

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 691.327.332+697.137.2

П.П. Пастушков, Г.И. Гринфельд*, Н.В. Павленко,
А.Е. Беспалов***, Е.В. Коркина**

*НИИСФ РААСН, *НААГ, **НИИ механики МГУ,*

****ФГБОУ ВПО «МГСУ»*

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ СТРОИТЕЛЬСТВА

Дан анализ методик расчета влажностного режима ограждающих конструкций. Обоснована актуальность проведения исследований эксплуатационной влажности автоклавного газобетона. Проведены экспериментальные исследования по сорбционному увлажнению и паропроницаемости основных марок газобетона. Приведены результаты испытаний и численных расчетов влажностного режима стен из газобетона марки D400 с фасадными теплоизоляционными композиционными системами с наружными штукатурными слоями для условий различных климатических зон строительства, а также значения эксплуатационной влажности материалов исследованных конструкций.

Ключевые слова: влажностный режим, нестационарный метод расчета, автоклавный газобетон, натурные исследования, эксплуатационная влажность, сорбция, паропроницаемость, климатическая зона.

В процессе эксплуатации зданий влажностное состояние материалов ограждающих конструкций изменяется в зависимости от конструктивных особенностей, свойств материалов, температурно-влажностных условий в помещениях, климатических условий района строительства [1—6]. Влажностный режим определяет эксплуатационные свойства ограждающих конструкций здания. Он непосредственно влияет на теплозащитные свойства ограждающих конструкций [7—9] и энергоэффективность применяемых материалов [10].

Расчеты влажностного режима позволяют решать различные задачи строительной теплофизики. Стационарная методика оценки влажностного режима [11] позволяет проверить конструкцию по условиям недопустимости накопления влаги в ней за годовой период эксплуатации и ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха. Расчеты по нестационарным методикам [12—14] позволяют давать не только качественные оценки влажностного состояния ограждающих конструкций, но и конкретные количественные результаты по влагосодержанию в слоях строительных материалов. Основным результатом расчетов влажностного режима ограждающих конструкций по нестационарным методикам является распределение влажности по толщине конструкции в любой момент времени после начала эксплуатации здания. Из этого результата можно получить ответы на частные задачи, в т.ч. определение значения эксплуатационной влажности строительных материалов.

Актуальность работы обуславливается тем, что автоклавный газобетон в настоящее время является самым распространенным материалом в наружных ограждающих конструкциях зданий [15], а последние крупные исследования по тематике влажностного режима проводились для ячеистых бетонов, имевших другие тепловлажностные характеристики. С тех времен был практически полностью заменен парк оборудования для производства, изменились технологии и составы, из-за повышения норм к теплозащите более широкое применение получили марки пониженной плотности D300 и D400.

Эксплуатационная влажность — это равновесное влагосодержание материала в ограждении относительно воздействующих на него влажностных факторов внутренних и наружных сред. Влагосодержание в материале конструкции становится равновесным после нескольких лет эксплуатации здания [14]. Срок выхода влажностного режима конструкции на квазистационарный зависит от начальной (технологической) влажности материала, состава конструкции и климатических условий региона строительства. Результаты натурных и численных исследований показывают, что для конструкций с применением газобетона этот срок составляет от 1 до 5 лет [5, 14, 16—19].

Основным способом определения эксплуатационной влажности являются натурные исследования, так как по их результатам можно установить распределение влажности для конкретной конструкции в конкретных условиях эксплуатации. Однако результаты натурных исследований даже для одного типа конструкций в одних и тех же эксплуатационных условиях могут иметь большой разброс [20]. Именно по статистическим данным большого количества натурных исследований, а также по экспертным оценкам были определены значения расчетной влажности в условиях эксплуатации А и Б из приложения С [11]. Эти значения переносятся из редакции в редакцию СНиП «Тепловая защита зданий» лишь с небольшими изменениями и дополнениями, и для некоторых типов материалов их следует признать устаревшими. Это относится, например, к газобетону, где влажности в условиях эксплуатации А и Б приняты равными 8 и 12 % соответственно (пп. 176—179 приложения С [11]).

