

УДК

С.Д. ЛАПОВСКАЯ¹, д-р техн. наук; О.В. СИРОТИН², инженер, Г.И. ГРИНФЕЛЬД³, инженер (greenfeld@mail.ru)¹ Украинский Научно-исследовательский институт строительных материалов и изделий (Украина, 04071, г. Киев, ул. Константиновская, 68)² Всеукраинская ассоциация производителей автоклавного газобетона (Украина, 01001, г. Киев, ул. Бориса Гринченко, 7)³ Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона (193091, Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 40, литера А)

Экспериментальное определение скорости выхода начальной влаги из кладки из автоклавного газобетона в климатических условиях г. Киева

Представлены результаты замеров влажности кладки из стеновых блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения марок по средней плотности D300, D400, D500, D600 толщиной 300 мм в начальный период эксплуатации в климатических условиях г. Киева. Проведено натурное исследование кинетики влагопереноса в однослойных ограждающих конструкциях из автоклавного ячеистого бетона и определены сроки снижения влажности стен от начальной до равновесной (эксплуатационной). В процессе эксперимента контролировались температура и влажность внутреннего воздуха ограждаемого экспериментальными конструкциями помещения и фактические значения среднемесячных температуры и влажности воздуха в г. Киеве в период с ноября 2011 по август 2013 г. Сделан вывод о возможности снижения расчетной влажности автоклавного ячеистого бетона в ДБН «Тепловая защита зданий».

Ключевые слова: начальная влага, кладка, автоклавный газобетон, однослойные ограждающие конструкции.

С.Д. ЛАПОВСКАЯ¹, д-р техн. наук; СИРОТИН² О.В., инженер, ГРИНФЕЛЬД³ Г.И., инженер (greenfeld@mail.ru)¹ Украинский Научно-исследовательский институт строительных материалов и изделий (Украина, 04071, г. Киев, ул. Константиновская, 68)² Всеукраинская ассоциация производителей автоклавного газобетона (Украина, 01001, г. Киев, ул. Бориса Гринченко, 7)³ Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона (193091, Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 40, литера А)

Экспериментальное определение скорости выхода начальной влаги из кладки из автоклавного газобетона в климатических условиях г. Киева

Представлены результаты замеров влажности кладки из стеновых блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения марок по средней плотности D300, D400, D500, D600 толщиной 300 мм в начальный период эксплуатации в климатических условиях г. Киева. Проведено натурное исследование кинетики влагопереноса в однослойных ограждающих конструкциях из автоклавного ячеистого бетона и определены сроки снижения влажности стен от начальной до равновесной (эксплуатационной). В процессе эксперимента контролировались температура и влажность внутреннего воздуха ограждаемого экспериментальными конструкциями помещения и фактические значения среднемесячных температуры и влажности воздуха в г. Киеве в период с ноября 2011 по август 2013 г. Сделан вывод о возможности снижения расчетной влажности автоклавного ячеистого бетона в ДБН «Тепловая защита зданий».

Keywords: начальная влага, кладка, автоклавный газобетон, однослойные ограждающие конструкции.

Начальный период эксплуатации каменной кладки характеризуется повышенным содержанием в ней влаги. Это свойство универсально для любой кладки и описано в работах первой половины XX в. [1]. Технологическая влага привносится в кладку как камнями, так и кладочными растворами. Строительная — попадает при хранении материалов и производстве работ. Мокрые отделочные работы дополнительно увлажняют стеновую конструкцию.

Ячеистые бетоны автоклавного твердения сразу после автоклавирования имеют влажность более 30%. Ячеистые бетоны пониженной плотности на выходе из автоклавов имеют влажность около 40 мас. %. Оказавшись в стене, ячеистобетонные блоки начинают интенсивную влагоотдачу. Кинетика выхода конструкций из автоклавных ячеистых бетонов на квазистационарный влажностный режим изучалась как в 1970–80-х гг. [2–4], так и в наше время [5–8]. Рассмотренные работы показывают, что снижение средней плотности и увеличение толщины ячеистобетонных конструкций за 40 лет привело к заметному снижению влажности бетона в стене. Важность изучения кинетики влагосодержания в начальный период эксплуатации показана в работе [9], расчетная методика, применимая для оценки влажности кладки из автоклавного газобетона [10] была разработана уже после завершения описываемой нами работы и хорошо согласуется с ее результатами.

