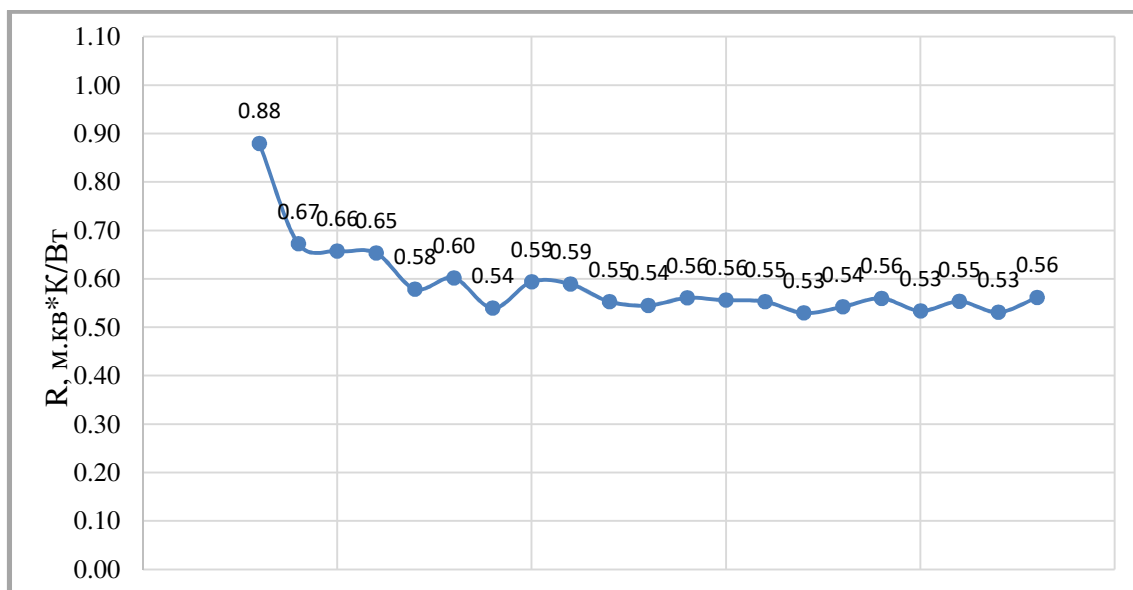


Рисунок 12. Результаты вычисления термического сопротивления испытываемого фрагмента

После окончания эксперимента было проведено исследование распределения влажности по толщине испытываемого фрагмента кладки. С этой целью из центральной части фрагмента последовательно было высверлено 6 образцов ячеистого бетона диаметром 25 мм (рисунок 13). Шаг изъятия проб составил также 25 мм.

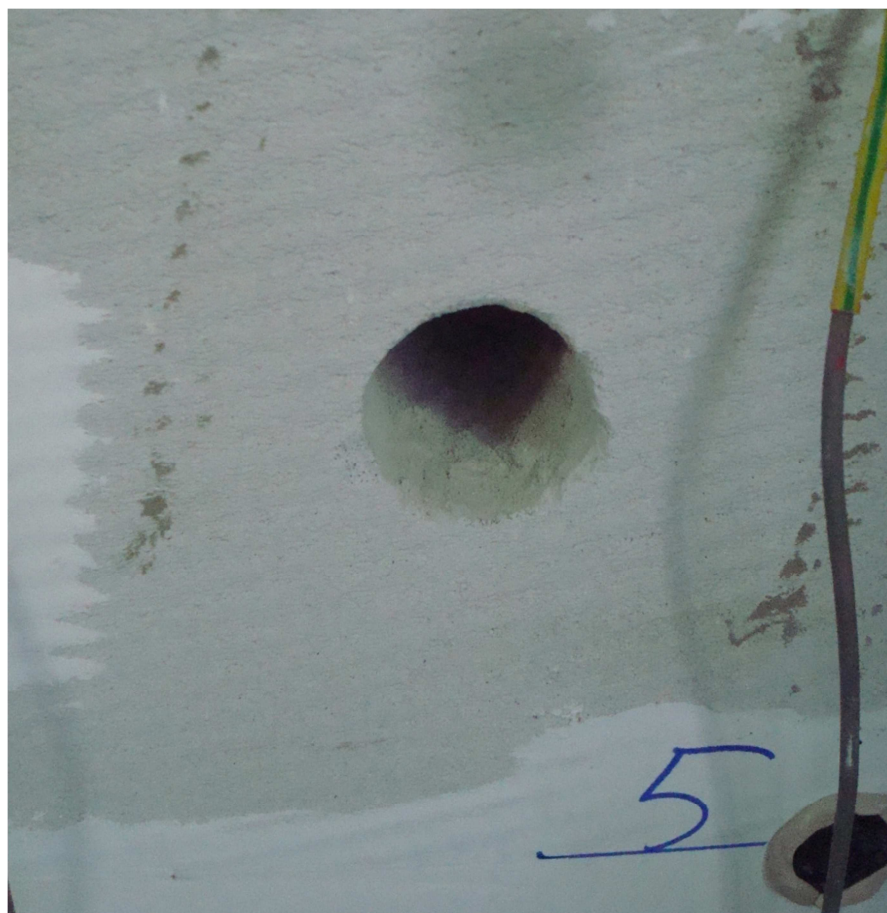


Рисунок 13. Высверливание образцов для определения средней влажности ячеистого бетона и оценки распределения влажности по толщине испытываемого фрагмента кладки

Распределение влажности по толщине испытываемого фрагмента стеновой конструкции представлено в таблице 11.

