

**ПРИМЕНЕНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ  
В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ БЕТОНЕ**

**Авзалов Э.Р., студент,  
Морозов Н.М., канд. техн. наук, доц.,  
Боровских И.В., канд. техн. наук, доц.**  
*Казанский государственный архитектурно-строительный  
университет*

Повышение эффективности строительных материалов является важной задачей в строительстве. Одним из путей сокращения затрат при производстве бетонов и повышения его качества является применение местных материалов в качестве заполнителей и использование различных наполнителей. Мелкозернистый бетон широко используется в строительном производстве благодаря практически повсеместному наличию природных песков, возможности транспортирования бетонной смеси по трубопроводам на большую высоту, что очень важно для высотного монолитного строительства, высокой однородности свойств, меньшей плотности и стоимости.

Вместе с тем, мелкозернистые бетоны имеют специфические недостатки, обусловленные большой поверхностью мелких заполнителей, требующей повышенного на 15...25% расхода цемента и воды для получения необходимой подвижности бетонной смеси и покрытия поверхности зерен заполнителей тонкой пленкой цементного теста. Слабо закристаллизованная гелеобразная структура цементных оболочек зерен мелкого заполнителя при их недостаточном сцеплении обуславливают повышенные усадки и ползучесть мелкозернистого бетона [1].

Перечисленные выше недостатки можно устранить добавлением в состав мелкозернистого бетона минеральных добавок и эффективных супер- и гиперпластификаторов нового поколения, в том числе на основе поликарбоксилатов, повышающих предел прочности за счет снижения водосодержания бетонной смеси, равной подвижности до 40% [2]. Однако для улучшения свойств мелкозернистого бетона необходимо правильно выбрать наполнители в зависимости от их дисперсности и химического состава. В связи с этим целью работы

стало исследование влияние наполнителей на свойства цементного теста и мелкозернистого бетона.

В качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Мордовцемент», имеющего активность 50,5 МПа и нормальную плотность 25,5%. Для работы использовали строительный песок с модулем крупности 2,52. В качестве суперпластификатора использовали добавку Melflux 2641F на поликарбоксилатной основе, а в качестве минеральных добавок микрокремнезем МК-85 (МК), высокоактивный метакраолин (МтК) и известняковую муку.

Наполнение вяжущих дисперсными порошками является одним из перспективных направлений их рационального использования. При этом применение наполнителей оптимальной крупности и высокой активности позволяет целенаправленно организовывать структуру материала и повышать его физико-механические характеристики. На первом этапе работы была осуществлена замена 5% цемента на наполнители и проведена оценка их влияния на водопотребность цементного теста.

Введение наполнителей в состав цементного теста изменяет его водопотребность. Влияние наполнителей на водопотребность оценили с помощью методики Окамуры [3]. В методике используется стандартный конус по ГОСТ 310.4., устанавливаемый на ровную поверхность, в который заливается цементное тесто. Затем конус поднимают и цементное тесто расплывается, после чего фиксируется значение расплыва конуса. Начальная подвижность цементного теста соответствовала расплыву стандартного конуса диаметром 110 мм. Далее в смесь добавляется 20 мл воды, после чего его повторно подвергают встряхиванию. По полученным результатам строится зависимость расплыва конуса от расхода воды. По характеру угла наклона результирующей прямой определяется чувствительность бетонной смеси к добавлению воды. В эксперименте использовали составы, представленные в табл. 1

Таблица 1 – Составы цементного теста с наполнителями

№ состава	Количество цемента, г	Вид / количество наполнителя, г	Расход воды при расплыве конуса 110 мм
1	800	-	260
2	800	Метакраолин/ 40	320
3	800	Микрокремнезем/40	300
4	800	Известняковая мука/ 40	275



Как видно из рис.1, введение метакаолина и микрокремнезема значительно увеличивает водопотребность цементного теста и чем выше подвижность цементного теста, тем больше эта разница. При использовании известняковой муки водопотребность увеличивается только в малоподвижном цементном тесте, а при увеличении подвижности водопотребность наполненного цементного теста такая же, как у контрольного состава. По углу наклона полученных результирующих линий изменения водопотребности от подвижности можно судить о том что, у бездобавочного состава и состава с известняковой мукой нужно меньше воды для повышения подвижности, т.е. восприимчивость к добавлению воды выше

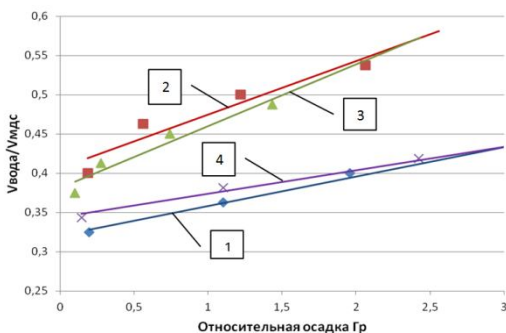


Рисунок 1 – Влияние наполнителей на водопотребность цементного теста (номера составов из табл.1)

Для снижения водопотребности наполненных цементных систем с добавками микрокремнезема и метакаолина необходимо использовать суперпластификатор. Влияние наполнителей и суперпластификатора на прочность цементного камня представлено в табл.2.

Таблица 2 – Влияние наполнителей на прочность цементного камня

№	Расход материалов, г					В/Ц	Прочность на сжатие, МПа	
	цемент	МтК	Мк	melflux	вода		1 сутки	14 сутки
1	400	-	-	2	89	0,223	55	68
2	400	20	-	2	106	0,265	58	75
3	400	30	-	2	116	0,29	47	78
4	400	40	-	2	123	0,31	44	79
5	400	-	20	2	94	0,235	54	62
6	400	-	30	2	98	0,245	51	70
7	400	-	40	2	101	0,253	49	74

Как видно из табл. 2, рост водопотребности наполненного цементного теста наблюдается и при введении суперпластификатора, но уже в меньшей степени. При этом увеличение количества воды компенсируется активностью самих минеральных добавок и поэтому повышается прочность цементного камня. Наибольшее увеличение наблюдается при использовании метакаолина.

Далее была проведена оценка влияния метакаолина на свойства мелкозернистого бетона (табл.3).

Таблица 3 – Влияние метакаолина на прочность мелкозернистого бетона

№	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг					Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	
	цемент	песок	МтК	melflux 2641	вода		1 сутки	14 сутки
1	500	1520	-	-	250	2180	8,9	35,5
2	500	1520	-	2	165	2180	22,2	53,3
3	500	1520	25	2	185	2200	18,6	56,8
4	500	1520	37,5	2	195	2255	16,9	59,2
5	500	1520	50	2	200	2220	16,6	58,4

Из данных табл. 3 видно, что оптимальной дозировкой метакаолина является 7,5% от массы цемента, в этом случае наблюдается максимум прочности. Совместное применение метакаолина и суперпластификатора позволяет увеличить прочность мелкозернистого бетона на 70%.

Таким образом, показано с применение высокоактивных наполнителей в мелкозернистом бетоне наиболее эффективно совместно с суперпластификаторами, так как в этом случае снижается негативное воздействие удельной поверхности наполнителей на водопотребность цементного теста при сохранении их высокой активности.

