

DOI: 10.34031/article_5ce292c52da5c9.83158267

^{1,*}Шорстов Р.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

*E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕЦЕПТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

Аннотация. В статье рассмотрена возможность регулирования за счет изменения количества алюминиевой пасты, температуры воды затворения и бортов формы сроков вспучивания формовочной смеси автоклавного газобетона и достижения заданной максимальной температуры массива, от которой зависит характер поровой структуры и физико-механические свойства изделий. С использованием метода математического планирования эксперимента получены математические модели оптимизации физико-механических свойств автоклавного газобетона за счет регулирования технологических и рецептурных параметров. Установлено, что оптимальными параметрами являются температура воды затворения 40...45 °С, количество алюминиевой пасты – 0,6 % от массы вяжущего, температура бортов формы 85...90 °С, при которых создаются благоприятные условия для вспучивания газобетонной смеси и совмещения во времени процессов порообразования и набора структурной прочности массива, позволяющие получить оптимальную пористую структуру с более мелкой и равномерной пористостью при достаточно низкой плотности и высокой прочности.

Ключевые слова: газобетон, температура воды затворения, температура бортов формы, процесс поризации, газообразователь.

Введение. Свойства газобетона зависят от качества применяемых сырьевых материалов и правильно установленного и подобранного режима изготовления. Из-за неправильно подобранных компонентов, их количества или технологических параметров могут появляться различного рода дефекты, такие как трещины и разрывы, возникающие в процессе реакции вспучивания массива из-за несоответствия скорости роста объема массива и твердения, чрезмерного давления водяного пара и водорода внутри массива при высокой вязкости смеси или высокой скорости процесса роста объема массива при повышенной скорости набора сырьевой прочности газобетона, что может быть обусловлено повышенным содержанием в смеси извести, цемента или обратного шлама, использованием слишком тонкодисперсной и активной алюминиевой пасты, слабообожженной извести, тонкомолотого сырья, цемента с добавками, высокой температурой заливки смеси, повышенной вязкостью смеси из-за низкого водотвердого отношения смеси или высокой прочностью поверхностного натяжения пленки воды в бетонной смеси [1–6].

Прочность газобетона является обратной функции средней плотности, которая напрямую зависит от пористости, характер которой также зависит от многих параметров. Например, при использовании быстрогасящейся извести структура ячеистого бетона неравномерная, поры сообщающиеся и большого диаметра, поэтому необходимо применение замедлителей ее гашения, а при очень тонком помолу кремнеземистого компонента и при уменьшении В/Т в ячеистом бетоне образуется большое количество пор малого диаметра [7].

Основная часть. С целью изучения влияния температуры воды затворения на разогрев и вспучивание формовочной смеси и свойства автоклавного газобетона образцы формовали в формах размерами 100×100×300 мм. В качестве сырьевых материалов применяли портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н (г. Старый Оскол), известь воздушную кальциевую негашеную производства ОАО «Цех обжига извести» (г. Старый Оскол) и кварцевый песок (Белгородская обл.), природный гипс, химический состав которых приведен в табл. 1, и пасту алюминиевую производства фирмы ECKART, Германия.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов, мас. %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	CaO _{св}	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	ппп
Портландцемент	22,49	4,77	4,40	67,22	0,44	2,45	0,62	0,35	–	–	–	–	0,23
Известь	3,17	0,99	0,17	80,92	1,42	1,03	0,56	–	–	–	–	–	11,56
Гипс	0,6	0,64	0,08	38,56	1,01	52,85	–	–	–	–	–	–	6,67
Песок кварцевый	94,9	3,46	0,284	0,282	0,064	–	–	–	0,107	0,28	0,159	0,046	–

Начальную температуру формовочной смеси регулировали, меняя температуру воды затворения от 30 до 60 °С. При использовании воды с температурой 30 °С температура формовочной смеси низкая, вследствие чего вспучивание происходит медленно (рис. 1). Так при температуре воды затворения 30 °С формовочная смесь начинает вспучиваться только на 6 мин, в то время как при температурах 35 °С и 60 °С вспучивание начинается уже на 3 мин. Максимальная температура массива 91 °С достигается соответственно за 9 мин при температуре воды затворения 60 °С, однако такой быстрый процесс вспучивания приводит к разрыву газовых пор и созданию рваной ячеистой структуры с неравномерными, боль-