Таблица 11. Распределение влажности по толщине испытываемого фрагмента стеновой конструкции

Расстояние от внутренней поверхности испытываемого фрагмента, мм	Численное значение влажности (по массе), %
25	8,5
50	24,3
75	27,8
100	47,8
125	4,0
150	1,6

Распределение влажности по толщине испытываемого фрагмента стеновой конструкции графически показано на рисунке 14.

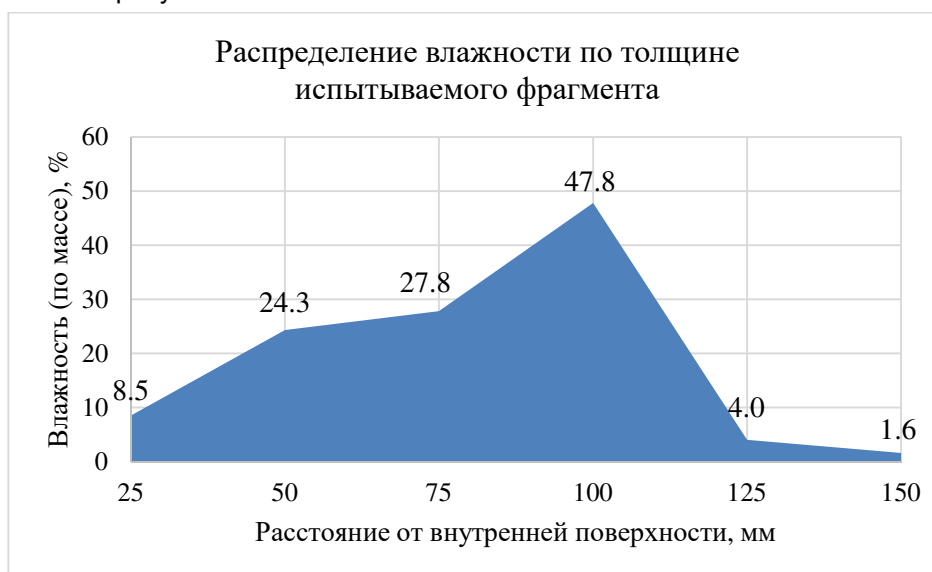


Рисунок 14. Распределение влажности по толщине испытываемого фрагмента стеновой конструкции

Несмотря на то, что распределение влажности по толщине испытываемого фрагмента кладки, представленное на рисунке 14, получено для условной (модельной) кладки толщиной 150 мм, данное распределение является показательным с точки зрения качественного отображения основных особенностей влажностного режима реальных стеновых ограждений. Из графика, представленного на рисунке 14, можно видеть, что плоскость максимального увлажнения кладки находится на расстоянии 2/3 ее толщины при отсчете от внутренней поверхности испытываемого фрагмента, т.е. коррелирует с данными, указанными в п. 9.1 СНиП 23-02-2003 для однородной (однослойной) стены.

В плоскости максимального увлажнения, при отрицательных температурах, влага замерзает и создает малопроницаемый для водяных паров барьер, что приводит к дальнейшему накоплению влаги перед ним.

За указанным барьером, вследствие малого сопротивления паропроонианию участка конструкции, расположенного между плоскостью конденсации и наружной поверхностью, происходит сушка кладки.

Начальная влажность ячеистого бетона, измеренная перед проведением испытаний фрагмента кладки в климатической камере, составила 5,7 %. Средняя влажность ячеистого бетона в составе испытываемого фрагмента кладки, после окончания эксперимента, составила 19 %.

Рассчитаем теплопроводность кладки при данных условиях. В качестве расчетного значения термического сопротивления R_T примем значение 0,54 м²·К/Вт, полученное в результате проведения лабораторных испытаний фрагмента стенового ограждения в климатической камере. Тогда при толщине испытываемого фрагмента $\delta_\phi = 150$ мм теплопроводность, без учета влияния растворных швов кладки [18], составит:

$$\lambda = \frac{\delta_\phi}{R_T} = \frac{0,150}{0,54} = 0,278 \text{ (Вт / м} \cdot \text{К)}.$$
 (4)

3.5. Определение паропроницаемости и сопротивления паропроницанию

ГОСТ 25898 [44] распространяется на строительные материалы и изделия, включая тонкослойные покрытия, листы и пленки, и устанавливает методы определения паропроницаемости строительных материалов и изделий и сопротивления паропроницанию тонкослойных покрытий, листовых и пленочных материалов.

Результаты испытаний применяют при теплотехнических расчетах, для производственного контроля качества строительных материалов и изделий и при разработке нормативных документов на материалы и изделия конкретных видов.

Сущность методов определения сопротивления паропроницанию и паропроницаемости заключается в создании стационарного потока водяного пара через исследуемый образец и определении интенсивности этого потока.