#### Список литературы:

1. Мелкозернистые бетоны: Учебное пособие / Ю.М. Баженов, У.Х. Магдеев, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Л.Б. Гольденберг. М.: МГСУ, 1998. 148 с.
2. Баженов Ю.М. Новому веку – новые эффективные бетоны и технологии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2001. № 1. С. 12-13.
3. H. Okamura, M. Ouchi Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1. № 1. 2003. P. 5-15.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ**

**Агеева М.С., канд. техн. наук, доц.,  
Лесовик Г.А., канд. техн. наук,  
Михайлова О.Н., канд. техн. наук,  
Усенко Н.А., магистрант**

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

В настоящее время при разработке месторождений железных руд на территории Курской магнитной аномалии (КМА) применяются системы с последующей твердеющей закладкой. Технология твердеющей закладки выработанного пространства позволяет сделать подземные работы безопасными, сохранить окружающую среду, дать значительный экономический эффект [1-4]. Состав смеси должен обеспечить низкую экзотермичность, высокую коррозионную стойкость и минимальную усадку смеси в процессе твердения, а также наибольшую экономичность и технологичность закладочных работ.

Необходимую прочность закладочного массива рассчитывают с учетом горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождения. Принятый состав смеси должен в допустимые по технологии горных работ сроки обеспечить требуемые прочностные свойства, а также низкую экзотермичность, высокую коррозионную стойкость и минимальную усадку смеси в процессе твердения. При этом обеспечить наибольшую экономичность и технологичность закладочных работ.

В свете вышесказанного проблема эффективного использования отходов горно-обогатительного производства является весьма актуальной [5-10]. В связи с этим на первый план выходит использование композиционных вяжущих на основе техногенного сырья. Такие вяжущие обычно представляют собой смесь гидравлического вяжущего, активного минерального компонента и специальных добавок, усиливающих те или иные строительные свойства [11-17].

Целью работы явилось получение закладочных смесей на основе композиционного вяжущего с использованием цемента, отходов ММС железистых кварцитов, доменных гранулированных шлаков и добавок.

Для получения вяжущих были использованы следующие материалы: портландцемент ЦЕМ I 32,5Н ГОСТ 31108–2003 ЗАО

«Белгородский цемент», Новоліпецкий доменный гранулированный шлак с  $M_o = 1,14$  и  $M_a = 0,2$  и отходы мокрой магнитной сепарации (ММС) железистых кварцитов с  $M_k = 0,6$  в равных соотношениях, добавка Полипласт СП-1.

С целью выявления роли добавки доменного гранулированного шлака в композиционном вяжущем были разработаны составы КВ 20 с различным соотношением наполнителей (шлака и отходов ММС). Данные компоненты были взяты при одинаковом уровне дисперсности (200 м<sup>2</sup>/кг) и домалывались с цементом в течение 5 мин. Следует отметить, что количество добавки вводилось в процентном соотношении от массы цемента (табл.1).

Таблица 1 – Составы и свойства вяжущих

№ п/п	Вид вяжущего	Цемент, %	Шлак, %	Отходы ММС, %	Д, %	Предел прочности при сжатии, МПа	
						7 сут.	28 сут.
1	КВ 20	20	40	40	0,7	8,4	18,3
2	КВ 30	30	35	35	0,7	9,1	22,1
3	КВ 40	40	30	30	0,7	16,1	30,1
4	ЦЕМ I 32,5 Н	100	-	-	0,7	29,5	42,4

Таблица 2 – Зависимость прочности закладочной смеси от состава

№	Вид вяжущего	Вяжущее, кг/м <sup>3</sup>			Отходы ММС, кг/м <sup>3</sup>	Отсев дробления КВП	Вода, л/м <sup>3</sup>	Добавка СП-1, л/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, 28 сут., МПа	Предел прочности при изгибе 28 сут., МПа	Призменная прочность 28 сут., МПа
		Ц	Ш	М							
1	КВ-20	60	120	120	1152	348	549	2	1,38	0,295	0,94
2	КВ-30	90	105	105	1152	348	544	2	2,35	0,485	1,35
3	КВ-40	120	90	90	1152	348	540	2	2,97	0,577	1,84
4	ЦЕМ II 32,5АШ	300	-	-	1152	348	530	2	2,33	0,536	1,65
5	КВ-20	60	120	120	1500	-	583	2	1,07	0,234	0,73
6	КВ-30	90	105	105	1500	-	580	2	1,44	0,325	1,01
7	КВ-40	120	90	90	1500	-	575	2	1,95	0,468	1,29
8	ЦЕМ II 32,5АШ	300	-	-	1500	-	565	2	1,50	0,435	1,19

\*Ц-цемент, Ш-шлак, М-отходы ММС железистых кварцитов

На основании проведенных расчетов были подобраны составы смесей с использованием разработанных композиционных вяжущих, в качестве заполнителя использовали также отходы ММС железистых кварцитов и отсев дробления кварцитопесчаника (КВП) с соотношением вяжущее: ММС:КВП равным 1:1,16:3,84, а также составы с соотношением вяжущее: ММС 1:5 (табл. 2).

С целью уменьшения расслоения, повышения транспортабельности закладочных смесей, регулирования сроков схватывания, улучшения качества заполнения выработанного пространства при повышении удобоукладываемости смеси, а также для регулирования реологических свойств закладочных смесей применяли суперпластификатор Полипласт СП-1 в количестве 0,6%.

Результаты кинетики твердения смесей показывают, что за счет высокой пуццолановой активности кремнеземсодержащих компонентов композиционного вяжущего активность образцов в 180 суточном возрасте твердения практически достигает и даже превышает показатели прочности у составов на основе цементного вяжущего.

Прочность при сжатии разработанных составов закладочных смесей менялась от 2,4 до 4,5 МПа в 180 сут. возрасте твердения (табл.3,4, рис.1,2).

Таблица 3 – Кинетика набора прочности закладочных смесей на основе КВ с использованием отходов ММС железистых кварцитов

№	Вид вяжущего	Прочность при сжатии, R, МПа в возрасте, суток		
		7	28	180
1	КВ-20	0,4	1,07	2,4
2	КВ-30	0,5	1,44	2,7
3	КВ-40	0,8	1,95	3,5
4	ЦЕМ II 32,5АШ	0,7	1,50	3,2

Для вертикальных обнажений закладки в стенках горных выработок нормативная прочность на рудниках (1-3 МПа) зависит от высоты обнажения закладки выработкой (10-50 м). Данным требованиям соответствуют все составы.

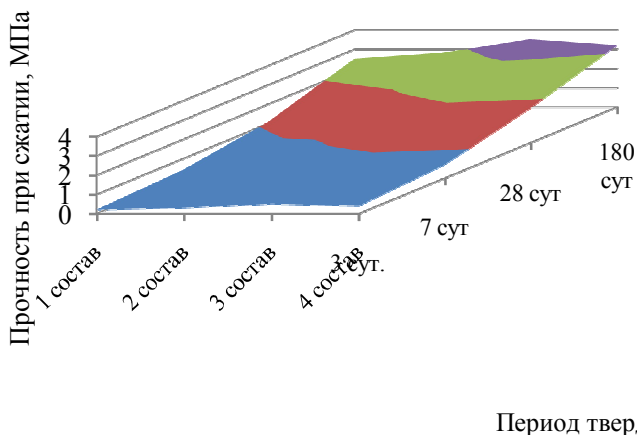


Рисунок 1 – Кинетика набора прочности закладочных смесей на основе КВ и отходов ММС железистых кварцитов

Рост прочности композитов, прежде всего, обусловлен оптимизацией процессов структурообразования за счет обеспечения последовательного роста новообразований при твердении, обусловленного разной интенсивностью и временем взаимодействия полигенетического кварца и частичек шлака с продуктами гидратации клинкерных минералов. А также снижением количества воды затворения за счет введения суперпластификатора и композиционного вяжущего, что особенно актуально для составов на отходах ММС железистых кварцитов, так как данный техногенный песок обладает повышенной водопотребностью.

Наилучшие результаты показали составы на основе цемента и КВ 40. Использование кварцитопесчаника позволило увеличить показатели прочности на 23%, 39%, 35%, 31,5% соответственно для КВ 20, КВ30, КВ 40, ЦЕМ II 32,5АШ.