Одной из практических задач эксперимента стало обоснование корректировки ряда нормативных документов Украины (ДСТУ на ячеистые бетоны и ДБН по проектированию тепловой защиты).

В соответствии с разработанным календарным планом выполнения научно-исследовательской работы ГП «НИИСМИ» (г. Киев) проводились исследования влажностного состояния ограждающих конструкций из ячеистого бетона автоклавного твердения, выполненных в оконных проемах лабораторного помещения ГП «НИИСМИ». Для проведения долгосрочных натурных испытаний влажностного состояния ячеистого бетона на первом этаже института в лабораторном помещении в оконных проемах северо-западной ориентации выполнены фрагменты стеновых конструкций с использованием блоков марок средней плотности D300, D400, D500 и D600 с размерами 600×200×300 мм. В установленные сроки (1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 мес с даты окончания кладочных и отделочных работ) выполнен отбор кернов ячеистого бетона. Отобранные керны были распилены на цилиндры высотой 50 мм и промаркированы в зависимости от глубины залегания. С цилиндров, примыкающих к наружной и внутренней поверхностям кладки был удален штукатурный слой. Отверстие, остающееся после выемки керна, заполнялось заранее приготовленным керном из газобетона соответствующей плотности. Образцы взвешивались с точностью до 0,001 г и высушивались до постоянной

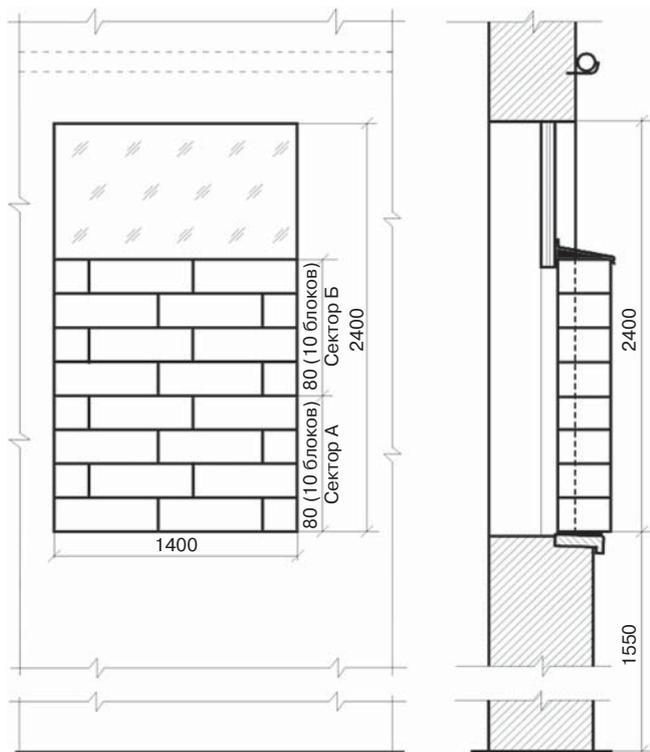


Рис. 1. Схема исследуемых фрагментов стеновых ограждений из ячеистого бетона

массы в вентилируемом сушильном шкафу при температуре 105°C.

На основании полученных данных согласно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 было рассчитано содержание w_m влаги в отдельных слоях ограждающей конструкции из ячеистого бетона по формуле (в мас. %):

$$w_m = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%$$

где m – масса влажного образца, m_0 – масса образца, высушенного до постоянной массы.

В период всего срока испытаний фиксировалось значения температуры и влажности в середине лабораторного помещения, а также температуры и влажности наружного воздуха (по данным Интернет-ресурса <http://www.meteorprog.ua>).

Характеристики исследуемого газобетона представлены в табл. 1.

С целью моделирования наиболее неблагоприятных условий перед обустройством фрагментов стеновых ограждений блоки марок по средней плотности D500 и D600 были дополнительно увлажнены до влажности 40 мас. %.

Кладка фрагментов стеновых ограждений выполняли на растворе для тонкошовной кладки. В процессе выполнения фрагменты были тщательно изолированы от конструкции оконных проемов и друг от друга.



Рис. 2. Исследуемые фрагменты кладки

Схема выполненных фрагментов стеновых ограждений приведена на рис. 1, внешний вид до оштукатуривания на рис. 2. Для изготовления каждого фрагмента было использовано по 10 блоков каждой марки по средней плотности.