В ГОСТ 25898 [43] приведены два метода: "мокрой чашки" и "сухой чашки". В рамках настоящего исследования использован данный "мокрой чашки", который является основным.

Сущность метода испытаний заключается в следующем. При разности парциальных давлений водяного пара в испытательном сосуде и испытательной камере вокруг сосуда возникает поток водяного пара, который проходит через испытуемый образец. Для определения плотности потока водяного пара в стационарных условиях сосуд с образцом периодически взвешивают.

Сопротивление паропроницанию определяют для листовых и пленочных строительных материалов толщиной менее 10 мм, а также для тонкослойных покрытий (тонкие штукатурные слои систем наружного утепления; кровельные рулонные материалы; лакокрасочные, пароизоляционные покрытия и т.п.). Для остальных материалов определяют паропроницаемость.

При испытании для герметизации зон прилегания образцов к верхним кромкам испытательных сосудов применяют паронепроницаемые герметики, не изменяющие во время испытания своих физических и химических свойств и не вызывающие изменения физических и химических свойств материала испытуемого образца.

Методы, приведенные в ГОСТ 25898 [43], обеспечивают определение характеристик паропроницаемости с относительной ошибкой, не превышающей 10 %.

Испытательное оборудование для определения характеристик паропроницаемости включает в себя:

- - испытательные стеклянные сосуды (чашки);
- - средства измерения толщины образца с точностью до 0,1 мм или $\pm 0,5\%$;
- - аналитические весы с погрешностью взвешивания 0,001 г для определения массы испытательного сосуда с образцом.

При увеличении массы сосуда с образцом в два раза и более применяют весы с погрешностью взвешивания 0,01 г. Относительная ошибка при периодическом взвешивании не должна превышать 10%.

Испытательную камеру, обеспечивающую поддержание относительной влажности воздуха 50 % с точностью $\pm 3\%$ и температуры 23 °С с точностью $\pm 0,5\text{ °С}$, с системой обеспечения циркуляции воздуха со скоростью от 0,02 до 0,3 м/с, исключающей прямое попадание потока воздуха на образец.

При изготовлении образцов не допускаются повреждения поверхностей, которые могут вызвать изменение количества или направления потока водяного пара.

Площадь рабочей поверхности образцов должна быть не менее 90 % площади открытой поверхности испытательного сосуда.

Для испытаний подготавливают образцы квадратного сечения со стороной размером 100 мм или цилиндрического сечения диаметром 100 мм. В рамках настоящего исследования были подготовлены образцы цилиндрического сечения диаметром 100 мм.

Отклонение от плоскостности верхней и нижней поверхностей образцов составило не более 10 % среднего значения толщины образца.

Толщина образцов измерялась три раза, поворачивая образец вокруг оси симметрии на 60°. В качестве толщины образца принималось среднее арифметическое значение результатов трех измерений.

Всего было испытано 15 образцов – по пять образцов каждого производителя.

Образцы перед испытанием выдерживались при температуре $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(50 \pm 5) \%$ до достижения постоянной массы (когда результаты взвешивания в течение трех последующих дней отличаются не более чем на 5 %).

Подготовленные образцы устанавливались в верхней части испытательного сосуда. Образцы устанавливают в испытательный сосуд так, чтобы направление потока водяного пара соответствовало предполагаемому потоку водяного пара при эксплуатации изделия. Зазоры между боковыми гранями образца и стенками сосуда тщательно герметизировались. После этого проводили первое (контрольное) взвешивание сосуда с образцом.

В рамках настоящего исследования образец устанавливался в испытательный сосуд с дистиллированной водой. Расстояние между поверхностью воды и нижней поверхностью образцов составляло (15 ± 5) мм. Затем испытательные сосуды с образцами устанавливались в испытательную камеру (рисунок 15), в которой поддерживались заданные значения температуры ($23 ^\circ\text{C}$ с точностью $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$) и относительной влажности воздуха (50 % с точностью $\pm 3 \%$).



Рисунок 15. Поддержание заданных значений температуры и относительной влажности в испытательной камере

Испытательные сосуды с образцами взвешивались на лабораторных весах с погрешностью 0,01 г через определенные промежутки времени. В момент взвешивания фиксировались значения температуры и относительной влажности воздуха.

Испытания считались законченными после установления стационарного потока водяного пара через образец, когда плотность потока в течение нескольких последовательных взвешиваний колебалась не более чем на 5 % среднего значения.

Паропроницаемость материала μ , мг/(м·ч·Па), определяют по формуле:

$$\mu = \frac{d}{R_{II}}, \quad (5)$$

где d – средняя толщина испытуемого образца, м;

R_{II} – сопротивление паропроницанию испытуемого образца, (м²·ч·Па)/мг.

Результаты испытания образцов ячеистого бетона с целью определения средних значений паропроницаемости по ГОСТ 25898 [43] представлены в таблице 12.

Таблица 12. Результаты испытания образцов ячеистого бетона с целью определения паропроницаемости (средние значения)

Производитель	Марка изделий по средней плотности, заявленная производителем	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
Производитель № 1	D400	0,23
Производитель № 2	D500	0,17
Производитель № 3	D500	0,18

Численные значения паропроницаемости ячеистых бетонов различных марок по средней плотности, указанных в стандартах и сводах правил, представлены в таблице 13.

