

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.,  
Кондрашев К.Р., аспирант,  
Сулейманов К.А., студент,  
Пириев Ю.С., доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ГАЗОБЕТОНЫ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

[ludmilasuleimanova@yandex.ru](mailto:ludmilasuleimanova@yandex.ru)

Разработаны принципы управления процессами изготовления неавтоклавного газобетона на композиционном вяжущем, что позволило получать энергосберегающие конструкционно-теплоизоляционные изделия с повышенной прочностью и долговечностью.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, энергосберегающий газобетон, композиционное вяжущее

Ячеистые бетоны нашли широкое применение в различных областях современного строительства, что обеспечено специфическими особенностями пористой структуры и соответственно многообразием функциональных назначений. В частности, несущая способность ячеистых бетонов при характерной для них низкой плотности достаточна для изготовления ограждающих конструкций стен и покрытий элементов, перекрытий и несущих элементов малоэтажного строительства.

Высокие теплозащитные характеристики, огнестойкость, теплоемкость и влагоемкость обуславливают уникальное сочетание в одном материале всех тех положительных качеств, которые в отдельности присущи традиционным строительным материалам.

Но, несмотря на это, доля ячеистобетонных изделий в общем объеме стеновых материалов составляет всего 6...8 %, в то время как в большинстве европейских стран превышает 30 % и их качество желает много лучшего.

Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года предусматривает повышение доступности энергоэффективного жилья гражданам РФ. Реализация государственной жилищной политики предполагает развитие строительного комплекса и производства строительных материалов, изделий и конструкций с применением инновационных, в том числе энергосберегающих технологий.

Для решения строительных проблем России, в первую очередь резко обострившейся проблемы дешевого и высококачественного жилья, необходимо всемерно наращивать производство ячеистых бетонов в нашей стране, которое позволит резко снизить ресурсоемкость строительства и эксплуатации.

Авторами предложены принципы проектирования неавтоклавного газобетона для

производства энергосберегающих ограждающих конструкций с учетом использования композиционных вяжущих (КВ), заключающиеся в оптимизации процесса структурообразования матрицы композита за счет интенсификации процессов гидратации клинкерных минералов, что позволяет получать композиционное вяжущее с прочностью на сжатие не менее 90 МПа и неавтоклавный ячеистый бетон на его основе с улучшенными характеристиками [1–10].

Для получения энергоэффективных ячеистых бетонов и повышения эффективности использования цемента применяли композиционные вяжущие на основе клинкера (с добавлением 5 % гипса) и портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108–2003 производства ЗАО «Белгородский цемент».

При изготовлении композиционных вяжущих процесс помола является основным по объему капиталовложений в оборудование. В ходе помола происходит физико-химическая активация компонентов, в дальнейшем определяющая свойства полученного вяжущего. Повышение эффективности данного процесса достигается совершенствованием помольных агрегатов, применением различных добавок-интенсификаторов, рациональным подбором составов КВ [11–16].

Дозировка суперпластификатора Полипласт СП-1 (производства ООО «Полипласт Новомосковск»), определенная с использованием метода мини-конуса, составляла 1 % от массы вяжущего. Установлена целесообразность замены клинкера в композиционном вяжущем до 30 % наполнителем (отсевы дробления перлита, трепела и опоки), что позволяет осуществить экономию клинкерной составляющей без значительного изменения активности вяжущего.

Анализ кинетических констант помола КВ (рис. 1, табл. 1), измельченных в центробежном

агрегате с параллельными помольными блоками, позволил определить оптимальное время помола каждого вида композиционного вяжущего для достижения рациональной удельной поверхности – 500...550 м<sup>2</sup>/кг. Выявлено, что наилучшей размолоспособностью обладает вяжущее на основе клинкера с добавлением перлита, имеющего наименьший коэффициент торможения  $k_t = 0,0008$  кг/м<sup>2</sup> [3].

При помоле высокопористых материалов (трепела и опоки), содержащих много открытых пор, происходит поглощение молекул суперпластификатора, и процесс увеличения удельной поверхности не только не ускоряется, а в отдельные сроки даже замедляется из-за вторичной агрегации и налипания на мелющие тела и корпус мельницы.

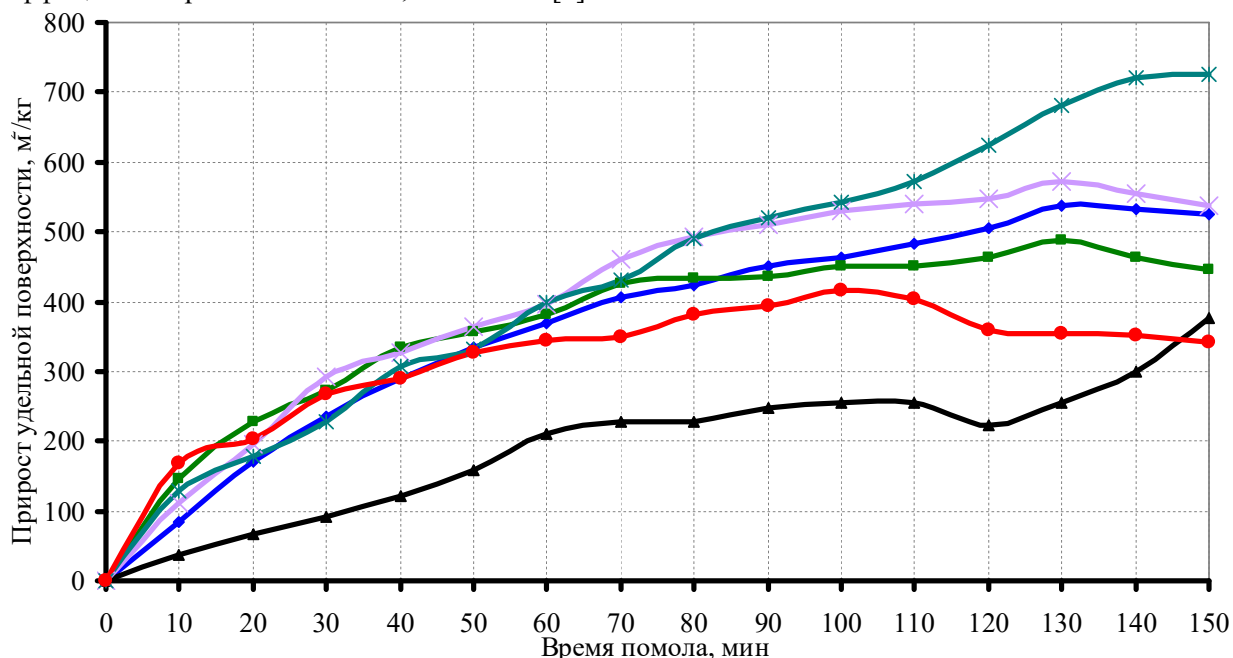


Рис. 1. Удельная поверхность композиционных вяжущих от времени помола:

- ♦— - 70 % Цемент + 25 % Перлит + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- - 70 % Цемент + 25 % Опока + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- ▲— - 70 % Цемент + 25 % Трепел + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- ×— - 70 % Клинкер + 25 % Опока + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- \*— - 70 % Клинкер + 25 % Перлит + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- - 70 % Клинкер + 25 % Трепел + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс

Таблица 1

**Кинетические константы помола композиционных вяжущих (КВ-70)**

Состав вяжущих	Начальная скорость ( $U_0$ ), м <sup>2</sup> /(кг·мин)	Коэффициент торможения ( $k_t$ ), кг/м <sup>2</sup>	Коэффициент корреляции ( $k_{кор}$ )
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1 + перлит	10,72	0,0012	0,9944
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1 + опока	13,26	0,0012	0,9955
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1 + трепел	3,99	0,0015	0,8204
Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + перлит	10,1	0,0008	0,9537
Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + опока	13,26	0,012	0,9955
Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + трепел	18,79	0,002	0,9948

Анализ гранулометрии полученных вяжущих показал, что КВ на основе клинкера с суперпластификатором имеет повышенное содержание мелкодисперсных частиц с выраженным максимумом в интервале 5...13 мкм по сравнению с вяжущими, полученными при помоле цемента (рис. 2).

При этом вяжущие на основе клинкера имеют большое содержание мельчайших частиц в диапазоне 0,66...1,81 мкм.

Введение минеральных наполнителей при помоле вяжущих на основе клинкера смещает графики в область более мелких частиц. При этом кривые имеют несколько ярко выраженных пиков по сравнению с кривой портландцемента.

Стоит отметить, что кривая вяжущего с перлитом имеет большое содержание мелких частиц в диапазоне 0,66...1,81 мкм, что обеспечивает более высокую реакционную способность, особенно в ранние сроки твердения.

Установлен характер кинетики помола и распределения частиц композиционных вяжущих по размерам, измельченных в

центробежном агрегате с параллельными помольными блоками, свидетельствующий о смещении максимума из области крупных размеров частиц в область средних и увеличение количества мелких частиц, что приводит к равномерному полидисперсному распределению компонентов вяжущего и интенсификации процессов гидратации.

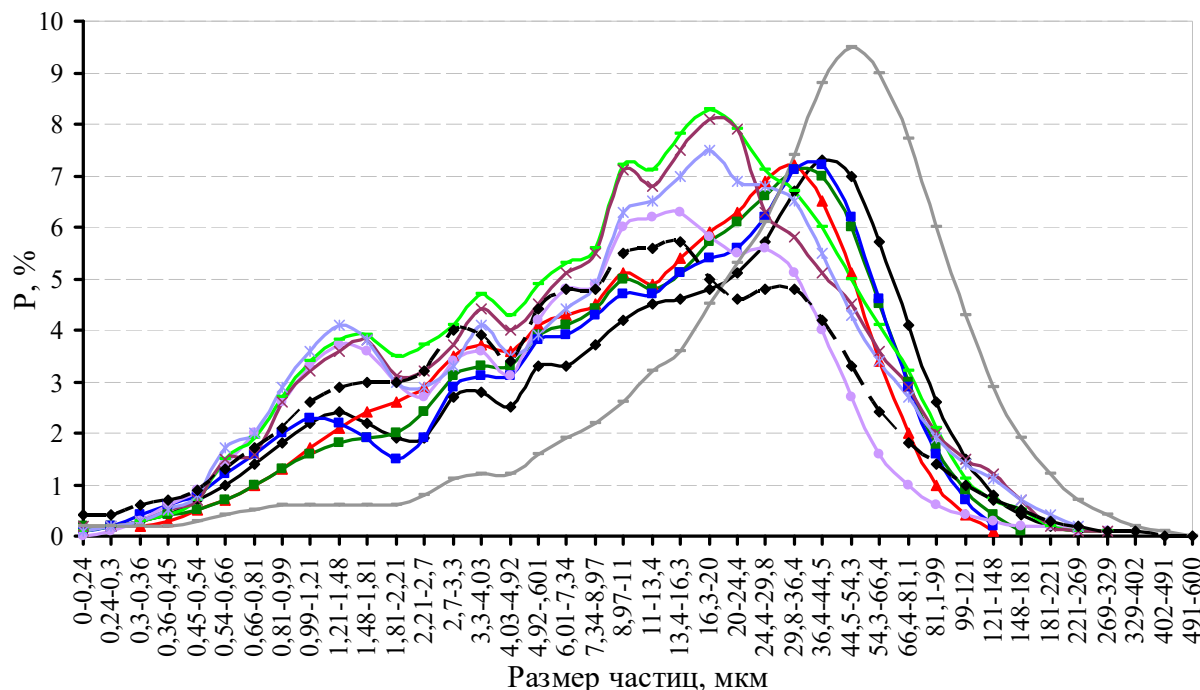


Рис. 2. Распределение частиц композиционного вяжущего по размерам:

- ◆— - Цемент + гипс + Полипласт СП-1 + перлит;
- ▲— - Цемент + гипс + Полипласт СП-1 + трепел;
- - Цемент + гипс + Полипласт СП-1 + опока;
- - Цемент + Полипласт СП-1;
- ◆— - Клинкер + гипс + Полипласт СП-1;
- - Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + трепел;
- ×— - Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + опока;
- \*— - Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + перлит;
- - Цемент;
- ◆— - Клинкер + гипс

Полученные результаты коррелируются с аналогичными данными, приведенными в работах [3, 4, 13–27].