В настоящее время повторить всеобъемлющие натурные исследования, которые бы легли в основу таблицы расчетных теплотехнических показателей СНиП, не представляется возможным, так как государственное финансирование научно-исследовательской деятельности в строительстве фактически не ведется, а также отсутствует постоянная взаимосвязь между предприятиями строительной отрасли и отраслевыми НИИ. Поэтому использование численных методов расчета влажного режима ограждающих конструкций сейчас является более перспективным [8, 12—14].

Нестационарные методы расчета влажностного режима известны с 1930-х гг., а в 1984 г. в НИИ строительной физики было разработано «Руководство по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий» [21], которое по сей день является наиболее полным пособием по практике проведения нестационарных расчетов. В последние два года проведена актуализация данного метода и выпущен новый стандарт: ГОСТ 32494—2013

«Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций»¹.

Экспериментальные исследования. Для актуализации данных по тепло-влажностным характеристикам автоклавного газобетона был выполнен ряд экспериментальных исследований. Наиболее значимыми следует признать полученные результаты исследований паропроницаемости и сорбции водяного пара, так как впервые за последние годы по методикам ГОСТ и на специальном оборудовании были одновременно испытаны основные марки автоклавного газобетона современного производства. Также впервые для образцов современного газобетона были апробированы методики и получены результаты исследований капиллярного всасывания и влагопроводности.

Осредненные результаты экспериментальных исследований сорбции водяного пара образцами автоклавного газобетона основных марок приведены в табл. 1. Испытания проводились по методике ГОСТ 24816—81². Изотермы сорбции приведены на рис. 1.

Табл. 1. Результаты исследований сорбции образцами газобетона

Марка газобетона	Сорбционная влажность, %, по массе при температуре 20±2 °С и относительной влажности воздуха, %				
	40	60	80	90	97
D300	0,102	0,36	1,9	3,15	6,3
D400	0,063	0,22	1,32	2,48	4,54
D500	0,036	0,16	1,23	2,19	4,25
D600	0,021	0,083	1,1	2,08	4,00

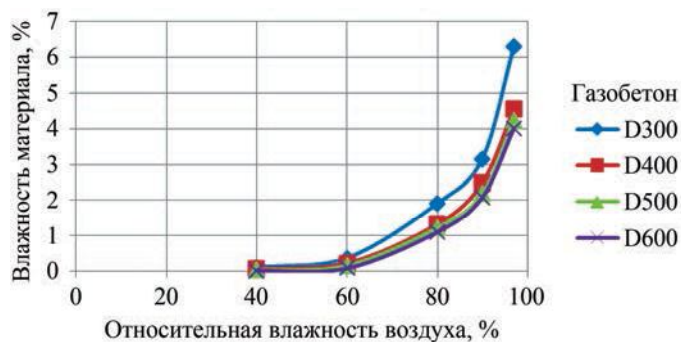


Рис. 1. Изотермы сорбции образцов газобетона

Полученные данные можно обобщить выводом, что чем меньше плотность газобетона, тем больше сорбция. Это объясняется большей пористостью ячеистого бетона при понижении плотности.

¹ ГОСТ 32494—2013. Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций. М. : Стандартинформ, 2014. 22 с.

² ГОСТ 24816—81. Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности. М. : Изд-во стандартов, 1981. 8 с.

Осредненные результаты определения сопротивления паропроницанию и расчетов коэффициента паропроницаемости основных марок газобетона приведены в табл. 2. Испытания проводились по методике ГОСТ 25898—2012³. Толщина испытываемых образцов составляла 25 мм.

Табл. 2. Результаты исследований паропроницаемости газобетона

Марка газобетона	Средняя плотность образцов ρ , кг/м ³	Сопротивление паропроницанию $R_{п^*}$, м ² ·ч·Па/мг	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
D300	330	0,198	0,126
D400	410	0,215	0,120
D500	504	0,240	0,105
D600	634	0,268	0,095

Вывод по данным исследования заключается в том, что чем выше плотность газобетона, тем больше сопротивление паропроницанию и, соответственно, ниже коэффициент паропроницаемости.