Таблица 13. Значения паропроницаемости ячеистого бетона

Марка по средней плотности	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па), согласно стандарту				
	ГОСТ 31359	ГОСТ 25485 ¹	СТО НОСТРОЙ 2.9.136	СТО НААГ 3.1	СП 50.13330 ²
D400	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
D450	0,21	- ³	-	-	-
D500	0,20	0,20	0,20	0,20	-
D600	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17

Примечания.

1. Значения паропроницаемости по ГОСТ 25485 [24] приведены для ячеистых бетонов, изготовленных на песке.
2. Значения паропроницаемости по СП 50.13330 [30] приведены для «газо- и пенобетона на цементном вяжущем». В СП 50.13330 [30] для изделий, обозначенных как «газо- и пенобетон на известняковом вяжущем» и «газо- и пенозолобетон на цементном вяжущем», Численные значения паропроницаемости ячеистых бетонов в сухом состоянии, приведенные в Приложении Т СП 50.13330 [30], совпадают с аналогичными показателями, приведенными в Приложении Д СП 23-101 [32].
3. Прочерки в таблице означают, что для указанных марок по плотности в стандартах отсутствуют численные значения паропроницаемости либо сами марки по плотности в стандарте не указаны.

Сравнение данных, представленных в таблицах 12 и 13, показывает, что:

- паропроницаемость образцов ячеистого бетона, выпиленных из блоков производителя № 1, составляет 0,23 мг/(м·ч·Па), т.е. совпадает со значением, представленным ГОСТ 31359 [23] для заявленной производителем марки по средней плотности D400;
- паропроницаемость образцов ячеистого бетона, выпиленных из блоков производителя № 2, составляет 0,17 мг/(м·ч·Па) не совпадает со значением, представленным в ГОСТ 31359 [23] для заявленной производителем марки по средней плотности D500 (0,20 мг/(м·ч·Па));
- паропроницаемость образцов ячеистого бетона, выпиленных из блоков производителя № 3, составляет 0,18 мг/(м·ч·Па) и также не совпадает со значением, представленным в ГОСТ 31359 [23] для заявленной производителем марки по средней плотности D500 (0,20 мг/(м·ч·Па)).

Наблюдаемое отличие фактических и заявленных значений паропроницаемости ячеистых бетонов позволяет предположить, что свойства ячеистых бетонов зависят не только от их плотности, но и от качества исходного сырья. Следует обратить внимание также на следующую особенность. Результаты испытаний, представленные в таблице 12, коррелируют с данными, представленными в таблице 10. Чем выше равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов при относительной влажности воздуха 97 %, тем ниже их паропроницаемость.

4. Заключение

Результаты выполненных исследований показывают:

1. Измерение средней плотности ячеистого бетона по ГОСТ 12730.1 [41] показывают, что не все производители обеспечивают заявленную марку по средней плотности (D).
2. Изделия только одного производителя (№ 2) однозначно соответствуют заявленной марке по средней плотности.
3. Измеренные значения теплопроводности ячеистых бетонов в сухом состоянии не соответствуют (превышают) значениям, заявленным в ГОСТ 31359 [23], ГОСТ 25485 [24], СТО НОСТРОЙ 2.9.136 [28], СТО НААГ 3.1 [29] для соответствующих марок по средней плотности.
4. Измеренные значения теплопроводности ячеистых бетонов в сухом состоянии образцов продукции всех исследованных производителей не соответствуют значениям $\lambda_{50/50}$ [31], но в большинстве случаев соответствуют значениям $\lambda_{90/90}$, заявленным в стандарте EN 1745 [31].
5. Результаты испытаний образцов ячеистого бетона с целью определения равновесной сорбционной влажности показывают, что равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов всех трех производителей при относительной влажности воздуха 97 % превышает 5 %.
6. Испытание фрагмента кладки стеновой конструкции из газобетонных блоков в климатической камере по ГОСТ 26254 [43] показало, что термическое сопротивление испытанного фрагмента стеновой конструкции составляет 0,54 м²·К/Вт. Среднее значение влажности ячеистого бетона в составе испытываемого фрагмента стеновой конструкции составило 19 %.
7. Плоскость максимального увлажнения кладки находится на расстоянии 2/3 ее толщины (при отсчете от внутренней поверхности испытываемого фрагмента). Влажность ячеистого бетона, отобранного из кладки после окончания эксперимента на глубине от 75 до 100 мм (при отсчете от внутренней поверхности испытываемого фрагмента), составила 47,8 %.
8. Распределение влажности ячеистого бетона по толщине испытываемого фрагмента характеризуется значительной неравномерностью: постепенно возрастает при отсчете от внутренней поверхности испытываемого фрагмента к плоскости максимального увлажнения кладки и затем резко убывает.
9. Наблюдаемое распределение влажности ячеистого бетона по толщине испытываемого фрагмента кладки объясняется конденсацией и последующим замораживанием конденсированной влаги в плоскости максимального увлажнения и образованием таким образом малопроницаемого для водяных паров барьера.
10. Паропроницаемость образцов ячеистого бетона совпадает со значением, представленным в ГОСТ 31359 [23] для заявленной производителем марки по средней плотности только для одного производителя.