Возможно повышение эффективности неавтоклавнога газобетона за счет регулирования коллоидно-химических свойств, позволяющих увеличить эффективную вязкость раствора, что способствует предотвращению прорывания газовых пор.

Выявлены зависимости подвижности газоцементных систем от вида и процентного содержания вяжущего, с целью исключения влияния газообразователя на изменение реологических свойств в системе

«газообразователь – ТМЦ 100 (ВНВ-100) – вода», заключающиеся в том, что наименьшие значения предельного напряжения сдвига свидетельствуют об оптимальном процентном соотношении суперпластификатора к цементу.

Анализ реологических характеристик разработанных вяжущих (рис. 3) показал более быстрое начало гидратации составов на клинкерной основе, что в дальнейшем повлияло на активность вяжущего. Предложенные составы КВ позволяют получать растворы с заданной эффективной вязкостью, способствующей предотвратить прорывание газовых пор.

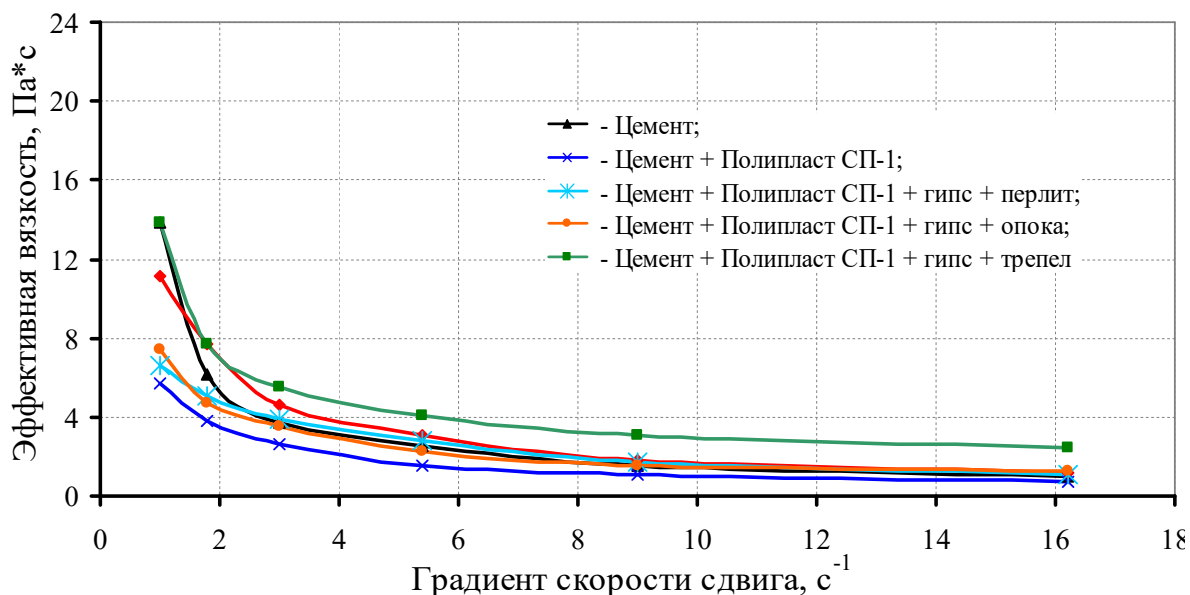


Рис. 3. Реологические кривые суспензий на основе цемента

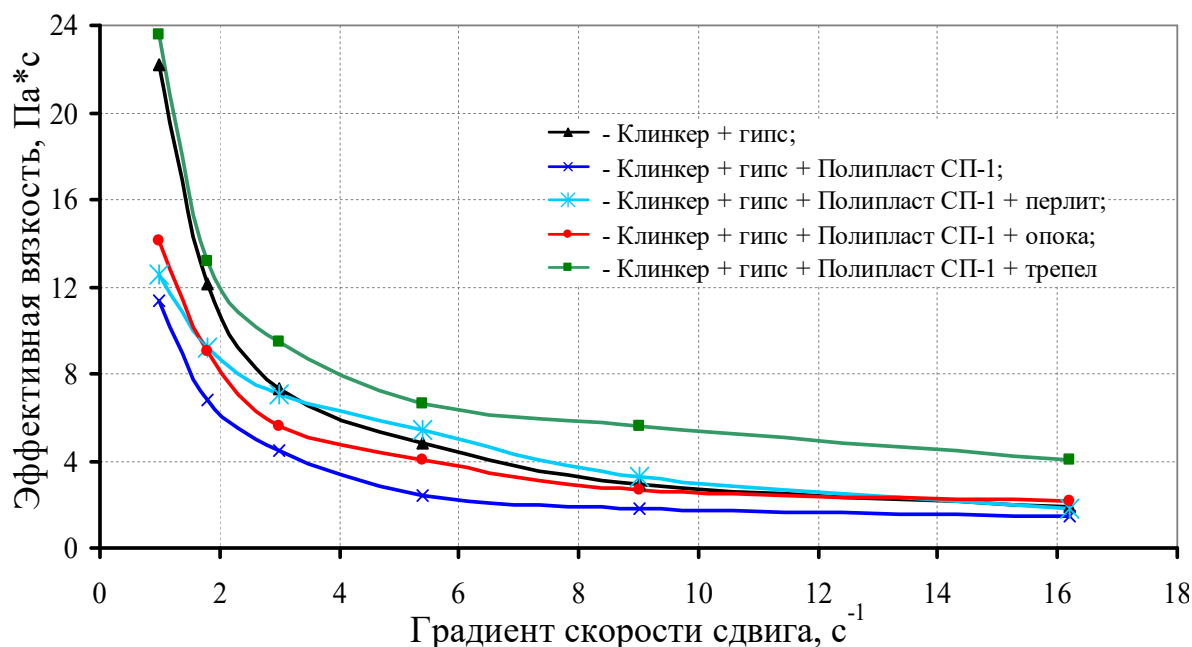


Рис. 4. Реологические кривые суспензий на основе клинкера

С целью исключения влияния газообразователя на изменение реологических свойств была рассмотрена тройная система «газообразователь – композиционное вяжущее – вода».