Численные расчеты. С использованием полученных актуальных тепло-влажностных характеристик газобетона были проведены пробные расчеты нестационарного влажностного режима многослойных ограждающих конструкций в климатических условиях различных городов строительства. Исследованы стены из газобетона марки D400 с фасадной системой со скрепленной теплоизоляцией (СФТК) с использованием основных типов эффективных утеплителей: минеральной ваты, формованного пенополистирола (пенопласта) и экструдированного пенополистирола (XPS) с наружным тонким штукатурным слоем. При расчетах принималось, что температура и влажность в помещении остаются постоянными в течение года — +20 °С и 55 % соответственно. Температура и относительная влажность воздуха снаружи конструкции изменяется. Данные для расчетов брались из СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01—99*»⁴.

На рис. 2—4 приведены графики распределения влажности по толщине конструкций в различных городах строительства, полученные в результате расчетов по разработанной программе для ЭВМ, согласно [21], реализующей математическую модель температурно-влажностного режима ограждающих конструкций из ГОСТ 32494—2013. Результаты приведены на третий год эксплуатации здания. Данный период выбран по тем соображения, что по проведенным расчетам за два года все рассмотренные варианты конструкций теряют начальную (технологическую) влажность и выходят на квазистационарный влажностный режим. Для каждого варианта приведено два графика — это распределения влажности на начало месяцев, следующих за месяцами наибольшего и наименьшего влагонакопления в конструкции (соответственно на начало февраля и августа).

³ ГОСТ 25898—2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию. М. : Стандартинформ, 2014. 12 с.

⁴ СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01—99*. М. : Минрегион России, 2012. 110 с.

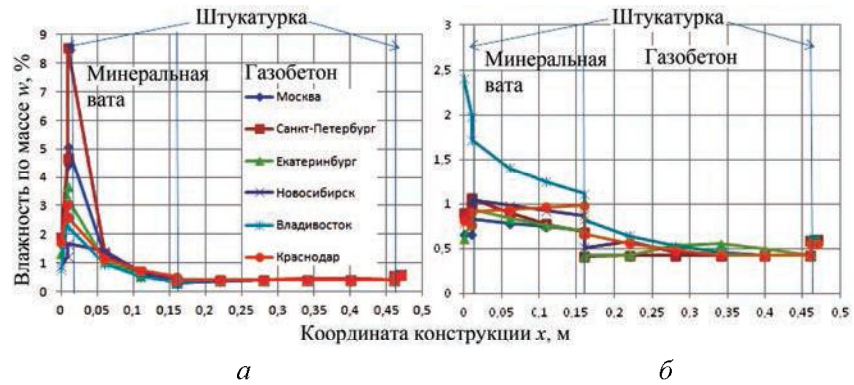


Рис. 2. Распределение влажности внутри конструкции с минеральной ватой: *а* — начало февраля; *б* — начало августа

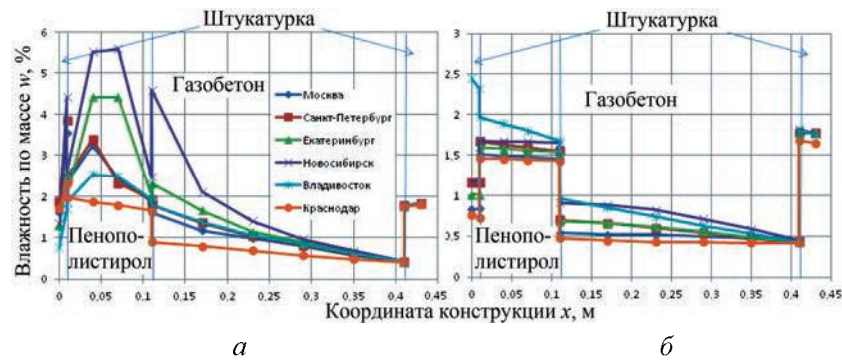


Рис. 3. Распределение влажности внутри конструкции с пенополистиролом: *а* — начало февраля; *б* — начало августа