шого диаметра сообщающимися порами, что неблагоприятно сказывается на таких свойствах как прочность и теплопроводность (рис. 1). Оптимальной температурой воды затворения, при которой создаются благоприятные условия для вспучивания газобетонной смеси, получения оптимальной пористой структуры с более мелкой и равномерной пористостью при высокой прочности является температура равная 45 °С, при которой смесь начинает вспучиваться уже через 3 мин, а максимальная температура формовочной смеси 72 °С достигается только через 12 мин, что позволяет совместить во времени процессы порообразования и набора структурной прочности массива.

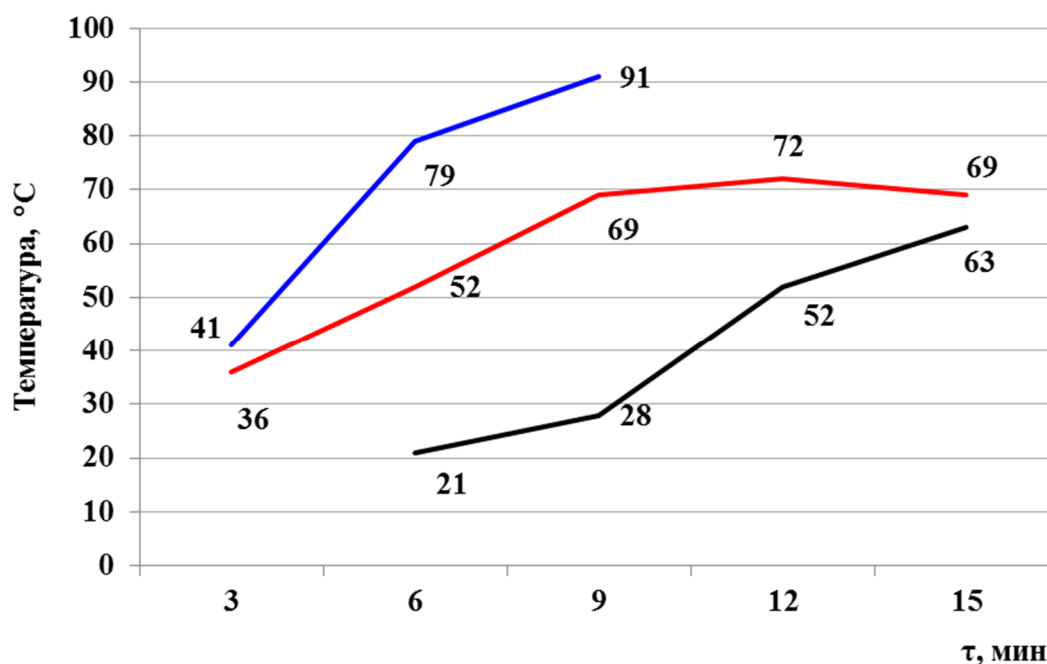


Рис. 1. Влияние температуры воды затворения на разогрев массива газосиликата:
— 30° — 45° — 60°

На температуру газобетонной смеси в форме может влиять также и температура самой формы, повышая температуру смеси у бортов, при этом чем дальше от формы, тем меньшее влияние будет оказывать температура формы на температуру смеси. Вследствие чего у бортов формы за счет более высокой температуры процесс порообразования будет идти более активно, а чем дальше вглубь массива, тем меньше, что будет способствовать созданию вариативной структуры газобетона за счет плавного перехода плотности от меньшей к большей от бортов формы вглубь массива.

Также на плотность газобетона при прочих равных условиях влияет и расход газообразователя, в данном случае алюминиевой пасты, но слишком большое количество газообразователя может привести к слишком быстрому вспучива-

нию, вследствие чего произойдет прорывание газовых пор и создание рваной ячеистой структуры, что также негативно скажется на свойствах изделия.

Для изучения совместного влияния этих факторов на свойства газобетона были проведены исследования с использованием метода математического планирования эксперимента [8]. В качестве варьируемых независимых технологических факторов были выбраны: температура воды затворения (X_1); количество алюминиевой пасты (X_2) и температура бортов формы (X_3). В качестве контролируемых параметров были выбраны: средняя плотность ($\rho_{ср}$) и прочность газобетона ($R_{сж}$). Выбранные технологические факторы были исследованы в пределах, указанных в табл. 2. Факторы, не вошедшие в план эксперимента, приняты постоянными.