Введение суперпластификатора изменяет характер течения водогазоцементной суспензии: он снижает предел текучести практически до нуля, т.е. в системе вязкое течение начинается при очень малых градиентах скоростей сдвига. Существенное понижение напряжения сдвига при градиенте скорости сдвига большем 130...140 с<sup>-1</sup> вызвано седиментацией газоцементноводной суспензии под воздействием центробежных сил. Это в свою очередь вызвано тем, что дополнительное

количество ранее иммобилизованной воды, высвобожденное в результате введения суперпластификаторов, приводит к потере структурной устойчивости системы при данной дисперсности твердой фазы. Подобный эффект может иметь место и при меньших градиентах скорости сдвига в случае более высокого В/Ц отношения, что имеет место при приготовлении ячеистобетонной смеси.

На основе полученных реограмм (рис. 5) установлено, что для газоцементной системы «газообразователь – композиционное вяжущее – вода», имеющей низкое значение величины предельного напряжения сдвига, оптимальное процентное содержание суперпластификатора 1 %. С учетом полученных данных грануло-

метрического состава, реологических характеристик и физико-механических испытаний вяжущих предложены рациональные составы КВ-70 (с наполнителями

в виде перлита и опоки) (табл. 2) с использованием портландцемента и клинкерной составляющей с суперпластификатором Полипласт СП-1 [4].

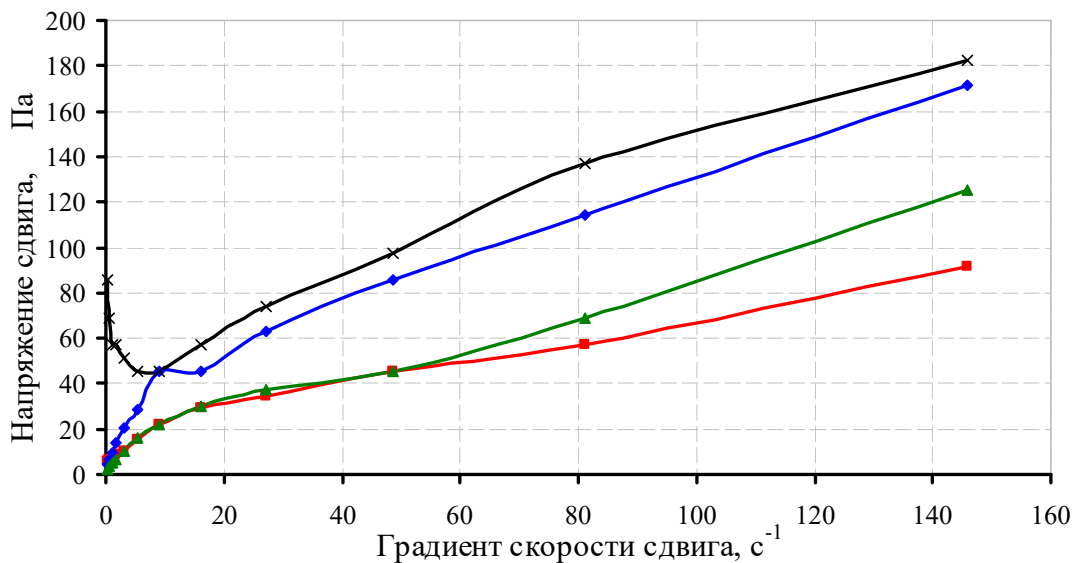


Рис. 5. Реограммыгазоцементных смесей:

- газобетон — КВ-70 (1 % Полипласт СП-1) — вода;
- газобетон — КВ-70 (0,14 % Полипласт СП-1) — вода;
- газобетон — КВ-70 (0,7 % Полипласт СП-1) — вода;
- газобетон — ТМЦ-70 — вода

Таблица 2

**Составы и физико-механические характеристики композиционных вяжущих**

Вяжущее	НГ, %	Сроки схватывания, мин		Прочность, МПа, в возрасте, сут					
		начало	конец	на сжатие			при изгибе		
				3	7	28	3	7	28
КВ-70 (клинкер + перлит)	28,9	40	150	52,3	67,2	90,5	7,26	9,33	12,65
КВ-70 (цемент + перлит)	27,4	45	145	50,7	66,9	87,1	7,34	9,69	12,45
КВ-70 (клинкер + опока)	30,7	65	170	55,3	63,5	81,9	8,25	8,82	11,9
КВ-70 (цемент + опока)	29,1	70	170	53,3	64,3	77,7	7,61	9,45	11,1

Известно, что для ячеистых бетонов пластифицирование цементных растворов не эффективно ввиду гидрофобного взаимодействия суперпластификаторов и газобетонизатора, однако, проведенными исследованиями показана возможность применения суперпластификатора Полипласт СП-1. Производство композиционных вяжущих с активными кремнеземсодержащими минеральными добавками дает возможность экономии удельных энергозатрат на тонну цемента за счет снижения содержания клинкерной составляющей с сохранением высоких строительно-технических свойств.

Исследовано влияние вида минеральной добавки на прочностные свойства вяжущего и гидратацию клинкерных минералов на разработанных композиционных вяжущих с наполнителями перлита, опоки и трепела методом РФА.