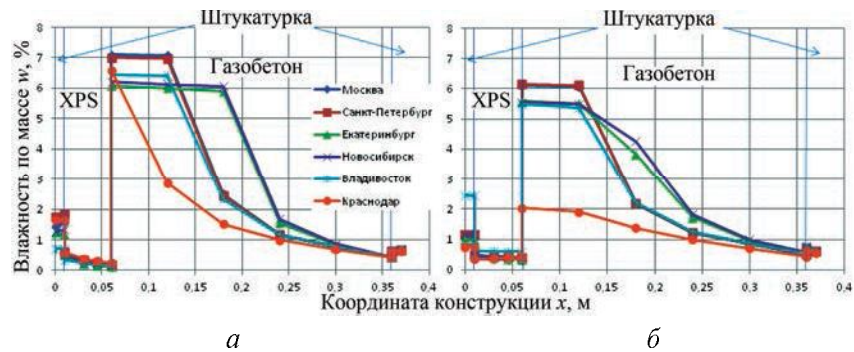


Рис. 4. Распределение влажности внутри конструкции с экструдированным пенополистиролом: *а* — начало февраля; *б* — начало августа

По результатам расчетов влажностного режима рассмотренных вариантов конструкций были вычислены значения эксплуатационной влажности материалов для климатических условий выбранных городов строительства. В табл. 3 приведены значения эксплуатационной влажности газобетона марки D400 и эффективных утеплителей после месяца наибольшего влагонакопления. Значения для газобетона приведены для конструкции с экструдированным пенополистиролом.

Табл. 3. Эксплуатационная влажность после месяца наибольшего влагонакопления

Материал	Эксплуатационная влажность w_s , %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Газобетон D400	3,18	3,13	3,47	3,56	2,93	2,18
Минеральная вата	0,79	0,87	0,80	1,11	0,53	0,75
Пенопласт	2,59	2,62	3,58	4,49	2,30	1,82
XPS	0,32	0,35	0,24	0,28	0,23	0,38

Заключение. Полученные экспериментальные данные позволяют проводить дальнейшие расчеты нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций с использованием автоклавного газобетона. Результаты численных расчетов представляют, отдельный интерес и могут быть использованы для вычисления эффективной теплопроводности кладок из газобетонных блоков [22, 23], а также показателей энергоэффективности теплоизоляционных материалов [10].

Библиографический список

1. Пастушков П.П., Лушин К.И., Павленко Н.В. Отсутствие проблемы выпадения конденсата на внутренней поверхности стен со скрепленной теплоизоляцией // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 42—44.
2. Aksoezen M., Daniel M., Hassler U., Kohler N. Building age as an indicator for energy consumption // Energy and Buildings. January 2015. Vol. 87. Pp. 74—86.
3. Мамонтов А.А., Ярцев В.П., Струлев С.А. Анализ влажности различных утеплителей в ограждающих конструкциях здания при эксплуатации в отопительный период // Academia. Архитектура и строительство. 2013. № 4. С. 117—119.
4. Jelle B.P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions — Properties, requirements and possibilities // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No. 10. Pp. 2549—2563.
5. Гринфельд Г.И., Куттараева П.Д. Кладка из автоклавного газобетона с наружным утеплением. Особенности влажностного режима в начальный период эксплуатации // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8 (26). С. 41—50.
6. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Влажностное состояние и закономерности проявления конструктивных свойств строительных материалов при эксплуатации // Academia. Архитектура и строительство. 2007. № 4. С. 70—77.
7. Al-Homoud M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials // Building and Environment. 2005. Vol. 40. No. 3. Pp. 353—366.
8. Пастушков П.П. Численное и экспериментальное исследование охлаждения ограждающей конструкции после выключения отопления // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 312—318.
9. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О требованиях к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 59—66.

10. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7—9.
11. СП 50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий». М. : Минрегион России, 2012. 100 с.
12. Перехоженцев А.Г., Груздо И.Ю. Исследование диффузии влаги в пористых строительных материалах // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35 (54). С. 116—120.
13. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим и теплозащитные свойства ограждающих конструкций с краевыми зонами // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35 (54). С. 62—69.
14. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Математическая модель и инженерный метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций // *Academia*. Архитектура и строительство. 2006. № 2. С. 60—63.
15. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России: перспективы развития подотрасли // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 44—47.
16. Гринфельд Г.И., Морозов С.А., Согомонян И.А., Зырянов П.С. Влажностное состояние современных конструкций из автоклавного газобетона в условиях эксплуатации // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 2 (20). С. 33—38.
17. Семченков А.С., Ухова Т.А., Сахаров Г.П. О корректировке равновесной влажности и теплопроводности ячеистого бетона // *Строительные материалы*. 2006. № 6. С. 3—7.
18. Schoch T., Kreft O. The influence of moisture on the thermal conductivity of AAC // 5th International conference on Autoclaved Aerated Concrete «Securing a sustainable future»: Bydgoszcz, Poland, September, 14—17, 2011. Pp. 361—370.
19. Бабков В.В., Кузнецов Д.В., Гайсин А.М., Резвов О.А., Самофеев Н.С., Морозова Е.В. Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения // *Инженерно-строительный журнал*. 2010. № 8 (18). С. 28—31.
20. Васильев Б.Ф. *Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий*. М. : Госстройиздат, 1957. 214 с.
21. *Руководство по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий*. М. : Стройиздат, 1984. 168 с.
22. Славчева Г.С., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н., Кухтин Ю.А. Сравнительные эксплуатационные теплозащитные характеристики одно- и двухслойных стеновых газосиликатных конструкций // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 13—15.
23. Бедов А.И., Бабков В.В., Габитов А.И., Гайсин А.М., Резвов О.А., Кузнецов Д.В., Гафурова Э.А., Синицин Д.А. Конструктивные решения и особенности расчета теплозащиты наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков // *Вестник МГСУ*. 2012. № 2. С. 98—103.

Поступила в редакцию в феврале 2015 г.

Об авторах: Пастушков Павел Павлович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской Академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21, 8 (495) 482-40-58, pavel-one@mail.ru;

Гринфельд Глеб Иосифович — исполнительный директор, Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона (НААГ), 193091, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 40, литера А, greenfeld@mail.ru;

Павленко Наталья Викторовна — кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер, Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИИ механики МГУ), 119192, г. Москва, Мичуринский пр-т, д. 1, 9103638838@mail.ru, 8 (495) 939-52-82;

Беспалов Алексей Евгеньевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики грунтов и геотехники, Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-34-38 вн. 14-29, mgroif_bespalov@bk.ru;

Коркина Елена Владимировна — научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской Академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21, 8 (495) 482-40-58, elena.v.korkina@gmail.com.

Для цитирования: *Пастушков П.П., Гринфельд Г.И., Павленко Н.В., Беспалов А.Е., Коркина Е.В.* Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства // Вестник МГСУ. 2015. № 2. С. 60—69.

P.P. Pastushkov, G.I. Grinfel'd, N.V. Pavlenko, A.E. Bespalov, E.V. Korkina

SETTLEMENT DETERMINATION OF OPERATING MOISTURE OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE IN DIFFERENT CLIMATIC ZONES

In the process of operation of buildings the moisture state of enveloping structures materials is changing depending on their construction features, properties of the material, temperature and moisture conditions in the premises, climatic conditions of the construction area. Moisture mode determines the operational properties of the enveloping structures of a building. It directly influences the thermal characteristics of enveloping structure and energy efficiency of the applied materials.

The analysis of the methods for calculation of moisture behavior of enclosing structures is carried out. The research relevance of operational moisture of AAC is substantiated. Experimental studies and results of the sorption moisturizing and water vapor permeability of leading marks of aerated concrete are carried out. The authors offer the results of numerical calculations of the moisture behavior of aerated concrete in the walls with mark D400 with facade thermal insulation composite systems — with external plaster layers for different climatic zones of construction.

Key words: moisture behavior, unsteady calculation method, autoclave aerated concrete, field investigations, operational moisture, sorption, water vapor permeability, climatic zone.

References

1. Pastushkov P.P., Lushin K.I., Pavlenko N.V. Otsutstvie problemy vypadeniya kondensata na vnutrenney poverkhnosti sten so skreplennoy teploizolyatsiey [Absence of Condensate Formation Problem on the Inner Surface of Walls with Fastened Thermal Isolation]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014, no. 6, pp. 42—44. (In Russian)
2. Aksoezen M., Daniel M., Hassler U., Kohler N. Building Age as an Indicator for Energy Consumption. *Energy and Buildings*. January 2015, vol. 87, pp. 74—86. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.074>.
3. Mamontov A.A., Yartsev V.P., Strulev S.A. Analiz vlazhnosti razlichnykh uteplyteley v ograždayushchikh konstruktsiyakh zdaniya pri ekspluatatsii v otopitel'nyy period [Moisture Analysis of Various Insulations and Building Enveloping Structures during Operation in Heating Season]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction]. 2013, no. 4, pp. 117—119. (In Russian)

4. Jelle B.P. Traditional, State-of-the-art and Future Thermal Building Insulation Materials and Solutions — Properties, Requirements and Possibilities. *Energy and Buildings*. 2011, vol. 43, no. 10, pp. 2549—2563. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.015>.