Таблица 2

Условия планирования эксперимента

Фактор		Уровень варьирования			Интервал варьирования
натуральный вид	кодированный вид	- 1	0	+1	
Температура воды затворения, °С	X_1	30	45	60	15
А1 паста, % от массы вяжущего	X_2	0,4	0,6	0,8	0,2
Температура бортов формы, °С	X_3	50	70	90	20

Эксперимент проведен по трехуровневому плану и результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Матрица планирования и экспериментальные данные

№ точки плана	Фактор			$\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	$R_{\text{сж}}$, МПа
	X_1	X_2	X_3		
1	+1	+1	+1	580	1,7
2	+1	+1	-1	420	2,1
3	+1	-1	+1	540	2,1
4	+1	-1	-1	540	4,4
5	-1	+1	+1	450	2,2
6	-1	+1	-1	540	5,1
7	-1	-1	+1	720	7,3
8	-1	-1	-1	870	6,5
9	+1	0	0	380	4,2
10	-1	0	0	480	3,4
11	0	+1	0	390	3,1
12	0	-1	0	580	4,2
13	0	0	+1	407	4,4
14	0	0	-1	480	3,47
15	0	0	0	530	3,51
16	0	0	0	565	3,47
17	0	0	0	570	3,41

– для средней плотности

$$Y_1 = 481,026 - 60 \cdot X_1 - 87 \cdot X_2 - 15,3 \cdot X_3 + 6,26 \cdot X_1^2 + 61,26 \cdot X_2^2 + 19,76 \cdot X_3^2 + 65 \cdot X_1 \cdot X_2 + 50 \cdot X_1 \cdot X_3 + 27,5 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

– для прочности на сжатие

$$Y_2 = 3,59 - 1,0 \cdot X_1 - 1,03 \cdot X_2 - 0,387 \cdot X_3 + 0,123 \cdot X_1^2 - 0,027 \cdot X_2^2 + 0,258 \cdot X_3^2 + 0,475 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,075 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,225 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

$$\text{где } X_1 = \frac{t_{\text{смеси}} - 0,45}{0,1}, X_2 = \frac{A1_{\text{паста}} - 0,6}{0,2}, X_3 = \frac{t_{\text{формы}} - 10}{10}.$$

Комплексное представление о влиянии исследуемых факторов на среднюю плотность и прочность на сжатие получено с помощью построенных номограмм (рис. 2).

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что физико-механические свойства зависят не только от вида сырьевых компонентов, их качества и количества, но и от многих других параметров, в частности температуры воды затворения и бортов формы. Так при низкой

температуре воды затворения (45 °С) и при температуре массива (70...75 °С) процесс вспучивания происходит медленно, что позволяет создавать более равномерную макроструктуру с более мелкой и равномерной пористостью при достаточно низкой плотности и высокой прочности, чем при быстром вспучивании. А при температуре воды затворения (60 °С) и температуре массива 95...100 °С прочность газобетона снижа-

ется, это объясняется тем, что с повышением температуры вяжущее гидратирует и связывается очень быстро, а водород, выделяющийся в ходе процесса газообразования, начинает частично разрушать уже сформированную затвердевающую макроструктуру, которая к тому же разрушается парами, создающимися при высокой температуре формовочной смеси, и образовавшиеся сообщающиеся поры и микротрещины уменьшают прочность массива.