Данные составы отличаются более высокими показателями прочности по сравнению с бетонами на основе только лишь одних отходов ММС железистых кварцитов при одном и том же расходе вяжущего. Рост прочности композитов, также обусловлен снижением количества воды затворения, а также введением более крупного песка в состав смеси.

Таблица 4 – Кинетика набора прочности закладочных смесей на основе КВ, отходов ММС железистых кварцитов и отсева дробления КВП

№	Вид вяжущего	Прочность при сжатии, R, МПа в возрасте, суток		
		7	28	180
5	КВ-20	0,6	1,38	2,6
6	КВ-30	1,2	2,35	3,8
7	КВ-40	1,4	2,97	4,5
8	ЦЕМ II 32,5АШ	1,3	2,33	4,1

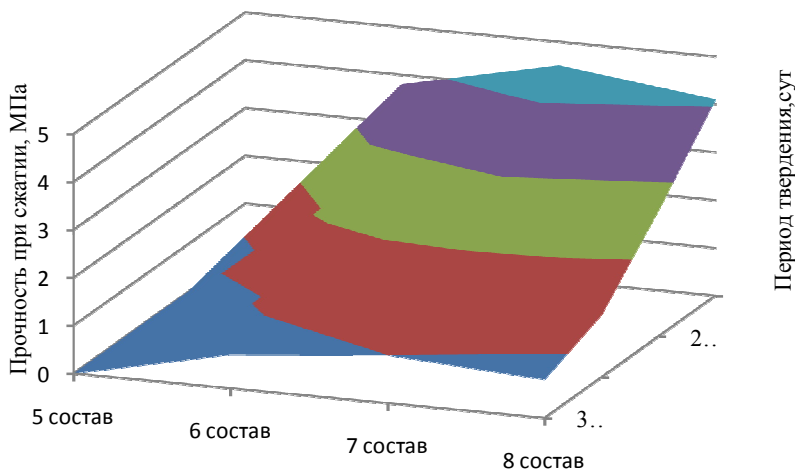


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности закладочных смесей на основе КВ, отходов ММС железистых кварцитов и отсева дробления КВП

Использование разработанных вяжущих по предложенной технологии позволяет уменьшить расход цемента при изготовлении закладочных смесей на 60-80% для различных вариантов системы разработки. Экономия клинкера при сравнении с традиционным составом составила до 240 кг на метре куб. композита.

Полученные смеси на основе отходов ММС железистых кварцитов и отсева дробления кварцитопесчаника удовлетворяют требованиям по прочностным показателям и могут быть использованы в качестве закладочных смесей.



Таким образом, управляемый состав новообразований, характеристики микроструктуры и пористости цементного камня, полиминеральный состав техногенного отходов ММС железистых кварцитов и композиционного вяжущего позволили синтезировать на основе отходов ММС железистых кварцитов и композиционного вяжущего закладочные смеси необходимых эксплуатационных характеристик. Оптимизация процессов структурообразования композиционных вяжущих происходит за счет последовательного роста новообразований при твердении системы «глинкерные минералы–кварц различного генезиса–шлак–вода–суперпластификатор», обусловленного разной интенсивностью и временем взаимодействия полигенетического кварца и частичек шлака с продуктами гидратации глинкерных минералов.

#### Список литературы:

1. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М.: Горная книга, 2005. 97 с.
2. Разработка композиционных вяжущих для закладочных смесей / М.С. Агеева, Д.М. Сопин, А.В. Гинзбург, Н.В. Калашников, Г.А. Лесовик // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 43-47.
3. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазонасной провинции / В.С. Лесовик, А.Н. Володченко, С.И. Алфимов, Р.В. Жуков, В.К. Гаранин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13-18.
4. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
5. Лесовик Р.В., Гулик Ю.А. Закладочные смеси на основе отходов КМА. Материаловедение и производство: сб. науч. тр. под ред. Г.И. Сильмана. Брянск: Изд-во БГИТА, 2003. Вып. 3. С. 296-299.
6. Fiber concrete on composite knitting and industrialsandkma for bent designs. Lesovik R.V., Klyuyev S.V., Klyuyev A.V., Netrebenko A.V., Kalashnikov N.V. World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 30. № 8. С. 964-969.
7. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
8. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.

9. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород / В.С. Лесовик, В.В. Строкова, А.Н. Кривенкова, Е.И. Ходыкин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
10. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
11. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов алмазообогащения // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30-31.
12. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
13. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С., Сулейманов А.Г., Кара К.А. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих для энергоэффективного строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 47–52.
14. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
15. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
16. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
17. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.

## **ТЕХНОГЕННОЕ СЫРЬЕ КАК ИСТОЧНИК СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ЗЕЛЕННЫХ КОМПОЗИТОВ**

**Аксенова Л.Л., канд. техн. наук, доц.,  
Лесовик Р.В., д-р техн. наук, проф.,  
Бугаенко Л.В.,  
Хлебенских С.Н.,  
Воронов В.В.**

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

Производство эффективных зеленых композитов с использованием доступного, недорогого и зачастую невостребованного сырья, к которому, помимо природных ресурсов, также можно отнести отходы производственных предприятий, техногенное сырье в виде отходов строительства и сноса зданий и сооружений, сегодня является одной из важнейших проблем строительной индустрии [1-5].

Техногенные минеральные образования, которые по количественным, качественным, технологическим и технико-экономическим показателям обеспечивают возможность и экономическую целесообразность их промышленного освоения, относятся к техногенным месторождениям полезных ископаемых.

Техногенные минеральные образования представляют собой горнопромышленные отходы в горнодобывающей, металлургической, топливно-энергетической и химической промышленности. Они характеризуются сложным внутренним строением, различаются по плотности, крупности обломков, вещественному составу, содержанию полезных компонентов и технологическим свойствам минерального сырья. Основная масса горнопромышленных отходов в нашей стране образуется в горнодобывающих предприятиях (более 70%) при вскрышных и горнопроходческих работах, значительно меньше на обогатительных фабриках (около 25%) и металлургических заводах.

Утилизации строительных отходов базируется на двух понятиях: demolition (снос) и recycling (переработка).

Европейские исследования показывают, что строительный мусор составляет почти треть всех отходов, образующихся в странах Евросоюза и США. Общая тенденция такова, что чем более развита экономика страны, тем больше доля строительного мусора в общей структуре отходов.

Для Германии и Нидерландов она составляет 55%, во Франции 70%, в самой богатой по доходам на душу населения европейской стране Люксембурге этот показатель достигает 90%.

Несмотря на это строительный мусор образуется во всех странах, и о жестком соответствии между доходами населения и количеством отходов говорить нельзя. С богатыми странами все просто – чем выше уровень доходов, тем больше возможностей возводить новые здания и сооружения, в ходе строительства которых и образуется большое количество строительного мусора. Что касается стран бедных, то эксперты отмечают, что искажение ситуации может происходить по причине недостаточного контроля, либо ввиду отсутствия нормативной базы по классификации отходов.

Несмотря на разницу в подходах к оценке и различиях в уровне развития европейских стран общая тенденция отчетливо ясна – количество строительных отходов в Европе непрерывно растет. Это касается и России, особенно экономически развитых регионов. В Москве и Санкт-Петербурге возросла потребность в свободных площадках под застройку. Это связано с увеличением темпов роста строительного рынка. Так, один из вариантов решения сложившейся проблемы – это высвобождение площадей за счет сноса старых сооружений и зданий. И все это не обходится без образования большого количества строительного мусора, требующего оптимальной утилизации. Снижение этой опасной тенденции считают важнейшей задачей в области охраны окружающей среды в Европе.