5. Grinfel'd G.I., Kuptaraeva P.D. Kladka iz avtoklavnogo gazobetona s naruzhnym utepleniem. Osobennosti vlazhnostnogo rezhima v nachal'nyy period ekspluatatsii [Setting of Aerated Concrete with Outer Thermal Insulation. Features of Moisture Mode in the Initial Period of Operation]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2011, no. 8 (26), pp.41—50. (In Russian)

6. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. Vlazhnostnoe sostoyanie i zakonmernosti proyavleniya konstruksionnykh svoystv stroitel'nykh materialov pri ekspluatatsii [Moisture Condition and Regularities of Construction Properties Manifestation of Construction Materials in the Process of Operation]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction]. 2007, no. 4, pp. 70—77. (In Russian)

7. Al-Homoud M.S. Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials. *Building and Environment*. 2005, vol. 40, no. 3, pp. 353—366. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.013>.

8. Pastushkov P.P. Chislennoe i eksperimental'noe issledovanie okhlazhdeniya ograzhdayushchey konstruksii posle vyklyucheniya otopeniya [Numerical and Experimental Investigation of the Cooling of Building Envelopes after Turning off the Heating System]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 7, pp. 312—318. (In Russian)

9. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O trebovaniyakh k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy» [About Requirements to the Thermal Performance and Energy Efficiency in the Project of Actualized SNiP "Thermal Performance Of The Buildings"]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 7, pp. 59—66. (In Russian)

10. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Kolichestvennaya otsenka energoeffektivnosti energosberegayushchikh meropriyatiy [Quantitative Estimation of the Energy Efficiency of Energy Saving Measures]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013, no. 6, pp. 7—9. (In Russian)

11. SP 50.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02—2003 «Teplovaya zashchita zdaniy» [Requirements SP 50.13330.2012. Revised Edition of SNiP 23-02—2003 "Thermal Insulation of Buildings"]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012, 100 p. (In Russian)

12. Perekhozhentsev A.G., Gruzdo I.Yu. Issledovanie diffuzii vlagi v poristykh stroitel'nykh materialakh [Investigation of Moisture Diffusion in Porous Construction Materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universitetata. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Internet-Vestnik VolgASU. Series: Architecture and Construction]. 2014, no. 35 (54), pp. 116—120. (In Russian)

13. Kornienko S.V. Temperaturno-vlazhnostnyy rezhim i teplozashchitnye svoystva ograzhdayushchikh konstruksiy s kraevymi zonami [Temperature and Moisture Mode and Thermal Insulation Properties of the Enveloping Structures with Boundary Zones]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universitetata. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Internet-Vestnik VolgASU. Series: Architecture and Construction]. 2014, no. 35 (54), pp. 62—69. (In Russian)

14. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Matematicheskaya model' i inzhenernyy metod rascheta vlazhnostnogo sostoyaniya ograzhdayushchikh konstruksiy [Mathematical Model and Engineering Calculation Method of the Moisture State of Enveloping Structures]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction]. 2006, no. 2, pp. 60—63. (In Russian)

15. Levchenko V.N., Grinfel'd G.I. Proizvodstvo avtoklavnogo gazobetona v Rossii: perspektivy razvitiya podotrasli [Production of Autoclaved Aerated Concrete in Russia: Subindustry Development Prospects]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2011, no. 9, pp. 44—47. (In Russian)

16. Grinfel'd G.I., Morozov S.A., Sogomonyan I.A., Zyryanov P.S. Vlazhnostnoe sostoyanie sovremennykh konstruksiy iz avtoklavnogo gazobetona v usloviyakh ekspluatatsii [Moisture State of Modern Constructions Made of Autoclave Aerated Concrete in Operation Conditions]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2011, no. 2 (20), pp. 33—38. (In Russian)