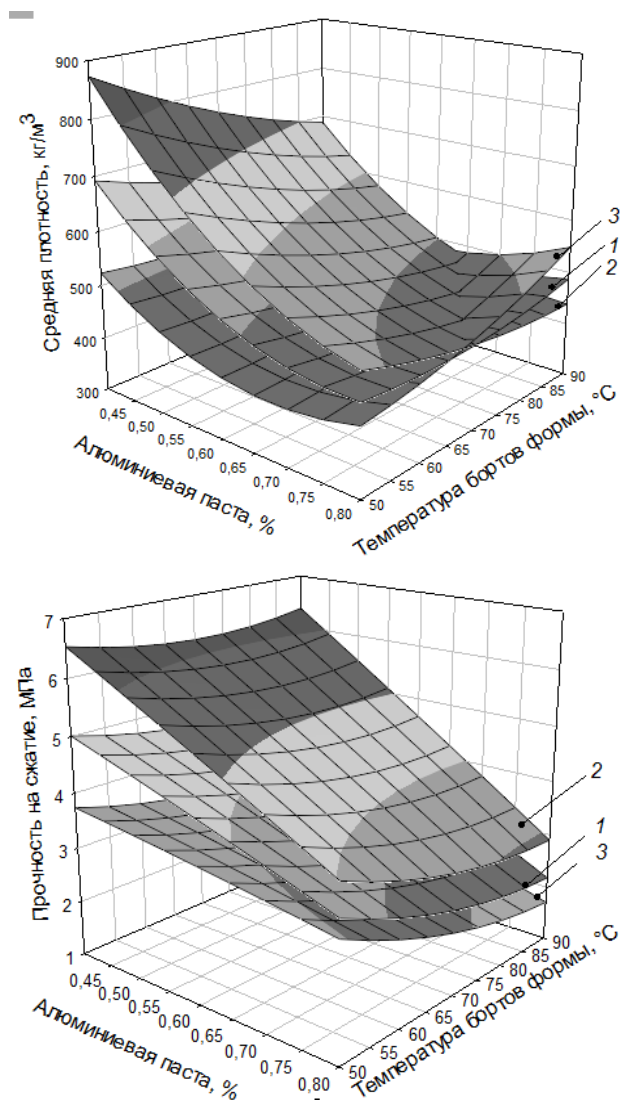


Рис. 2. Зависимости средней плотности и прочности на сжатие автоклавного газобетона от температуры воды затворения и бортов формы и количества алюминиевой пасты:

- 1 – температура воды затворения = 30 °С; 2 – температура воды затворения = 45 °С; 3 – температура воды затворения = 60 °С

Выводы. С целью сокращения сроков технологических операций и улучшения физико-механических свойств газобетона за счет создания оптимальных условий для вспучивания массива

и формирования оптимальной поровой структуры рекомендуется температуру воды затворения регулировать в интервале 40...45 °С, количество алюминиевой пасты – 0,6 % от массы вяжущего, а температуру бортов формы 85...90 °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кафтаева М.В., Рахимбаев Ш.М. Обоснование технологии производства энергоэффективных автоклавных силикатных газобетонов. Белгород, 2015. 258 с.
2. Лаукайтис А.А. Прогнозирование некоторых свойств ячеистого бетона низкой плотности. 2001. №4. С. 27–29.
3. Лаукайтис А.А. Влияние температуры воды на разогрев формовочной смеси и свойства ячеистого бетона // Строительные материалы. 2002. №2. С. 37–39.
4. Гаджилы Р.А. Целенаправленное изменение пористой структуры строительных материалов // Строительные материалы. 2001. №8. С. 41–43.
5. Кара К.А., Шорстов Р.А., Сулейманов К.А., Воронов В.В. Реология газобетонных смесей на композиционных вяжущих с использованием техногенных песков // В сборнике: Научные технологии и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 169–175.
6. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Коломацкая С.А., Шорстов Р.А., Сулейманов К.А. Стадии роста газовых пор в ячеистобетонных смесях // В сборнике: Эффективные строительные композиты Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 611–614.
7. Биховских А.Е. Исследование технологических факторов формирования технологических свойств газосиликата для промышленного термоизоляции труб бесканальных тепловых сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Каунас, 1967.
8. Сулейманова Л.А. Компьютерное моделирование технолого-экономических задач: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов специальности 270106 – Производство строительных материалов, изделий и конструкций. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 56 с.

Информация об авторах

Шорстов Роман Александрович, аспирант. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Поступила в марте 2019 г.