В России в последние 10-15 лет наблюдается значительный рост численности предприятий, выпускающих продукцию из ячеистого бетона автоклавного твердения. Одним из факторов, который способствовал бурному росту предприятий на территории страны, является выпуск ряда новых стандартов, разработанных без соответствующего научного обоснования принятых в них теплотехнических характеристики и условий эксплуатации изделий в составе наружных ограждающих конструкций. Одновременно с ростом численности предприятий по выпуску ячеистых бетонов и изделий из них в России наблюдается уменьшение объемов выпуска аналогичных изделий в странах Европейского Союза. По данным европейской ассоциации производителей автоклавного газобетона (EAACA) в 2007 году общее производство изделий в странах-членах EAACA составило 18,25 млн. м³ [49], из них 5,55 млн. м³ – в Польше [50]. Уже в 2009 году выпуск изделий из автоклавного газобетона в Польше составил 4,401 млн. м³ [51]. В 2012 году в Финляндии закрылось последнее предприятие, которое выпускало изделия из автоклавного газобетона на территории скандинавских стран [39]. Однослойные и двухслойные стены из газобетонных блоков не обеспечивают нормативные требования по теплоизоляции, принятые в странах ЕС.

Результаты выполненного исследования показывают, что фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов, выпиленных из образцов продукции трех производителей, в большинстве случаев не совпадают со значениями, заявленными производителями и представленными в стандартах, подготовленных с их непосредственным участием. Несоответствие расчетных и фактических значений теплопроводности материалов и изделий, используемых при устройстве наружных ограждающих конструкций, приводит к увеличению трансмиссионных потерь через стены и перерасходу тепловой энергии на отопление [52–54]. В этой связи требуется кардинальный пересмотр заявленных

производителями значений, а также стандартов, на основании которых производится выпуск изделий, и корректное их представление в действующих нормативных документах.

Литература

- [1]. Suhasini R. (2014). Autoclaving cement concrete: A review. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2014. No. 9 (11). Pp. 1603-1617.
- [2]. Jin H.Q., Yao X.L., Fan L.W., Xu X., Yu Z.T. (2016). Experimental determination and fractal modeling of the effective thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: Effects of moisture content. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016. No. 92. Pp. 589-602.
- [3]. Campanale M., Moro L. (2015). Autoclaved aerated concrete: Experimental evaluation of its thermal properties at high temperatures. *High Temperatures–High Pressures*. 2015. No. 44 (5). Pp. 369-382.
- [4]. Rubene S., Vilnitis M., Noviks J. (2015). Frequency Analysis and Measurements of Moisture Content of AAC Masonry Constructions by EIS. *Procedia Engineering*. 2015. No. 123. Pp. 471-478.
- [5]. Yao X.L., Yi S.Y., Fan L.W., Xu X., Yu Z.T., Ge J. (2015). Effective thermal conductivity of moist aerated concrete with different porosities. *Zhejiang Daxue Xuebao (Gongxue Ban). Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*. 2015. No. 49 (6). Pp. 1101-1107.
- [6]. Koudelka T., Kruis J., Maděra J. (2015). Coupled shrinkage and damage analysis of autoclaved aerated concrete. *Applied Mathematics and Computation*. 2015. No. 267. Pp. 427-435.
- [7]. Korniyenko S. (2015). Evaluation of thermal performance of residential building envelope. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117. Pp. 191-196.
- [8]. Zemitis J., Borodinecs A., Frolova M. (2016). Measurements of moisture production caused by various sources. *Energy and Buildings*. 2016. No. 127. Pp. 884-891.
- [9]. Homann M. (1991). *Porenbeton handbuch. Planen und Bauen mit System. Auflage 6.* – Gütersloh: Bauverlag, 1991.
- [10]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. (2016). Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 4. Pp. 10-25.
- [11]. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Tarasova D. (2015). The brickwork joints effect on the thermotechnical uniformity of the exterior walls from gas-concrete blocks. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. No. 725-726. Pp. 3-8.
- [12]. Vatin N., Gorshkov A., Rymkevich P., Nemova D., Tarasova D. (2014). Nonstationary thermal conduction through the building envelope. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 670-671. Pp. 365-369.
- [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]. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. Influence of mortar joints in aerocrete-work on the thermotechnical homogeneity of walls // *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 3. pp. 39-42.
- [15]. Паращенко Н.А., Горшков А.С., Ватин Н.И. Частично-ребристые сборно-монолитные перекрытия с ячеистобетонными блоками // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 6. С. 50-55.
- [16]. Parashchenko N.A., Gorshkov A.S., Vatin N.I. Partially rib precast and cast-in-situ floors with cellular-concrete blocks // *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 6. Pp. 50-55.
- [17]. Недвига Е.С., Виноградова Н.А. Системы сборно-монолитных перекрытий // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 4 (43). С. 87-102.
- [18]. Гравит М.В., Недвига Е.С., Виноградова Н.А., Теплова Ж.С. Огнестойкость сборно-монолитных часторебристых плит по балкам со стальным профилем // *Строительство уникальных зданий и сооружений [Construction of Unique Buildings and Structures]*. 2016. № 12 (51). С. 73-83.
- [19]. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Итоги