17. Semchenkov A.S., Ukhova T.A., Sakharov G.P. O korrektyrovke ravnovesnoy vlazhnosti i teploprovodnosti yacheistogo betona [On the Adjustment of Equilibrium Moisture and Thermal Conductivity of the Aerated Concrete]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2006, no. 6, pp. 3—7. (In Russian)

18. Schoch T., Kreft O. The Influence of Moisture on the Thermal Conductivity of AAC. 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete "Securing a Sustainable Future": Bydgoszcz, Poland, September, 14—17, 2011, pp. 361—370.

19. Babkov V.V., Kuznetsov D.V., Gaysin A.M., Rezvov O.A., Samofeev N.S., Morozova E.V. Problemy ekspluatatsionnoy nadezhnosti naruzhnykh sten zdaniy na osnove avtoklavnykh gazobetonnykh blokov i vozmozhnosti ikh zashchity ot uvlazhneniya [Problems of Operational Reliability of Inner Walls of Buildings Based on Autoclaved Aerated Concrete Blocks and Possibilities of Their Protection from Moisture]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2010, no. 8 (18), pp. 28—31. (In Russian)

20. Vasil'ev B.F. *Naturnye issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima zhi-lykh zdaniy* [Field Studies of Temperature and Moisture Mode of Living Buildings]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1957, 214 p. (In Russian)

21. *Rukovodstvo po raschetu vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [Guidance on Moisture Mode Calculation of Enveloping Structures of Building]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984, 168 p. (In Russian)

22. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M., Korotkikh D.N., Kukhtin Yu.A. Sravnitel'nye ekspluatatsionnye teplozashchitnye kharakteristiki odno- i dvukhsloynnykh stenovykh gazo-silikatnykh konstruksiy [Comparative Operational Thermal Insulation Properties of One- and Two-Wall Gas Silicate Structures]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2007, no. 4, pp. 13—15. (In Russian)

23. Bedov A.I., Babkov V.V., Gabitov A.I., Gaysin A.M., Rezvov O.A., Kuznetsov D.V., Gafurova Je.A., Sinicin D.A. Konstruktivnye resheniya i osobennosti rascheta teplozaschity naruzhnykh sten zdaniy na osnove avtoklavnykh gazobetonnykh blokov [Structural Solutions and Special Features of the Thermal Protection Analysis of Exterior Walls of Buildings Made of Autoclaved Gas-Concrete Blocks]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 2, pp. 98—103. (In Russian)

About the authors: **Pastushkov Pavel Pavlovich** — Candidate of Technical Sciences, senior research worker, **Research Institute for Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**, 21 Lokomotivnyy proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; pavel-one@mail.ru; +7 (495) 482-40-58;

Grinfel'd Gleb Iosifovich — Executive Director, **National Association of Autoclaved Aerated Concrete Producers (NAAG)**, 40 Oktyabr'skaya naberezhnaya, litera A, St. Petersburg, 193091, Russian Federation; greenfeld@mail.ru;

Pavlenko Natal'ya Viktorovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, senior engineer, Research Institute of Mechanics, **Moscow State Lomonosov University (Institute of Mechanics, MSU)**, 1 Michurinskiy Prospekt, Moscow, 119192, Russian Federation; +7 (495) 939-52-82; 9103638838@mail.ru;

Bespalov Aleksey Evgen'evich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Soil Mechanics and Geotechnics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (499) 183-34-38 (ext. 14-29); mgroif_bespalov@bk.ru;

Korkina Elena Vladimirovna — research worker, **Research Institute for Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**, 21 Lokomotivnyy proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; +7 (495) 482-40-58; elena.v.korkina@gmail.com.

For citation: Pastushkov P.P., Grinfel'd G.I., Pavlenko N.V., Bespalov A.E., Korkina E.V. Raschetnoe opredelenie ekspluatatsionnoy vlazhnosti avtoklavnogo gazobetona v razlichnykh klimaticheskikh zonakh stroitel'stva [Settlement Determination of Operating Moisture of Autoclaved Aerated Concrete in Different Climatic Zones]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 2, pp. 60—69. (In Russian)