Результаты РФА (рис. 6) свидетельствуют, что в начальные сроки (1, 3 сут) твердения более интенсивно гидратирует КВ с добавкой трепела, хотя прочность его в трехсуточном возрасте более чем в 2 раза ниже, чем вяжущих с остальными добавками. Этот факт свидетельствует, что интенсивность гидратации на начальном этапе не всегда определяет прочность цементного камня. Чрезмерно высокая скорость процесса может

привести к формированию крупноблочной структуры низкой прочности, что, возможно, и наблюдается в данном случае. К 3 и 28 сут твердения гидратация КВ с опокой и перлитом выше интенсивности этого процесса в трепелсодержащем композиционном вяжущем. Наибольшие изменения между отражениями заметны на 28 сут твердения, где высота дифракционных максимумов алита и белита у КВ с опокой и перлитом на 13 % и 15 % ниже соответственно, чем с трепелом. Эти результаты согласуются с прочностными данными КВ (табл. 2) в эти же сроки твердения, которые свидетельствуют, что максимальная разница между прочностью цементного камня с соответствующими добавками равна 48 % и 66 % [3, 4].

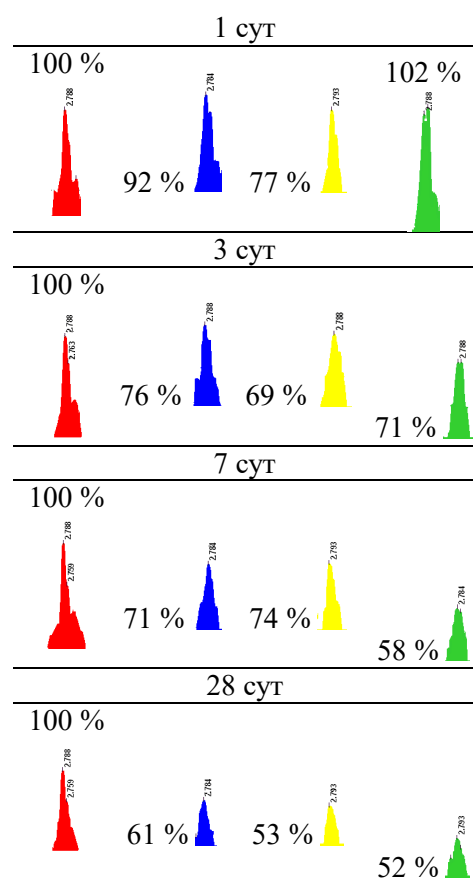


Рис. 6. Интенсивность отражений 2,76Å и 2,78Å в зависимости от вида минеральной добавки в вяжущем:  
 — ЦЕМ I 42,5 N;  
 — КВ-70 (трепел);  
 — КВ-70 (опока);  
 — КВ-70 (перлит)

Образец в 28 сут твердения с добавкой перлита показал и лучшее усвоение аморфной составляющей с наиболее полной гидратацией клинкерных минералов. Вследствие этого

минералогический состав образца с добавкой перлита имеет оптимальное соотношение клинкерных минералов и минералов гидросиликатов кальция.

При введении опоки заметное снижение интенсивности отражений 2,76Å и 2,78Å началось в возрасте 1 сут твердения, хотя по кинетике гидратации клинкерных минералов она проявила себя достаточно близкой к составу с содержанием трепела. Содержащаяся в опоке аморфная составляющая способствовала, по сравнению с другими добавками в 3 и 7 сут твердения образцов, более активному образованию гидросиликатов кальция. Это позволило через 28 сут твердения получить образцы с оптимальной структурой вследствие более сбалансированного соотношения кремнезема, клинкерных минералов и гидросиликатов кальция, которые способствовали максимально возможному заполнению дефектов крупных кристаллов. Состав с добавкой трепела по кинетике гидратации клинкерных минералов проявил себя достаточно близко к составу с содержанием опоки, что отмечалось по отражениям дифракционных максимумов 2,76Å и 2,78Å. Трепел по минералогическому составу содержит максимальное количество аморфной составляющей. Однако данная составляющая не проявляла активности и в значительной степени осталась в исходном состоянии. Это не позволило создать плотную структуру цементного камня, а прочностные характеристики показали наименьшие значения, хотя гидратация клинкерных минералов происходила достаточно активно.

Проведены исследования микроструктур композиционных вяжущих с различными кремнеземсодержащими добавками с помощью растрового ионно-электронного микроскопа Quanta 200 3D. Установлено, что микроструктура вяжущих с перлитом имеет однородную плотную структуру, преобладающий ее элемент – кристаллогидрат игольчатой формы; отмечается четкое прорастание гидросиликатов по всей матрице композита, при этом практически отсутствуют поры и пустоты. Рентгеноспектральный микрозондовый анализ поверхности скола образцов на композиционном вяжущем показал закономерное уменьшение Са и одновременное количественное повышение содержания Si и Al в камне композиционного вяжущего по сравнению с бездобавочным цементным камнем.

Получены математические зависимости физико-механических характеристик неавто-

клавного газобетона на основе композиционных вяжущих от технологических параметров (В/Т, количества извести и газообразователя, вида наполнителя) (табл. 3), позволяющие управлять процессом производства ячеистых бетонов и оптимизировать технологический процесс.

Таблица 3

Условия планирования эксперимента

Фактор		Уровень варьирования		
натуральный вид	кодированный вид	-1	0	+1
В/Т	$X_1$	0,5	0,6	0,7
Известь, % от массы вяжущего	$X_2$	2	4	6
Al паста, % от массы вяжущего	$X_3$	0,5	0,6	0,7
Вид наполнителя	$X_4$	Опока	Перлит	Трепел

В результате статистической обработки полученных данных (табл. 4) выявлены оптимальные дозировки компонентов и получены математические модели:

– средней плотности

$$Y_1 = 293,02 - 148,32 \cdot X_1 - 161,57 \cdot X_2 - 195,21 \cdot X_3 + 39,25 \cdot X_4 + 45,98 \cdot X_1^2 + 105,98 \cdot X_2^2 + 81,48 \cdot X_3^2 + 95,98 \cdot X_4^2 + 18,88 \cdot X_1 \cdot X_2 + 35,38 \cdot X_1 \cdot X_3 - 35,13 \cdot X_1 \cdot X_4 + 96,75 \cdot X_2 \cdot X_3 + 13,5 \cdot X_2 \cdot X_4 + 14,5 \cdot X_3 \cdot X_4,$$

– прочности на сжатие

$$Y_2 = 1,45 - 1,20 \cdot X_1 - 1,01 \cdot X_2 - 1,16 \cdot X_3 + 0,26 \cdot X_4 + 0,2 \cdot X_1^2 + 0,58 \cdot X_2^2 + 0,4 \cdot X_3^2 + 0,13 \cdot X_4^2 + 0,13 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,28 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,21 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,59 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,11 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,03 \cdot X_3 \cdot X_4,$$

анализ которых представлен на рис. 7.