В соответствии с принятой в Европейском Союзе в 2008 году Рамочной директивой об отходах главный способ борьбы с увеличением количества строительных отходов – их переработка для дальнейшего использования. К 2020 году в Европе повторно должно использоваться как минимум 70% строительного мусора. На сегодняшний день данная цифра не превышает и 45%. Тем не менее, уже сейчас в ряде стран переработка строительного мусора превышает 90%. К таким странам относятся: Дания, Нидерланды, Швеция и Германия – страна, являющаяся мировым лидером по объемам переработки отходов и использования их в качестве вторсырья.

В Европе система переработки строительных отходов сформировалась более 20 лет назад. В настоящее время можно говорить о целой индустрии рециклинга. В экономически развитых странах законодательно закреплено, что образующийся строительный мусор нельзя захоранивать. Различные виды строительных отходов необходимо разделять на разные фракции и подвергать максимальной

переработке. При условии, что образование несанкционированных свалок жестко пресекается, а вывозить отходы на полигоны либо очень дорого, либо просто запрещено, переработка становится не просто экологически выгодной, но и экономически эффективной.

Переработка отходов необычайно важна не только как способ утилизации мусора, но и для сохранения благоприятной экологической обстановки. С экологической точки зрения плюсы переработки строительных отходов очевидны – она приводит к уменьшению количества полигонов захоронения отходов. Кроме этого, применение вторичного сырья позволяет значительно сократить добычу природных ресурсов, что, несомненно, благотворно сказывается на состоянии нашей природы [6-9].

Переработка строительных отходов – это не только забота об окружающей среде, но и отличное направление для инвестиций. Экономическая выгода достигается за счет того, что строительным отходам дается вторая жизнь. Её конечный результат – получение качественных материалов, пригодных для дальнейшего использования, которые значительно дешевле первичных.

В 1976 году в Европе была образована Европейская Ассоциация по Сносу зданий (European Demolition Association), которая объединяет более 60 фирм из 18 стран мира. Целями Ассоциации являются обмен опытом в области сноса строений и переработки строительного мусора, донесение проблем и возможностей технологии переработки до правительств и общественности. Именно эта организация призвана регулировать снос непригодных построек и дальнейшую утилизацию их составных элементов.

По данным Ассоциации во всех странах образуется не менее 2,5 млрд. тонн строительных отходов. Из них в Европе – более 180 млн. т. Такое огромное количество строительных отходов просто некуда складировать на территории маленькой Европы, не говоря уже о том, что такой способ утилизации экономически убыточен и причиняет вред окружающей среде, а европейцы не привыкли выкидывать деньги на ветер.

В целом сложившаяся к настоящему времени законодательная база, регулирующая правоотношения в сфере обращения с отходами в Европе, представляет собой широкий перечень директив, законов, постановлений и норм. При этом немецкие законы в сфере менеджмента отходов не только полностью соответствуют общеевропейскому законодательству, но и в отдельных случаях с учетом передового опыта Германии – существенно развивают и дополняют его.

В основу современного немецкого законодательства по отходам положена четкая последовательность приоритетов, согласно которой первоочередное значение при обращении с мусором имеет материальное использование. Лишь после исчерпания этой возможности следует стремиться к энергетическому использованию, а захоронение на упорядоченных полигонах является самым последним способом надежного устранения отходов. К слову, в Германии существуют крупные перерабатывающие строительные отходы комплексы. Только в Берлине их более 20. А в Великобритании с целью сохранения природных ресурсов и стимулирования рециклинга введен налог на применение каждой тонны природного заполнителя («первичного сырья») в размере 1,6 фунта стерлингов. В Нидерландах уже более 10 лет действует закон, запрещающий свозить на полигоны строительные отходы, которые можно переработать.

В России перерабатывается 5-10% отходов строительства и сноса, причем переработке подвергается в основном лом железобетона и кирпича, т.к. их переработка является самой простой и не требует сложных производственных процессов. Никак не решается задача утилизации других видов строительных отходов – стеклобоя, линолеума, битумных покрытий, пластмассы, санстройкерамики, дресины, пластмассы.

Первые российские города, которые озаботились проблемой утилизации строительного мусора – Москва и Санкт-Петербург. В их законодательстве есть требование по обязательному составлению технологических регламентов по обращению со строительными отходами, которые предусматривают максимальную переработку образующихся отходов. Благие намерения натываются на отсутствие перерабатывающих комплексов большинства строительных отходов и несовершенство нормативной базы, препятствующее легитимной переработке и получению соответствующих справок для государственных органов защиты окружающей среды.

Продукты переработки отходов строительства и сноса зданий и сооружений представляют собой вторичный щебень и отсеvy дробления с соотношением около 70 и 30% соответственно. Щебень, по сравнению с отсевами дробления, которые из-за повышенного содержания в их составах пылевидной фракции мало используется в строительстве, применяется в качестве подсыпки для автомобильных дорог, а также как крупный заполнитель в обычных бетонах.

Помимо отходов строительства и сноса общий объем отсевов дробления горных пород, образующихся ежегодно по всей стране на

предприятиях по производству щебня, составляет в настоящее время до 50 млн. м<sup>3</sup> [10-13]. Только в одной Чеченской Республике на предприятиях ГУП «Чеченкарьеруправление» Департамента автомобильных дорог ЧР «Государственный унитарный комбинат дорожно-строительных материалов» ежегодно перерабатывается более 1 млн. м<sup>3</sup> горной породы в год с образованием до 300 тыс. м<sup>3</sup> отходов камнедробления.

Перспектива вторичного использования отсевов камнедробления связана с тем, что при существующих технологиях процесс дробления и измельчения занимает около 50% всех затрат, в-первую очередь энергетических.

Вторичное сырье в нашей стране мало используется потому, что не до конца изучены их составы и свойства, но в последнее время производство вторичных материалов растет и набирает темпы, и они становятся серьезной альтернативой традиционным стройматериалам.

В настоящее время известны и обоснованы области применения вторичного щебня из бетонного лома, так, например, его применяют:

- для обустройства щебеночных оснований под полы и фундаменты зданий;
- под асфальтобетонные покрытия дорог всех классов;
- в качестве крупного заполнителя в бетонах прочностью 5-20 МПа;
- при производстве бетонных и железобетонных изделий;
- при отсыпке временных дорог и др.

Использование отсевов дробления бетонного лома и горных пород в производстве эффективных зеленых композитов позволит при минимальных дополнительных затратах увеличить объем производства продукции более чем на 10%, а также оздоровить среду обитания и освободить площади сельскохозяйственных земель.

#### **Список литературы:**

1. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
2. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.

3. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
4. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
5. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
6. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
7. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
8. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
9. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
10. Прокопец В.С., Лесовик В.С. Производство и применение дорожно-строительных материалов на основе сырья, модифицированного механической активацией: монография. Белгород, 2005.
11. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
12. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазонасной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13-18.
13. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.



## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ИРАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Аксёнова Л.Л., канд. техн. наук, доц.,**

**Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.,**

**Ахмед Ахмед Анис Ахмед, магистрант**

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

Для создания конкурентно способной стройиндустрии необходимо решить проблему снижения энергоемкости производства строительных материалов. Одной из возможных направлений использования сырьевых ресурсов «специально» подготовленных геологическими процессами [1-7].

В статье приводится анализ цементной промышленности страны и качеству выпускаемой продукции. Отмечается перспективное направление научных исследований в плане поиска и изучения свойств энергосберегающего местного сырья и перспективы производства широкой номенклатуры бетонов для крупномасштабного строительства Ирака.

Руководство Ирака предпринимает большие усилия по обеспечению работы промышленности, восстановлению разрушенных в ходе войны в Персидском заливе промышленных объектов и строительству ряда новых.