После кладки блоков на фрагменты стеновых ограждений был нанесен штукатурный слой на основе сухой строительной смеси. Толщина слоя штукатурки внутренней отделки составила 3 мм, наружной – 5 мм. По своим характеристикам штукатурка гидрофобная, имеет коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15$ мг/(м·час·Па), повышенную трещиностойкость и морозостойкость F50.

Лабораторное помещение, предназначенное для проведения долгосрочных натуральных испытаний, представляет собой рабочую комнату, температура в которой в отопительный период поддерживается на уровне 16°C, относительная влажность составляет 55–65%. Высота оконных проемов составляет 2400 мм, ширина – 1400 мм.

Конструктивные особенности проемов позволили относительно легко выполнить монтаж фрагментов кладки и обеспечили возможность сравнения теплозащитных свойств и влажностного состояния разных фрагментов, которые были исследованы одновременно в одинаковых условиях до наступления квазистационарного влажностного режима, который характеризует величину эксплуатационной влажности.

При проведении натурального испытания наружных ограждающих конструкций из ячеистого бетона определено значение фактической влажности газобетона в начальный период эксплуатации и изменение ее во времени.

Закономерности кинетики влажностного состояния ячеистых бетонов при взаимодействии с окружающей средой есть функция характеристик материала и параметров среды. В результате проведенных натуральных испытаний получены кривые распределения влажности по толще стены в зависимости от марки по плотности ячеистого бетона. Согласно календарному плану работ, период испытаний составил 21 мес.

Распределение влаги по толщине стены для каждой из плотностей в начальный период и по окончании испытаний приведены на рис. 3 и 4.

Общее влагосодержание для каждого из стеновых фрагментов в ходе испытаний в разные периоды времени показаны в табл. 2 и на рис. 5.

Таблица 1

Размер изделия	Класс бетона по прочности при сжатии	Марка бетона по средней плотности	Марка по морозостойкости	Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м·К)	Послеавтоклавная влажность, мас. %
300×200×600	B1,5	D300	F35	0,08	42,1
300×200×600	B2	D400	F100	0,1	40,8
300×200×600	B2	D500	F100	0,12	35
200×288×600	B2	D600	F100	0,13	34,5

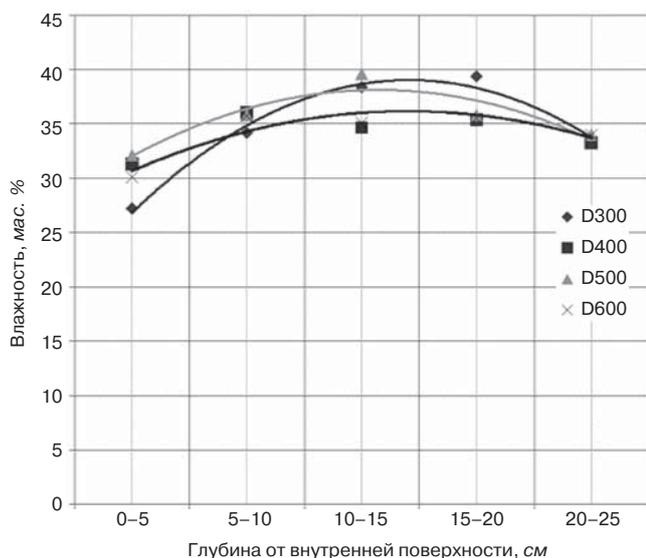


Рис. 3. Распределение влажности бетона по толщине стены после ее возведения (начальный период)

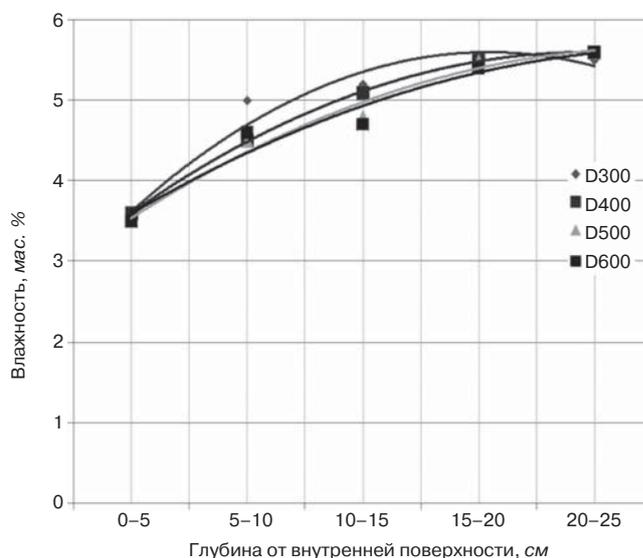


Рис. 4. Распределение влажности бетона в толще стены через 21 мес после ее возведения (после окончания испытаний)