References

- [1]. Suhasini R. (2014). Autoclaving cement concrete: A review. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2014. No. 9 (11). Pp. 1603-1617.
- [2]. Jin H.Q., Yao X.L., Fan L.W., Xu X., Yu Z.T. (2016). Experimental determination and fractal modeling of the effective thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: Effects of moisture content. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016. No. 92. Pp. 589-602.
- [3]. Campanale M., Moro L. (2015). Autoclaved aerated concrete: Experimental evaluation of its thermal properties at high temperatures. *High Temperatures–High Pressures*. 2015. No. 44 (5). Pp. 369-382.
- [4]. Rubene S., Vilnitis M., Noviks J. (2015). Frequency Analysis and Measurements of Moisture Content of AAC Masonry Constructions by EIS. *Procedia Engineering*. 2015. No. 123. Pp. 471-478.
- [5]. Yao X.L., Yi S.Y., Fan L.W., Xu X., Yu Z.T., Ge J. (2015). Effective thermal conductivity of moist aerated concrete with different porosities. *Zhejiang Daxue Xuebao (Gongxue Ban). Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*. 2015. No. 49 (6). Pp. 1101-1107.
- [6]. Koudelka T., Kruis J., Maděra J. (2015). Coupled shrinkage and damage analysis of autoclaved aerated concrete. *Applied Mathematics and Computation*. 2015. No. 267. Pp. 427-435.
- [7]. Korniyenko S. (2015). Evaluation of thermal performance of residential building envelope. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117. Pp. 191-196.
- [8]. Zemitis J., Borodinecs A., Frolova M. (2016). Measurements of moisture production caused by various sources. *Energy and Buildings*. 2016. No. 127. Pp. 884-891.
- [9]. Homann M. (1991). *Porenbeton handbuch. Planen und Bauen mit System. Auflage 6.* – Gütersloh: Bauverlag, 1991.
- [10]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. (2016). Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 4. Pp. 10-25.
- [11]. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Tarasova D. (2015). The brickwork joints effect on the thermotechnical uniformity of the exterior walls from gas-concrete blocks. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. No. 725-726. Pp. 3-8.
- [12]. Vatin N., Gorshkov A., Rymkevich P., Nemova D., Tarasova D. (2014). Nonstationary thermal conduction through the building envelope. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 670-671. Pp. 365-369.
- [13]. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. Vliyaniye rastvornykh shvov kladki na parametry teplotekhnicheskoy odnorodnosti sten iz gazobetona [Influence of rastvorny seams of a laying on parameters of heattechnical uniformity of walls from a gas concrete] // *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 3. Pp. 39-42. (rus)
- [14]. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. Influence of mortar joints in aerocrete-work on the thermotechnical homogeneity of walls // *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 3. Pp. 39-42.
- [15]. Parashchenko N.A., Gorshkov A.S., Vatin N.I. Chastichno-rebristyye sborno-monolitnykh perekrytiya s yacheistobetonnyimi blokami [Partial and ridge assembly and monolithic overlappings with blocks from cellular concrete] // *Инженерно-строительный журнал [Magazine of Civil Engineering]*. 2011. No. 6. Pp. 50-55. (rus)
- [16]. Parashchenko N.A., Gorshkov A.S., Vatin N.I. Partially rib precast and cast-in-situ floors with cellular-concrete blocks // *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 6. Pp. 50-55.
- [17]. Nedviga Ye.S., Vinogradova N.A. Sistemy sborno-monolitnykh perekrytiy // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2016. № 4 (43). С. 87-102.
- [18]. Gravit M.V., Nedviga Ye.S., Vinogradova N.A., Teplova Zh.S. Ognestoykost sborno-monolitnykh chastorebristyykh plit po