К настоящему времени восстановлено практически 95% жизненно важных промышленных предприятий. Достигнут определенный прогресс в создании индустриальной базы с опорой на собственные силы.

Основными направлениями развития арабских государств являются индустриализация, дальнейшее развитие строительной отрасли и производств высокоэффективных строительных композитов. Это позволит обеспечить дальнейшее развитие городских поселений с наибольшим экономическим эффектом за счет увеличения плотности застройки, этажности зданий и экономии на этой земельных участках.

Рост народонаселения в развивающихся странах вызывает острые потребности в жилье. В городах республики Ирак в настоящее время осуществляется строительство жилья в основном с использованием бетона и железобетона.

Территория Ирака обладает богатыми месторождениями сырья, которое используются в производстве строительных материалов (известняк, песок, глинистые породы, гипс), а также месторождениями железа, алюминия и других металлов. В южном регионе Ирака присутствуют месторождения нефти, природного газа, ртути. Западный регион является богатым источником известняка, гипса, кремнезема, фосфатных пород и природного газа. Северный регион богат нефтью, газом, кремнеземом, железной рудой.

Большое внимание правительство страны уделяет отраслям стройиндустрии, так как разрушенные боевыми действиями населенные пункты требуют восстановления.

В последние годы Ирак столкнулся с большими изменениями в экономической и политической жизни, что способствовало расширению среды обитания населения, росту и развитию многих городов, появлению новых жилых комплексов. Архитектурными проектами, реализовано строительство автомобильных и железных дорог, мостов, плотин, электростанций и т.п. Все это находит свое отражение в росте производства и потребления строительных материалов, в их качественных характеристиках.

В Ираке действуют 9 цементных заводов. Они располагаются в различных районах страны и производят обычный и сульфатостойкий портландцементы. Основным сырьем цементной промышленности являются известняки и глины. Цемент выпускается в соответствии с международным стандартом 150–86 (49). Цементная продукция поступает на иракский рынок и экспортируется в другие страны (табл. 1).

Таблица 1 – Мощность цементных предприятий Ирака и виды выпускаемой продукции

Наименование предприятия	Мощность, млн. т/год	Вид выпускаемого цемента	Класс выпускаемого бетона
Кубайса	2	Портландцемент обычный	B25–B35
Аль-Каим	1	Портландцемент сульфатостойкий	B25–B35
Киркук	2	Портландцемент обычный	B15–B25
Куфа	1,7	Портландцемент обычный	B25–B35
Наджаф	0,15	Портландцемент	B 25–B35

		сульфатостойкий	
Кербела	1,9	Портландцемент сульфатостойкий	B20–B30
Муганна	1,9	Портландцемент обычный	B20–B30
Самава	0,4	Портландцемент обычный и сульфатостойкий	B20–B30
Басра	0,6	Портландцемент обычный и сульфатостойкий	B7,5–B12,5

Одним из ведущих предприятий является цементный завод Аль-Каим (рис 1, а), расположенный в 450 км к северо-западу от Багдада и производящий сульфатостойкий портландцемент. Кубайса является вторым по значимости заводом (рис 1, б), который находится в 200 км к северо-западу от Багдада и производит обычный портландцемент (табл. 2,3).

Таблица 2 – Вещественный состав цемента

Завод Аль-Каим				Завод Кубайса			
Оксид	Кол-во, масс. %	Состав клинкера	Кол-во, масс. %	Оксид	Кол-во, масс. %	Состав клинкера	Кол-во, масс. %
CaO	60,72	C <sub>3</sub> S	42,84	CaO	62,65	C <sub>3</sub> S	49,5
SiO <sub>2</sub>	21,82	C <sub>2</sub> S	30,36	SiO <sub>2</sub>	21,90	C <sub>2</sub> S	23,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,0	C <sub>3</sub> A	2,56	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0	C <sub>3</sub> A	7,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,7	C <sub>4</sub> AF	15,41	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,0	C <sub>4</sub> AF	9,4
MgO	2,22			MgO	3,32		
SO <sub>3</sub>	2,18			SO <sub>3</sub>	2,60		

$$K_{\text{нас.}} = 0,86$$

$$K_{\text{нас.}} = 0,9$$

Таблица 3 – Техничко-эксплуатационные свойства цемента\*

Завод Аль-Каим		Завод Кубайса	
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг			
365		285	
300–400		250–300	
Сроки схватывания			
Начало, мин.	Конец, ч	Начало, мин.	Конец, ч
130	3,5	165	3,8
Не ранее 45	Не позднее 10	Не ранее 45	Не позднее 10
Предел прочности при сжатии цементного раствора. МПа в возрасте:			

3 сут.	7 сут.	28 сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.
17,4	25,2	38,0	26,6	37,5	42,3
Не ниже 15	Не ниже 23	Не ниже 35	Не ниже 15	Не ниже 23	Не ниже 40

\* В верхней части – средние значения, в нижней – допустимые.

Как видно из приведенных таблиц, цемент, выпускаемых на обоих предприятиях соответствует международным требованиям по химическому и минеральному составам, отличается замедленными сроками схватывания в начальный период твердения. Отличительной особенностью этих видов цемента является низкий интервал между начальной и конечной стадиями процесса схватывания (1–1,5 ч), что свидетельствует об их эффективности в плане использования в качестве композиционных вяжущих.

Такие вяжущие могут стать более дешевой и малоэнергоёмкой продукцией, если в их составе использовать эффективные нанодисперсные модификаторы, полученные из сырьевых ресурсов с высокой свободной внутренней энергией [8-14]. Компонентами таких модификаторов может стать природное сырьё республики Ирак.

В основе для создания таких модификаторов должен стать грубомолотый портландцемент, производимый в стране. В качестве мелкого заполнителя используются природные пески или искусственные, полученные, путем отсева от дробления горных пород на щебень. Месторождения природных песков распространены в пустынных районах страны. Наиболее крупное из них находится вблизи г. Рамади (расположен на западе Ирака), мощностью 30 тыс. тонн в год. Кварцевый песок этого месторождения отличается относительно высокой природной чистотой, свободен от органических примесей, содержание глинистых примесей весьма незначительно, модуль крупности – 1,8 (табл. 4).

Таблица 4 – Гранулометрический состав песка

Размер отверстий сит, мм	Полные остатки на ситах, мм	Допустимые значения
5	4,8	0–25
2,5	19,1	10–45
1,25	32,3	10–45
0,63	50,3	40–65
0,315	81,4	70–92
0,14	0	90–100

Самым крупным по объему компонентом бетона является крупный заполнитель. Его в виде щебня получают при дроблении горных пород (преимущественно гранитов). Карьеры по добыче и производству щебня расположены в регионе Кубайсы близ того же города Рамади. Данные гранулометрического состава приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Гранулометрический состав гранитного щебня

Размер отверстий сит, мм	Полные остатки на ситах, мм	Допустимые значения
40	0	0–5
20	30	30–65
10	87	60–90
5	100	95–100

Бетон и железобетон, выпускаемые на предприятиях Ирака, поступают на производство фундаментов, стеновых панелей, стяжек под полы, различных строительных элементов (колонн, ферм, ригелей, плит перекрытий и т.п.). Годовой выпуск бетонных изделий различного класса прочности составляет около 30 млн. куб. м, при выпуске цемента 12 млн. тонн.