Таблица 2

Средняя по толщине кладки влажность стеновых фрагментов, параметры наружного и внутреннего воздуха в ходе испытаний

Период	2011		2012												2013								
	ноя	дек	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	
Возраст кладки, мес.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
D300	34,5	30,22	30,4	27,9			19,7			12,6			10,6			9,14			6,8			4,91	
D400	34,1	31,3	31,64	31,6			23,6			17,9			14,7			14,22			9,5			4,86	
D500	35,46	32,8	30,86	30,4			22,1			15,8			16,9			15,68			10,8			4,78	
D600	34,2	30,62	31,32	28,1			20,1			18,3			15,5			14,3			11			4,76	
Парам. нар. возд.	T, °C	-1	5	-5	-12	2	11	23	23	28	24	22	17	7	1	-2	1	3	17	24	22	24	27
	ψ, %	89	95	86	78	91	94	87	81	82	86	86	87	93	95	87	80	83	96	85	84	80	76
Парам. внутр. возд.	T, °C	16	16	16	16	16	17	20	22	22	22	21	19	16	17	16	16	17	20	22	22	22	22
	ψ, %	62	63	62	63	63	56	62	63	63	63	62	63	63	57	57	63	63	63	63	63	62	62

Влажность бетона в толще стены в начальный период распределена в сечении ячеистого бетона достаточно равномерно, с некоторым снижением от середины до наружной (20–25 см) и внутренней (0–5 см) поверхности стены.

Полученные результаты влажности бетона в толще стены принимаются за начальные данные и относительно них в дальнейшем проводятся исследования интенсивности снижения влажности стеновой конструкции.

Через 21 мес эксплуатации средняя влажность ячеистого бетона стены составила:

- фрагмент № 1 D300 4,91%;
- фрагмент № 2 D400 4,86%;
- фрагмент № 3 D500 4,78%;
- фрагмент № 4 D600 4,76%.

В результате проведенных исследований определена скорость снижения влажности ячеистого бетона стены от начальной (40 мас. %) до равновесной. Исследовано изменение влажности бетона при эксплуатации однослойных ограждающих конструкций с наружной и внутренней тонкослойной минеральной штукатуркой.

За первые три месяца эксплуатации (декабрь, январь, февраль) стеновой конструкции выявляется интенсивное высыхание внутренней поверхности стены на глубине до 5–10 см.

Скорость снижения влажности ячеистого бетона стены значительно увеличивается и происходит по всей толще стены в весенний, летний и осенний период эксплуатации (с 3 по 12 мес). Внутренние слои бетона теряют в этот промежуток времени влажность на уровне 30–60%. А бетон марки D300 до 70%.

В зимние месяцы (с 12 по 15 мес) наблюдается значительное замедление высыхания. Внутренняя часть кладки (на глубине 0–15 см) теряет влажность лишь на 2–4%, в наружных слоях влажность увеличивается.

За следующие шесть месяцев весенне-летнего периода (с 15 по 21 мес) влажность бетона однослойной ограждающей конструкции из мелких блоков ячеистого бетона снизилась до значений, не превышающих 5%: для марки D300 – 4,91%; D400 – 4,86%; D500 – 4,78%; D600 – 4,76%.

Выводы. Анализ исследования влажности фрагментов стены показал, что влажность по массе ячеистого бетона изменяется как по величине так и по характеру распределения в сечении стены. В первый зимний период эксплуатации кладки (1, 2 и 3 мес) ее высыхание происходило внутрь, в 10–15 см слое стены со стороны отапливаемого помещения. Влажность наружных слоев наоборот, несколько возрастала. С 6-го мес эксплуатации, при повышении температуры окружающей среды, вы-