В результате анализа экспериментальных данных был рекомендован состав неавтоклавного газобетона на основе композиционно-вяжущего, содержащий:

клинкерную составляющую 70 %, суперпластификатор Полипласт СП-1 1 %, гипс 5 %, известь 4 %, перлит 30 % и газообразователь – алюминиевую пасту 0,6 %.

Таблица 4

Матрица планирования и экспериментальные данные

№ опыта	Фактор				$\rho_{ср}$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж ср}$ , МПа
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$		
1	+	+	+	+	240	0,3
2	+	+	+	-	215	0,18
3	+	+	-	+	420	1,1
4	+	+	-	-	398	1,02
5	+	-	+	+	390	1,2
6	+	-	+	-	360	0,9
7	+	-	-	+	835	3,8
8	+	-	-	-	910	3,9
9	-	+	+	+	580	3,0
10	-	+	+	-	356	1,2
11	-	+	-	+	780	4,1
12	-	+	-	-	660	3,2
13	-	-	+	+	680	3,1
14	-	-	+	-	560	3,02
15	-	-	-	+	1380	7,8
16	-	-	-	-	1280	6,9
17	+	0	0	0	260	0,81
18	-	0	0	0	420	2,5
19	0	+	0	0	320	1,18
20	0	-	0	0	480	2,9
21	0	0	+	0	261	0,92
22	0	0	-	0	490	2,8
23	0	0	0	+	460	1,9
24	0	0	0	-	320	1,28
25	0	0	0	0	280	1,3

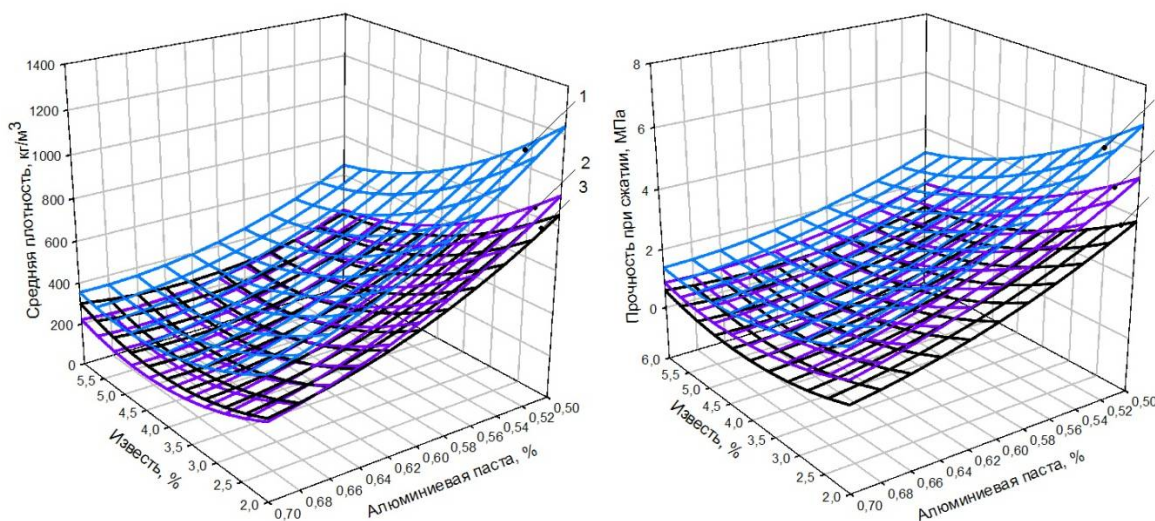


Рис. 7. Номограммы средней плотности и прочности на сжатие газобетона от В/Т, количества извести, алюминиевой пасты и вида наполнителя: 1 – В/Т = 0,5, вид наполнителя – опока; 2 – В/Т = 0,6, вид наполнителя – перлит; 3 – В/Т = 0,7, вид наполнителя – трепел

Оптимизация рецептуры, проведенная при наличии экспериментально-статистических моделей влияния управляющих рецептурно-технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона на композиционном вяжущем, совокупность которых определяет его качество, позволила установить оптимальный состав (на 1 м<sup>3</sup>) неавтоклавных газобетонных изделий на композиционном вяжущем с маркой по средней плотности D500 и классом по прочности на сжатие В2: композиционное вяжущее (клинкерная составляющая – 290 кг, гипс– 15 кг, перлит – 125 кг, суперпластификатор Полипласт СП-1– 2,9 кг), известь – 8,6 кг, алюминиевая паста – 2,6 кг, вода – 249 л.

Применение экспериментально-статистических моделей (рис. 7) дает возможность определения рецептурно-технологических параметров для изготовления газобетонных изделий с марками по средней плотности от D200 до D900 с высокими строительно-техническими свойствами.

Неавтоклавный газобетон на основе КВ с добавлением перлита по эксплуатационным свойствам (табл. 5) превосходит характеристики традиционных неавтоклавных газобетонов, что объясняется оптимизацией структуры ячеистого бетона (рис. 8) за счет использования композиционных вяжущих.

Таблица 5

**Свойства газобетона на композиционном вяжущем (минеральная добавка – перлит)**

Показатель	Результаты испытаний
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	480
Предел прочности на сжатие, МПа	2,9
Усадка, мм/м	0,45
Коэффициент паропроницаемости, мг/м·ч·Па	0,34
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,09
Морозостойкость	F35

Процесс газовой поризации смесей на КВ взаимосвязан с вопросами распределения пор по размерам в смесях ячеистого бетона. Распределение полидисперсной пористости ячеистого бетона по плотности упаковки не взаимодействующих пор в водоцементной системе определяется рекуррентным уравнением топологических переходов.