- работы предприятий по производству автоклавного ячеистого бетона в 2013 году. Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона.
- [20]. Лобов О.И., Ананьев А.И., Рымаров А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 67-71.
 - [21]. Lobov O.I., Ananiev A.I., Rymarov A.G. Main Reasons Non-Compliance of Factual Level of Heat Protection of External Walls of Modern Buildings with Regulatory Requirements // Industrial and Civil Engineering. 2016. No. 11. Pp. 67-71.
 - [22]. Васильев Г.П., Жолобецкий Я.Я., Личман В.А. Теплотехнические испытания кладок из различных строительных материалов // Энергосбережение. 2016. № 3. С. 48-55.
 - [23]. ГОСТ 31359-2008 Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия.
 - [24]. ГОСТ 25485-89 Бетоны ячеистые. Технические условия.
 - [25]. ГОСТ 31360-2008 Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия.
 - [26]. ГОСТ 21520-89 Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие. Технические условия.
 - [27]. ГОСТ 13015-2012 Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
 - [28]. СТО НОСТРОЙ 2.9.136-2013 Устройство конструкций с применением изделий и армированных элементов из ячеистых бетонов автоклавного твердения.
 - [29]. СТО НААГ 3.1-2013 Конструкции с применением автоклавного газобетона в строительстве зданий и сооружений.
 - [30]. СП 50.13330.2012 Актуализированная редакция СП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
 - [31]. EN 1745:2002 Masonry and masonry products – Methods for determining thermal values.
 - [32]. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.
 - [33]. ISO 6946 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.
 - [34]. ISO 10456 Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
 - [35]. Горшков А.С., Соколов Н.А. Несоответствие российских и международных стандартов при определении расчетных значений теплопроводности строительных материалов и изделий // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7. С. 7-14.
 - [36]. Гарнашевич Г.С., Губская А.Г., Сажнев Н.П., Лоско А.В., Лоско В.В., Власенко Ж.Н. Ячеистый бетон автоклавного твердения: теплофизические и эксплуатационные свойства. Проблемы и решения: Материалы 9-й Международной научно-практической конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения». Минск 18-19 мая 2016 г. Мн.: Колоград, 2016. С. 5-10.
 - [37]. СНиП II-3-79 * Строительная теплотехника.
 - [38]. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона. Итоги 2015 года. Прогноз на 2016 год. Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона.
 - [39]. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
 - [40]. Немова Д.В., Спиридонова Т.И., Куражова В.Г. Неизвестные свойства известного материала // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1. С. 36-46.
 - [41]. ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности.
 - [42]. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод balkam so stalnym profilem [Fire resistance of combined and monolithic chastorebristy plates on beams with a steel profile] // Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. No. 12 (51). Pp. 73-83. (rus)
 - [19]. Vishnevskiy A.A., Grinfeld G.I., Smirnova A.S. Itogi raboty predpriyatiy po proizvodstvu avtoklavnogo yacheistogo betona v 2013 godu. Natsionalnaya assotsiatsiya proizvoditeley avtoklavnogo gazobetona.
 - [20]. Lobov O.I., Ananyev A.I., Rymarov A.G. Osnovnyye prichiny nesootvetstviya fakticheskogo urovnya teplovoy zashchity naruzhnykh sten sovremennykh zdaniy normativnym trebovaniyam [Main reasons for discrepancy of the actual level of thermal protection of external walls of modern buildings to standard requirements] // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2016. No. 11. Pp. 67-71. (rus)
 - [21]. Lobov O.I., Ananiev A.I., Rymarov A.G. Main Reasons Non-Compliance of Factual Level of Heat Protection of External Walls of Modern Buildings with Regulatory Requirements // Industrial and Civil Engineering. 2016. No. 11. Pp. 67-71.
 - [22]. Vasilyev G.P., Zholobetskiy Ya.Ya., Lichman V.A. Teploekhnicheskkiye ispytaniya kladok iz razlichnykh stroitelnykh materialov [Thermophysical tests of layings from various construction materials] // Energoberezhniye. 2016. No. 3. Pp. 48-55. (rus)
 - [23]. GOST 31359-2008 Betony yacheistyye avtoklavnogo tverdeniya. Tekhnicheskkiye usloviya.
 - [24]. GOST 25485-89 Betony yacheistyye. Tekhnicheskkiye usloviya.
 - [25]. GOST 31360-2008 Izdeliya stenovyye nearmirovannyye iz yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya. Tekhnicheskkiye usloviya.
 - [26]. GOST 21520-89 Bloki iz yacheistyykh betonov stenovyye melkiye. Tekhnicheskkiye usloviya.
 - [27]. GOST 13015-2012 Izdeliya betonnyye i zhelezobetonnyye dlya stroitelstva. Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya. Pravila priyemki, markirovki, transportirovaniya i khraneniya.
 - [28]. STO NOSTROY 2.9.136-2013 Ustroystvo konstruktсий s primeneniym izdeliy i armirovannykh elementov iz yacheistyykh betonov avtoklavnogo tverdeniya.
 - [29]. STO NAAG 3.1-2013 Konstruktsii s primeneniym avtoklavnogo gazobetona v stroitelstve zdaniy i sooruzheniy.
 - [30]. SP 50.13330.2012 Aktualizirovannaya redaktsiya SP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdaniy.
 - [31]. EN 1745:2002 Masonry and masonry products – Methods for determining thermal values.
 - [32]. SP 23-101-2004 Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy.
 - [33]. ISO 6946 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.
 - [34]. ISO 10456 Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
 - [35]. Gorshkov A.S., Sokolov N.A. Nesootvetstviye rossiyskikh i mezhdunarodnykh standartov pri opredelenii raschetnykh znacheniy teploprovodnosti stroitelnykh materialov i izdeliy [Discrepancy of the Russian and international standards when determining calculated values of heat conductivity of construction materials and products] // Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 7. Pp. 7-14. (rus)
 - [36]. Garnashevich G.S., Gubskaya A.G., Sazhnev N.P., Losko A.V., Losko V.V., Vlasenko Zh.N. Yacheistyy beton avtoklavnogo tverdeniya: teplofizicheskkiye i ekspluatatsionnyye svoystva. Problemy i resheniya: Materialy 9-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Opyt proizvodstva i primeneniya yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya». Minsk 18-19 maya 2016 g. Mn.: Kolograd, 2016. Pp. 5-10.
 - [37]. SNiP II-3-79 * Stroitel'naya teplotekhnika.
 - [38]. Vishnevskiy A.A., Grinfeld G.I., Smirnova A.S. Proizvodstvo avtoklavnogo gazobetona. Itogi 2015 goda. Prognoz na 2016 god. Natsionalnaya assotsiatsiya proizvoditeley avtoklavnogo gazobetona.
 - [39]. Silayenkov Ye.S. Dolgovechnost izdeliy iz yacheistyykh betonov. M.: Stroyizdat, 1986. 176 s.
 - [40]. Nemova D.V., Spiridonova T.I., Kurazhova V.G. Neizvestnyye svoystva izvestnogo materiala // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2012. № 1. С. 36-46.
 - [41]. ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности.
 - [42]. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод

определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.