Рисунок 1 – Цементные заводы Аль-Каим (а) и Кубайса (б)

Из вышеизложенного можно сделать выводы о том, что государство Ирак располагает карьерами, содержащими высококачественное сырье, пригодное для производства строительных материалов, в частности композиционного цемента различного вида, бетонов и растворов на его основе. Происходящие в настоящее время в Ираке процессы роста промышленного и жилищного строительства, многочисленные реконструкции старых зданий требуют выпуска новых строительных материалов, отвечающих современным технико-эксплуатационным характеристикам. Для этого необходимо проведение исследований качества сырья, его пригодности для использования в стройиндустрии. Важнейшим аспектом таких исследований должно послужить изучение характеристик энергосберегающего сырья, возможности получения композиционных вяжущих и широкой номенклатуры эффективных композитов на их основе. Все это будет способствовать снижению энергозатрат, улучшению экологической обстановки и созданию комфортных условий для системы «человек-материал-среда обитания».

#### **Список литературы:**

1. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
2. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
3. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
4. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.
5. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
6. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
7. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород

- архангельской алмазонасной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13-18.
8. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходькин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
  9. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
  10. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
  11. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
  12. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Лесовик В.С., Дороганов Е.А. Оптимизация свойств силикатных материалов на основе известково-песчано-глинистого вяжущего // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 66-69.
  13. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
  14. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77-83.

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОМОЛА НА РЕОЛОГИЮ ТОНКОМОЛОТЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЦЕМЕНТОВ**

**Алфимова Н.И., канд. техн. наук,  
Трунов П.В., аспирант,  
Шадский Е.Е., студент,  
Попов Д.Ю.,  
Кузнецов В.А.**

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

Важнейшим направлением в строительном материаловедении, в настоящее время, является переход на производство композиционных вяжущих [1-5], при производстве которых иногда до 70% клинкера заменяется промышленными отходами [6-9].

В настоящее время производство композиционных вяжущих можно осуществить двумя способами путем помола клинкера и портландцемента с добавками. Второй способ на данный момент является наиболее реальным и осуществимым.

При этом в обоих случаях возможно осуществлять помол как однократно и многостадийно. При одностадийной схеме производится одновременная загрузка всех составляющих КВ и совместный помол. При многостадийной схеме все компоненты мелются раздельно до удельной поверхности самого высокодисперсного (например, портландцемента) и далее производится их совместный помол до заданной дисперсности конечного продукта [10].

В ходе эксперимента были выявлены закономерности изменения активности и времени затрачиваемого на помол тонкомолотых цементов в зависимости от способа изготовления композиционных вяжущих, количества кварцевого песка (кремнеземистый компонент) в смеси и его начальной удельной поверхности.

Доказано, что вне зависимости от соотношения компонентов в смеси, применение раздельного помола способствует существенному сокращению длительности процесса изготовления композиционных вяжущих, что обусловлено снижением негативного воздействия агрегации частиц. При этом наиболее целесообразным является помол кварцевого песка до удельной поверхности  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ , что позволяет сократить время и как следствие энергозатраты на изготовление композиционных вяжущих в среднем на 30% при увеличении их активности на 20% [11].



Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния способа помола на реологические свойства тонкомолотых цементов, которые имеют большое значение при производстве бетонов различного назначения. Исследования проводились с помощью установки ротационном вискозиметре «Реотест-2» с коасильными цилиндрами путем сопоставления изменения показателей эффективной вязкости от градиента скорости сдвига. В качестве объектов исследования были убраны ТМЦ-50 и ТМЦ-70, изготовленные совместным и раздельным помолом компонентов. Суспензии ТМЦ брались с одинаковыми значениями  $V/T=0,4$ .

Как известно суспензии на основе тонкомолотых цементов представляют собой композиционный дисперсный материал, отличительной особенностью которого является, сильно развитая межфазная поверхность и высокая концентрация дисперсных фаз в жидкой среде. Это способствует возникновению термодинамически устойчивых пространственных коагуляционных структур, которые образуют между собой частицы твердой фазы и разделяющие их прослойки жидкой дисперсионной среды.

Для данных структур характерны сравнительно слабые по силе контакты между частицами, прочность которых определяют ван-дер-ваальсовы молекулярные силы сцепления, которые согласно экспериментальным исследованиям и теоретическим расчетам составляет в среднем  $10^{-9} - 10^{-12}$  Н на контакт. Стоит отметить, что в большей степени прочность контактов от условий их образования, которые определяют значения фиксированной равновесной толщины прослойки жидкой фазы между твердыми частицами.

Для структурно-механических характеристик коагуляционных структур характерна ярко выраженная зависимость от воздействия механических и физико-химических факторов.

Зависимость равновесной эффективной вязкости от градиента скорости сдвига является примером такой чувствительности структурно-механических свойств двухфазной тиксотропной коагуляционной структуры к механическим воздействиям, возникающим при массопереносе. Показатели эффективной вязкости при этом отображает степень разрушения трехмерного структурного каркаса в ходе деформации системы при заданной скорости сдвига.

Анализ реологических параметров суспензий тонкомолотых цементов показал, что вне зависимости от способа помола и состава при росте градиента скорости сдвига для них характерно плавное снижение

показателей эффективной вязкости, т.е. система «ТМЦ - вода» отличается тиксотропным характером течения (рис. 1).

При этом ТМЦ, полученные по двухстадийной технологии в сравнении с ТМЦ, полученными по одностадийной технологии отличаются большими показателями начальной вязкости. Это можно объяснить тем, что способ производства КВ влияет на качественные характеристики компонентов композиционных вяжущих и в частности раздельный помол способствует более качественному помолу кварцевого песка, что способствует формированию более прочной пространственной коагуляционной структуры за счет роста свободных связей.

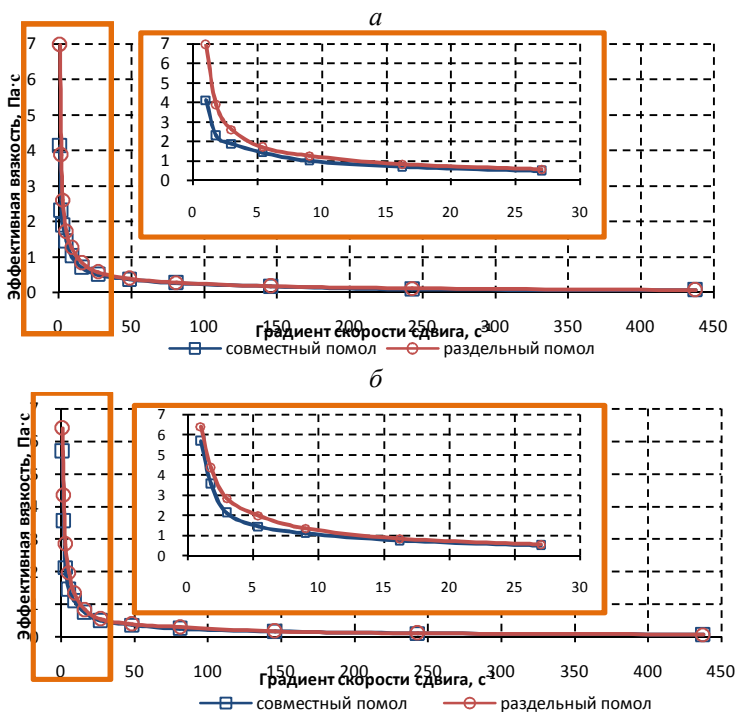


Рисунок 1 – Реограммы суспензий ТМЦ-70 (а) и ТМЦ-50 (б) изготовленных с использованием кварцевого песка в зависимости от способа помола

### Список литературы:

1. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
2. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
3. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
4. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
5. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
6. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазонасной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13-18.
7. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
8. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
9. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
10. Трунов П.В., Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Евтушенко Е.И. Влияние способа помола на энергоемкость изготовления и качественные характеристики композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 37-39.
11. Трунов П. В.К вопросу о повышении эффективности композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 79-84.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭФФЕКТИВНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРЖДЕНИЯ БЕТОНА**

**Андросов П.Д.,  
Замуруев О.В., канд. хим. наук,  
Вовк А.И., д-р техн. наук  
ОАО «ГК «Полипласт»**

При производстве сборного железобетона на стадию тепловлажностной/тепловой (ТВО/ТО) обработки изделий приходится до 70% затрат тепловой энергии, которая в общем объеме всей потребляемой энергии составляет более 50%.