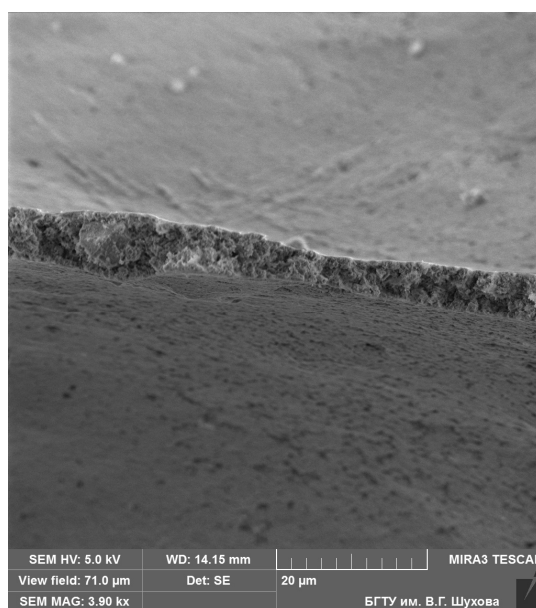
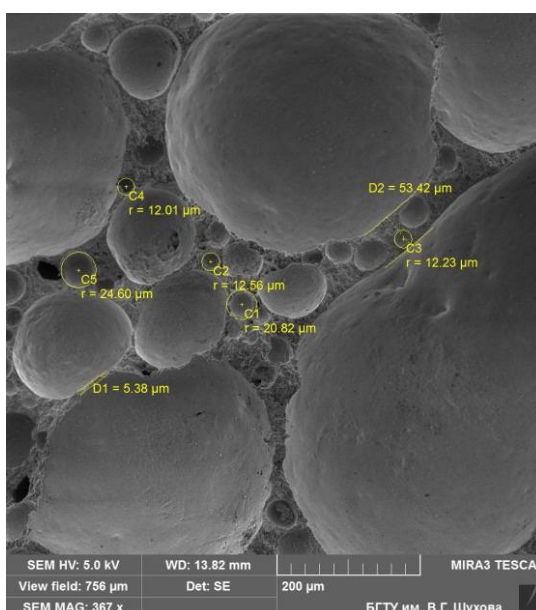
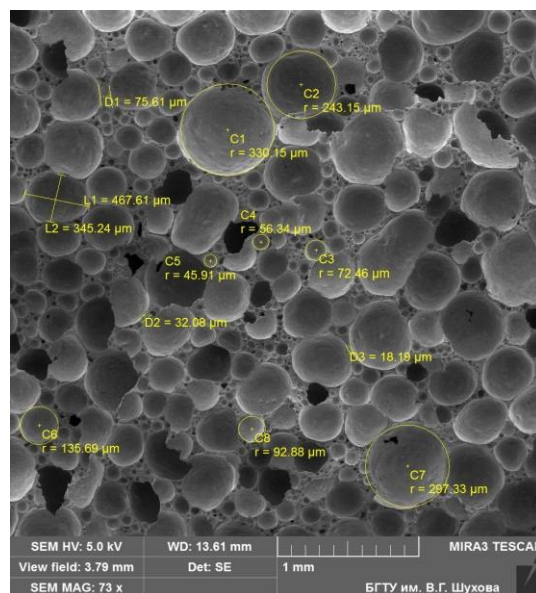
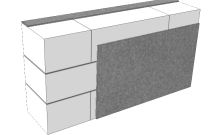
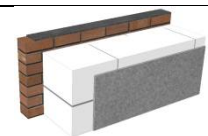
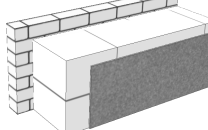


Рис. 8. Пористая структура газобетонных изделий на композиционных вяжущих



Таблица 6

### Рекомендуемые варианты энерго-сберегающих ограждающих конструкций

Эскиз	Показатель
	Толщина стены – 320 мм: цементно-песчаный раствор – 10 мм; газобетон – 300 мм; цементно-песчаный раствор – 10 мм.
	Толщина стены – 430 мм: керамический кирпич – 120 мм; газобетон – 300 мм; цементно-песчаный раствор – 10 мм.
	Толщина стены – 430 мм: силикатный кирпич – 120 мм; газобетон – 300 мм; цементно-песчаный раствор – 10 мм.

Применение энергоэффективного ячеистого бетона будет способствовать не только удешевлению строительства, но и улучшению экологической обстановки региона.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л.А., Ерохина И.А., Сулейманов А.Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 7. С. 113-116.
2. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Строкова В.В. Сухие строительные смеси для неавтоклавных ячеистых бетонов. Белгород: КОНСТАНТА, 2009. 144 с.
3. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С., Сулейманов А.Г. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих. Белгород: Изд-во БГТУ 2010. 152 с.
4. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г., Кара К.А. неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих для энергоэффективного строительства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 47-52.
5. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород: КОНСТАНТА, 2011. 150 с.
6. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов // В сборнике: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. 2011. С. 98-102.

При этом внедрение меньшей фракции пор в пространство между порами предыдущей более крупной фракции аналогично по характеру зависимостям, которые наблюдаются при формировании гранулометрического состава продуктов измельчения [28–30].

Выявлены закономерности процессов формирования структуры и разработаны принципы повышения эффективности неавтоклавных газобетонов за счет применения композиционных вяжущих, управления процессами в трехфазной дисперсной пористой системе и совершенствования технологических приемов изготовления ячеистобетонных изделий, заключающиеся в формировании состава и гранулометрии вяжущих, которые соответствуют структуре тонких межпоровых перегородок, управлению свойствами смесей для сочетания процессов газообразования и структурообразования с учетом баланса сил в дисперсной системе.

Установлен характер влияния состава и гранулометрии компонентов композиционных вяжущих с наполнителями различного генезиса и модификаторов вяжущего на свойства ячеистобетонных смесей и характеристики неавтоклавного газобетона.