- [43]. ГОСТ 26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
- [44]. ГОСТ 25898-2012 Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропрооницанию.
- [45]. ГОСТ 24816-2014 Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности.
- [46]. ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения влажности.
- [47]. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- [48]. ГОСТ 27005-2014 Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности.
- [49]. Materiały informacyjne Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (EAACA) z lat 2004-2007.
- [50]. Запотьчна-Сытэк Г. Автоклавный ячеистый бетон в Польше – строительный материал сегодняшнего и завтрашнего дня [Autoclave cellular concrete in Poland – construction material today's and tomorrow]: Материалы Международной научно-практической конференции «Ячеистые бетоны в современном строительстве – 2008». С. 33-44.
- [51]. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона в России // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 40-44.
- [52]. Корниенко С.В. О применимости методики СП 50.13330.2012 к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги // Строительство и реконструкция. 2014. № 5 (55). С. 29-37.
- [53]. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь в краевых зонах ограждающих конструкций. Волгоград: ВолгГАСУ, 2011.
- [54]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Корниенко С.В., Пестряков И.И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1 (40). С. 78-101.
- svoystva izvestnogo materiala [Unknown properties of the known material] // Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. No. 1. Pp. 36-46. (rus)
- [41]. GOST 12730.1-78 Betony. Metody opredeleniya plotnosti.
- [42]. GOST 7076-99 Materialy i izdeliya stroitelnyye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime.
- [43]. GOST 26254-84 Zdaniya i sooruzheniya. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktсий.
- [44]. GOST 25898-2012 Materialy i izdeliya stroitelnyye. Metody opredeleniya paropronitsayemosti i soprotivleniya paropronitsaniyu.
- [45]. GOST 24816-2014 Materialy stroitelnyye. Metod opredeleniya ravnovesnoy sorbtionnoy vlazhnosti.
- [46]. GOST 12730.1-78 Betony. Metody opredeleniya vlazhnosti.
- [47]. GOST 10180-2012 Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrolnym obraztsam.
- [48]. GOST 27005-2014 Betony legkiye i yacheistyye. Pravila kontrolya sredney plotnosti.
- [49]. Materiały informacyjne Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (EAACA) z lat 2004-2007.
- [50]. Zapotychna-Sytek G. Avtoklavnyy yacheistyy beton v Polshe – stroitelnyy material segodnyashnego i zavtrashnego dnya [Autoclave cellular concrete in Poland – construction material today's and tomorrow]: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Yacheistyye betony v sovremennom stroitelstve – 2008». Pp. 33-44.
- [51]. Vishnevskiy A.A., Grinfeld G.I., Kulikova N.O. Analiz rynka avtoklavnogo gazobetona v Rossii // Stroitelnyye materialy. 2013. No. 6. Pp. 40-44.
- [52]. Korniyenko S.V. O primenimosti metodiki SP 50.13330.2012 k raschetu vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktсий s multizonalnoy kondensatsiyey vlagi [About applicability of SP 50.13330.2012 method to calculation of a moisture conditions of enclosing structures with multi-zone moisture condensation] // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. 2014. No. 5 (55). Pp. 29-37. (rus)
- [53]. Korniyenko S.V. Povyseniye energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter v krayevykh zonakh ograzhdayushchikh konstruktсий. Volgograd: VolgGASU, 2011.
- [54]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Korniyenko S.V., Pestryakov I.I. Potrebitelskiye svoystva stenovykh izdeliy iz avtoklavnogo gazobetona [The consumer properties of wall products from AAC] // Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. No. 1 (40). Pp. 78-101. (rus)

Контактная информация

- 1.*+7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., директор научно-учебного центра)
- 2.+7(812)5356334, iscvisola@mail.ru (Пестряков Игорь Иванович, руководитель испытательно-сертификационного центра "Высота")
- 3.+7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент)
- 4.+7(921)9643762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор)
- 5.+7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Ольшевский Вячеслав Янушевич, аспирант)

Contact information

- 1.*+7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Alexander Gorshkov, Ph.D., Director of scientific educational centre)
- 2.+7(812)5356334, iscvisola@mail.ru (Igor Pestryakov, Head of testing and certification centre)
- 3.+7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Korniyenko, Ph.D., Associate Professor)
- 4.+7(921)9643762, vatin@mail.ru (Nikolai Vatin, Ph.D., Professor)
- 5.+7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Vyacheslav Olshevskiy, Postgraduate)

© Горшков А.С., Пестряков И.И., Корниенко С.В., Ватин Н.И., Ольшевский В.Я., 2018