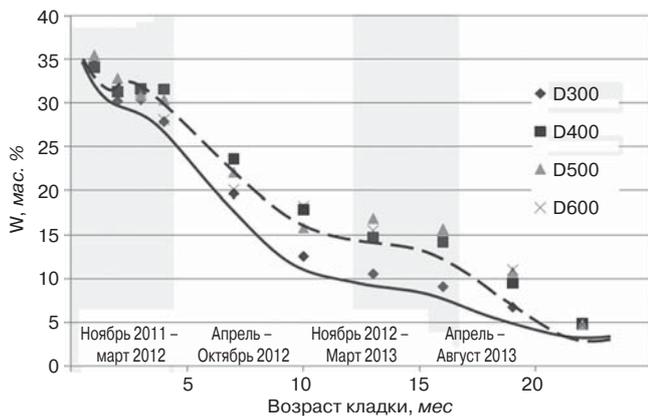


Рис. 5. Среднее влажностное содержание исследуемых фрагментов кладки в разном возрасте

сыхание в наружных слоях кладки ускорилось и дальнейший влагоперенос осуществлялся интенсивно в обоих направлениях от центра стены к ее поверхностям.

Полученные экспериментальные данные по кинетике влажностного содержания кладки в начальный период эксплуатации позволяют обосновать:

- рекомендации по установлению расчетных характеристик ячеистых бетонов при проектировании конструкций из них;
- рекомендации к рациональному применению ячеистого бетона в конструкциях;
- предложения по уточнению теплофизических показателей стен из ячеистого бетона, в том числе для определения конструкции внешних стен в условиях обеспечения нормативного термического сопротивления для реального диапазона годовой динамики эксплуатационного влажностного содержания материала;
- исключение из нормативов требований к значению отпускной влажности бетона.

Список литературы

1. Васильев Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957. 215 с.
2. Гаевой А.Ф., Качура Б.А. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона. Харьков: Вища школа, 1978. 224 с.
3. Автоклавный ячеистый бетон: Пер. с англ./ Ред. совет: Г. Бове (пред.) и др. М.: Стройиздат, 1981. 88 с.
4. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
5. Семченков А.С., Ухова Т.А., Сахаров Г.П. О корректировке равновесной влажности и теплопроводности ячеистого бетона // *Строительные материалы*. 2006. № 6. С. 3–7.
6. Гринфельд Г.И., Куптараева 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.
7. 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.
8. 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. 2011. September, 14–17, pp. 361–370.

9. Крутилин А.Б., Рыхленок Ю. А., Лешкевич В.В. Теплофизические характеристики автоклавных ячеистых бетонов низких плотностей и их влияние на долговечность наружных стен зданий // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 2 (54). С. 46–55.
10. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.
11. 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.

References

1. Vasil'ev B.F. *Naturnye issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima zhilykh zdaniy* [Field investigations of temperature and humidity conditions of residential buildings]. Moscow: State Publishing House of Literature on construction and architecture. 1957. 215 p.
2. Gaevoy A.F., Kachura B.A. *Kachestvo i dolgovechnost' ograzhdayushchikh konstruktssii iz yacheistogo betona* [The quality and durability of the frame structures of cellular concrete]. Kharkov: Vishcha shkola. 1978. 224 p.
3. *Avtoklavnyi yacheisty beton* [Autoclaved aerated concrete]. Trans. from English / Ed. Board: G. Bove and others. Moscow: Stroyizdat. 1981. 88 p.
4. Silaenkov E.S. *Dolgovechnost' izdelii iz yacheistyx betonov*. [Durability of products from cellular concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 176 p.
5. Semchenkov A.S., Ukhova T.A., Sakharov G.P. On the adjustment of the equilibrium moisture content and thermal conductivity of aerated concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials] 2006. No. 6, pp. 3–7. (In Russian).
6. Grinfel'd G.I., Kuptaraeva P.D. Autoclaved aerated concrete masonry with external insulation. Features of moisture conditions during the initial period of operation. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2011. No. 8 (26), pp. 41–50. (In Russian).
7. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M., Korotkikh D.N., Kukhtin Yu.A. Comparative performance heat-shielding characteristics of one- and two-layer silicate wall constructions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 4, pp. 13–15. (In Russian).
8. 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. 2011. September, 14–17, pp. 361–370.
9. Krutinin A.B., Rykhlenok Yu. A., Leshkevich V.V. Thermal characteristics of autoclaved aerated concrete of low densities and their impact on the durability of the exterior walls of buildings. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2015. No. 2 (54), pp. 46–55. (In Russian).
10. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Quantitative assessment of energy efficiency of energy saving measures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).
11. Pastushkov P.P., Grinfel'd G.I., Pavlenko N.V., Bespalov A.E., Korkina E.V. Calculated certain operating humidity of AAC in different climatic zones of construction. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 2, pp. 60–69. (In Russian).