Одним из эффективных путей экономии тепловой энергии является снижение температуры при ТВО/ТО обработке бетона. При снижении температуры до 50-65°C энергозатраты сокращаются на 20-25% по сравнению с прогревом при температуре 80°C.

При этом, при пониженных температурах экзотермические реакции гидратации минералов цемента компенсируют потери тепла в окружающую среду, в результате чего затраты тепла, необходимые для поддержания заданного уровня температуры на стадии изотермического прогрева стабилизируются на одном уровне. В то же время с увеличением длительности прогрева при температуре 80°C энергозатраты постоянно растут.

Таким образом, тепловая обработка бетона при пониженных температурах позволяет снизить энергозатраты и наиболее полно использовать тепло экзотермических реакций гидратации на стадии изотермического прогрева.

Однако, для сохранения производительности при переходе на более низкие температуры прогрева изделий, необходимо обеспечить требуемый уровень прочности изделий в те же сроки, что и при прогреве при 80°C. Это может быть достигнуто за счет использования эффективных добавок ускорителей твердения бетона.

Нами проведено сопоставление эффективности нескольких ускорителей твердения бетона – известного ускорителя, представляющего собой отходы металлургических производств (ПЛКП, Релаксол и др.) и разработанного компанией ОАО «ГК «Полипласт» ускорителя твердения бетона «Реламикс Д».

На рис. 1 и 2 представлены кривые тепловыделения цемента в интегральной и дифференциальной форме соответственно. При

проведении данного эксперимента использовалась цементно-песчаная смесь с соотношением 1:1, водоцементное отношение составляло 0,3. В обоих случаях в качестве пластификатора использовали добавку на основе полиметиленафталинсульфатов в количестве 0,3% от цемента, дозировка ускорителей составляла 0,3% для ПЛКП и 0,2% для «Реламикс Д».

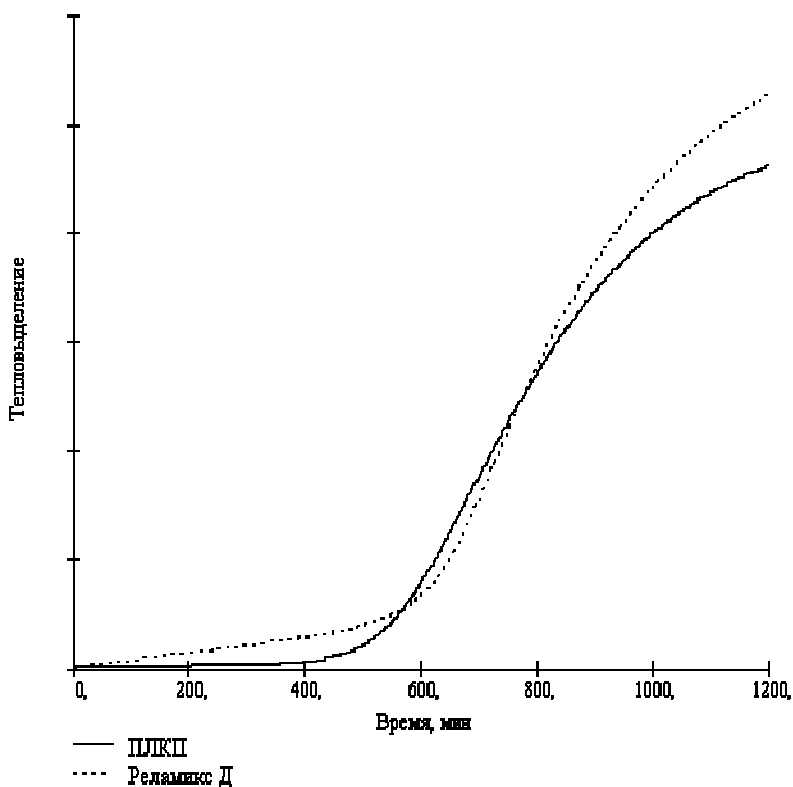


Рис. 1 Интегральные кривые тепловыделения

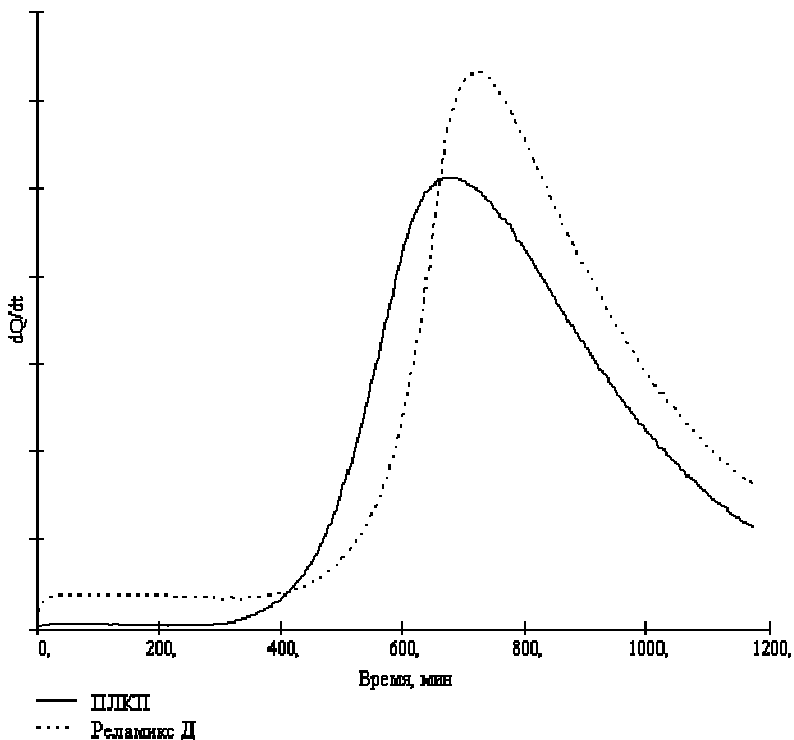


Рис.2 Дифференциальные тепловые кривые

Как видно, суммарный тепловой эффект гидратации за сутки при использовании добавки «Реламикс Д» выше. Математическая обработка полученных данных показывает, что разница в тепловыделении при гидратации цемента при использовании ускорителей ПЛКП и «Реламикс Д» составила 12,5%.

Для оценки эффективности добавок ускорителей твердения при пониженных температурах тепло-влажностной обработки были определены прочностные образцы бетона, твердевшего в нормальных условиях в течение суток, и подвергнутого тепло-влажностной обработке при 50 и 80°C в течение одинакового времени.

Для приготовления образцов бетона для испытаний использовалась бетонная смесь со следующими параметрами: цемент ПЦ-500-Д0, расход цемента – 350 кг/м<sup>3</sup>, водоцементное отношение – 0,52, исходная

подвижность бетонной смеси П4. В качестве пластификатора применяли добавку на основе полиметиленафталинсульфатов в количестве 0,45% от цемента, дозировка ускорителей составляла 0,3% для ПЛКП и 0,2% для «Реламикс Д». Данные по прочности на сжатие образцов бетона приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Прочность бетона при различных режимах твердения

Наименование добавки	Прочность на сжатие, МПа		
	1 сутки н.у.	ТВО 50°С	ТВО 80°С
ПНС	18,4	35,6	39,8
ПНС+ПЛКП 0,3%	21,9	37,3	40,4
ПНС+«Реламикс Д» 0,2%	24,5	39,2	40,1

Полученные результаты показывают, что наиболее существенный прирост прочности при использовании добавок ускорителей твердения наблюдается при твердении в нормальных условиях в течение суток. При тепло-влажностной обработке при 80°С существенной разницы в прочности образцов уже не наблюдается. То есть, при использовании высокотемпературного прогрева эффект действия ускорителя твердения практически нивелируется.