Композиционные вяжущие с полимодальным распределением частиц обеспечивают формирование оптимальной микроструктуры межпоровых перегородок за счет самоорганизации и плотной упаковки частиц, ускоряют структурообразование и повышают прочность на ранней стадии твердения газобетона.

Композиционные вяжущие в стабильных заводских условиях технологии производства способствуют изготовлению неавтоклавных газобетонных изделий, соответствующих по свойствам изделиям из автоклавного газобетона. Получены неавтоклавные газобетонные изделия на композиционных вяжущих с высокими физико-механическими свойствами: маркой по средней плотности  $D250...D500$ , классом по прочности  $B0,5...2,5$ , теплопроводностью  $\lambda = 0,067...0,09$  Вт/м·°С, морозостойкостью  $F15...F50$ . Такие показатели превосходят характеристики традиционных газобетонов за счет улучшенной поровой структуры с равномерным распределением пор при среднем диаметре 0,21 мм.

С учетом требований [31] определены рекомендуемые варианты энергосберегающих ограждающих конструкций для Белгорода (коэффициент сопротивления теплопередаче  $R_0 = 2,86$ ), которые представлены в табл. 6.

7. Suleymanova L.A. Non-autoclaved aerated concrete at composite binding / Ibausil: 18. Internatinal Baustofftagung // Weimar, 2012. B.2. P. 2-0830–2-0835.
8. Сулейманова Л.А. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих: дис...докт. техн. наук. Белгород, 2013. 390 с.
9. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кара К.А. Энергоэффективный газобетон // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. С. 218-220.
10. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кондрашев К.Р., Шорстов Р.А. Энергоэффективные пористые композиты для зеленого строительства // В сборнике: Научные технологии и инновации Белгород, 2014. С. 354-359.
11. Klassen V., Shuravwlev P., Klassen A. Synthese des niedrigbasischen Klinkers durch Verwendung der Schlackeabfälle und Herstellung des hochwertigen Mischzements // INTER. BAUSTOFFTAGUNG, Deutschland, Weimar. 2000. BAND 1. P. 189-196.
12. Шмитько Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В. Химия цемента и вяжущих веществ. СПб.: Проспект Науки, 2006. 206 с.
13. Лесовик Р.В., Жерновский И.В. Выбор кремнеземсодержащего компонента композиционных вяжущих веществ // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 78-79.
14. Хархардин А.Н. Структурная топология. Белгород: Изд. БГТУ, 2009. Ч.1. 196 с.
15. Сулейманова Л.А., Жерновский И.В., Шамшуrow А.В. Специальное композиционное вяжущее для газобетонов неавтоклавного твердения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 1. С. 39-45.
16. Kharkhardin A.N., Suleimanova L.A., Kara K.A., Malyukova M.V., Kozhukhova N.I. The determination of topological properties in polidispersed mixtures of the results of sieve laser and particle size analysis. World Applied Sciences Journal. 2013. T. 25. № 2. С. 347-353.
17. Алфимова Н.И., Вишнеvская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Saarbrucken. Изд-во LAP LAMBERT. 2013. 129 с.
18. Lesovik R.V., Leshchev S.I., Ageeva M.S., Karatsupa S.V., Alfimova N. I. The use of zeolite for the production of tripoli composite binders // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER) // Vol. 10, №24 (2015). Pp. 44889–44895
19. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsupa S.V., Yakovlev E.A., Kolomatskiy A.S., Shapovalov N.N. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders // Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9 (11). P. 779–783
20. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №5 (88) С. 95–99
21. Lesovik V. S., Alfimova N. I., Savin A. V., Ginzburg A. V., Shapovalov N. N. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel // World Applied Sciences Journal. 2013. 24 (12). 1691–1695
22. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетонов на композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. №7 С. 56–58.
23. Lesovik V.S., Ageeva M.S., Mahmoud Ibrahim Husni Shakarna, Allaham Yasser Seyfiddinovich, Belikov D. A. Efficient binding using composite tuffs of the Middle East // World Applied Sciences Journal. 2013. №24 (10). Pp. 1286–1290.
24. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Shakarna M. Efficient binding using composite tuffs of the middle east // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 24. № 10. С. 1286–1290.
25. Ageeva M.S., Sopin D.M., Lesovik G.A., Metrohin A.A., Kalashnikov N.V., Bogusevich V.A. The modified composite slag-cement binder // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. T. 9. № 8. С. 1381-1385.
26. Lesovik V. S., Alfimova N.I., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement // Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9. (11). P. 745–748.
27. Алфимова Н.И., Трунов П.В., Шадский Е.Е. Модифицированные вяжущие с использованием вулканического сырья: монография. Saarbrucken: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing. 2015. 133 с.
28. Suleymanova L.A., Kara K.A., Suleymanov K.A., Pyrvu A.V., Netsvet D.D., Lukuttsova N.P. The topology of the dispersed phase in gas concrete // Middle East Journal of Scientific Research. 2013. T. 18. № 10. С. 1492-1498.
29. Сулейманова Л.А. Динамика расширяющейся газовой полости // Вестник Белгородского государственного

технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 56-58.

30. Zum problem der optimisierung von porigkeit des zellbetons der nichtautoklaven erhärtung Sulejmanowa L.A., Lessowik W.S., Kara K.A., Lessowik G.A. В сборнике: 19-te INTERNATIONALE

BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL 2015. 2015. С. 1343-1349.

31. ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению. Введен 01.12.2012. 22 с.

---

**Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Piriyeu Y.S.**

**ENERGY SAVING AERATED CONCRETES ON COMPOSITE BINDERS**

*Principles of process management of manufacture of non-autoclave aerated concrete on composite binder were developed, and it allowed to obtain energy-saving load-bearing structural insulating materials with increased strength and durability.*

**Key words:** *cellular concrete, energy saving aerated concrete, composite binders*

---

**Сулейманова Людмила Александровна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru.

**Погорелова Инна Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Кондрашев Кирилл Романович**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Сулейманов Карим Абдуллаевич**, студент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Пириев Юнис Селим-оглы**, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.