© Шорстов Р.А., 2019

^{1,*} **Shorstov R.A.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

REGULATION OF PROCESS AND RECIPE PARAMETERS ON THE BASIS OF MODELING PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

Abstract. The article discusses the possibility of regulation by changing the amount of aluminum paste, the temperature of the mixing water and the sides of mold for the expansion of molding sand of autoclaved aerated concrete. Also, the achievement of a given maximum temperature of the array, which determines the nature of the pore structure and physico-mechanical properties of products. Mathematical models for optimizing the physicomechanical properties of autoclaved aerated concrete by regulating technological and prescription parameters are obtained using the method of mathematical planning of an experiment. It is established, optimal parameters are the mixing water temperature of 40 ... 45 ° C, the amount of aluminum paste - 0.6% of the binder mass, the temperature of the sides of the form 85 ... 90 ° C, which creates favorable conditions for the expansion of the gas-concrete mixture and the combination of pore formation and set-up structural strength of the array, allowing to obtain an optimal porous structure with smaller and uniform porosity with a sufficiently low density and high strength.

Keywords: aerated concrete, temperature of the mixing water, temperature of the sides of the mold, the process of porisation, the gasifier.

REFERENCES

1. Kaftaeva M.V., Rakhimbaev S.M. Substantiation of the technology of manufacturing energy-efficient autoclaved sand-lime aerated concrete [*Obosnovanie tekhnologii proizvodstva energoeffektivnykh avtoklavnykh silikatnykh gazobetonov*]. Belgorod. 2015. 258 p. (rus)
2. Laukaitis A.A. Prediction of some properties of cellular concrete of low density [*Prognozirovanie nekotorykh svoystv yacheistogo betona nizkoj plotnosti*]. 2001. No. Pp. 27–29. (rus)
3. Laukaitis A.A. The influence of water temperature on the heating of the molding mixture and the properties of cellular concrete [*Vliyanie temperatury vody na razogrev formovochnoj smesi i svoystva yacheistogo betona*]. Building materials. 2002. No. 2. Pp. 37–39. (rus)
4. Gadzhily R.A. Purposeful change of porous structure of building materials [*Celenapravlennoe izmenenie poristoy struktury stroitel'nykh materialov*]. Building materials. 2001. No. 8. Pp.41–43. (rus)
5. Kara K.A., Shorstov R.A., Suleymanov K.A., Voronov V.V. Rheology of concrete mixtures on composite binders with the use of man-made sand [*Reologiya gazobetonnykh smesey na kompozicionnykh vyazhushchih s ispol'zovaniem tekhnogennykh peskov*]. In the book: Naukoemkie tekhnologii i innovacii Yubilejnaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 60-letiyu BGТУ im. V.G. Shuhova (XXI nauchnye chteniya). 2014. Pp.169-175. (rus).
6. Suleymanova L.A., Kara K.A., Kolomatskay S.A., Shorstov R.A. Suleymanov K.A. The stage of growth of gas pores in cellular concrete mixtures [*Stadii rosta gazovykh por v yacheistobetonnykh smesyakh*] In the book: Effektivnye stroitel'nye kompozity Nauchno-prakticheskaya konferenciya k 85-letiyu zaslužennogo deyatela nauki RF, akademika RAASN, doktora tekhnicheskikh nauk Bazhenova Yuriya Mihajlovicha. Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. Belgorod state technological University them. V. G. Shukhov. 2015. Pp. 611–614. (rus).
7. Bykhovsky A.E. Research of technological factors of formation of technological properties of gas silicate for industrial thermal insulation of pipes of channel-free heat networks [*Issledovanie tekhnologicheskikh faktorov formirovaniya tekhnologicheskikh svoystv gazosilikata dlya industrial'nogo termoizolirovaniya trub beskanal'nykh teplovykh setej*]: thesis abstract of candidate of technical Sciences. Kaunas, 1967. (rus).
8. Suleymanova L.A. Computer modeling of technological and economic problems [*Kompyuternoe modelirovanie tekhnologo-ekonomicheskikh zadach*]: guidelines for the implementation of the

course work for students majoring in 270106 – Production of building materials, products and structures. Belgorod: publishing house of BSTU, 2008. 56 p. (rus).

Information about the authors

Shorstov, Roman A. Postgraduate student. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Шорстов Р.А. Регулирование технологических и рецептурных параметров на основе моделирования физико-механических свойств автоклавного газобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №5. С. 36–41. DOI: 10.34031/article_5ce292c52da5c9.83158267

For citation:

Shorstov R.A. Regulation of process and recipe parameters on the basis of modeling physical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 36–41. DOI: 10.34031/article_5ce292c52da5c9.83158267