При низкотемпературных режимах ТВО действие ускорителей заметно сказывается на прочности образцов бетона. При этом следует отметить, что конечная прочность образца с добавкой «Реламикс Д» близка к прочности достигнутой при высокотемпературном прогреве.

Таким образом, применение высокоэффективного ускорителя твердения «Реламикс Д» (даже в низких дозировках ~0,2% от массы цемента) позволяет снизить температуру тепло-влажностной обработки бетона до 50°С без потери прочности изделий, что позволяет сократить затраты тепловой энергии при производстве сборного железобетона на 25% и более. Аналогичные результаты, по эффективности применения добавки «Реламикс Д», получены при ее совместном использовании с суперпластификаторами поликарбоксилатного типа и лигносульфонатами.

## **К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЯЧЕИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аниканова Т.В., канд. техн. наук, доц.,  
Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.**

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

Сложный характер структуры и механизма теплопереноса в дисперсных телах (кондукция, конвекция, излучение и др.) обусловил применение к ним термина «эффективная теплопроводность» [1,2]. В этом случае эффективная теплопроводность имеет смысл коэффициента пропорциональности между усредненным по объему тепловым потоком и градиентом температур. Для того чтобы эффективная теплопроводность не зависела от размеров объекта, размеры не только микро-, но и макронеоднородностей должны быть много меньше размеров этого объема. Очевидно, что это требование не всегда выполняется для реальных изделий. Следует подчеркнуть, что понятие эффективной теплопроводности характеризует среднее сглаженное распределение температур по изделию.

В настоящее время можно считать доказанным, что эффективные теплофизические свойства в общем случае зависят от размеров образцов, их формы, скорости подъема температуры, величины теплового потока [2-6]. Зависимость эффективной теплопроводности от краевых условий связана с особенностями переноса излучением, процессами тепло- и массообмена, физико-химическими превращениями и др.

Известно, что перенос тепла в поре определяется, прежде всего, характером движения теплоносителя, но зависит также от его тепловых свойств. По мере приближения к стенке интенсивность теплоотдачи падает. Это объясняется тем, что вблизи стенки образуется тепловой пограничный слой [7].

Если за пределами внешней границы теплового пограничного слоя преобладающее влияние на теплообмен оказывает конвективный перенос, то в самом слое, по мере приближения к стенке, все большее значение приобретает теплопроводность, а в непосредственной близости от стенки (в весьма тонком тепловом подслое) перенос тепла по нормали и стенке осуществляется только теплопроводностью.



Тепловым пограничным подслоем считается пристенный слой, в котором влияние турбулентных пульсаций на перенос тепла становится пренебрежимо малым. С развитием турбулентности потока пограничный слой становится настолько тонким, что конвекция начинает оказывать доминирующее влияние на теплообмен [7].

Критерии подобия являются мерами соотношения между какими-то двумя эффектами, существенными для рассматриваемого процесса. Они обладают всеми свойствами инвариантов: они безразмерны, для сходственных точек подобных систем не зависят от относительных размеров натуре и модели. В силу безразмерности числовые значения критериев подобия не зависят от применяемой системы единиц.

Критерии подобия могут быть получены для любого процесса, если известны преддифференциальные уравнения, описывающие процесс. Вместе с тем следует отметить, что один и тот же процесс, которому соответствует определенное дифференциальное уравнение, может быть интегрально описан при использовании различных систем критериев. Рассмотрим важнейшие из них.

Критерий Прандтля:

$$\frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \text{Pr} \quad (1)$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с, который равен  $\frac{\mu}{\rho}$ ;  $a$  – температуропроводность, м<sup>2</sup>/с, равная  $\frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}$ ;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $c_p$  – теплоемкость, Дж/(кг·°С);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

Критерий Прандтля характеризует подобие физических свойств теплоносителей в процессах конвективного теплообмена. Он является мерой подобия полей температур и скоростей, показывает отношение сил вязкости к интенсивности теплопереноса.

Критерии Грасгофа и Рэлея описывают процессы переноса в поле силы тяжести.

Критерий Грасгофа:

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot L^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $L$  – определяющий геометрический размер, м;  $\beta$  – коэффициент объемного теплового расширения газа, °С<sup>-1</sup>;  $\Delta t$  – разность температур, °С.

Он представляет собой соотношение сил внутреннего трения (вязкости) и подъемной силы, определяемой разностью плотностей в различных точках неизотермического потока. Иными словами, он показывает отношение сил, вызывающих движение пузырька вверх, к силам внутреннего трения – вязкости.

Критерий Рэлея:

$$Ra = \frac{g \cdot L^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu \cdot a} = \frac{g \cdot L^3 \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot c \cdot \rho}{\nu \cdot \lambda} \quad (3)$$

Критерий Рэлея показывает отношение величины теплового расширения к силам вязкости и теплопроводности.

Нетрудно заметить, что критерий Рэлея является произведением критериев Грасгофа и Прандтля, то есть:

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (4)$$

Из этого следует, что критерий Рэлея не является самостоятельной величиной, а есть производная критериев Грасгофа и Прандтля.

Симплекс подобия (или число) Кнудсена:

$$Kn = \frac{l}{\delta}, \quad (5)$$

где  $l$  – средняя длина свободного пробега молекул газа, м;  $\delta$  – определяющий размер объекта, в котором перемещается газ, м.

Число Кнудсена показывает отношение средней длины свободного пробега молекул газа к характерному размеру объекта, в котором перемещается газ.

Критерии подобия могут быть рассчитаны для любого процесса, если известны аналитические зависимости между характеризующими его величинами – дифференциальные уравнения, описывающие процесс [7].

Исследование тепловых свойств пористых систем может проводиться двумя путями. Первый путь – экспериментальное исследование теплофизических характеристик (теплопроводности и удельной теплоемкости) пористых материалов при помощи известных методов. Хотя теоретические предпосылки при этом в большинстве случаев соблюдаются с некоторым приближением, это дает возможность определить эффективные значения теплофизических характеристик с достаточно высокой точностью.

Однако чисто эмпирический подход к проблемам переноса тепла в сложных системах, как и при рассмотрении других явлений, явно недостаточен.

Весьма распространенным является второй путь, основанный на рассмотрении реальной структуры гетерогенной системы (число компонентов, пористость, размеры частиц и способы их контактирования между собой и др.), моделировании такой системы и последующего расчета ее эффективной теплопроводности для реальных условий, определяемых давлением газа в системе, температурой, механической нагрузкой, наличием конвективной и радиационной составляющих теплопроводности и др.

Авторы [8] отмечают, что неопределенность формы и размеров частиц, разнообразие способов их контактирования между собой, различная ориентация их по отношению к тепловому потоку, и наличие еще большого числа, на первый взгляд, неопределенных факторов делает процесс переноса тепла в твердых и зернистых гетерогенных системах очень сложным, не поддающимся математическому описанию и теоретическому анализу. Однако факты говорят об обратном. В настоящее время уже существуют теоретические зависимости, позволяющие с большей или меньшей точностью рассчитать эффективную теплопроводность пористых систем. Развитие работ и дальнейшие успехи в этой области могут привести к выявлению расчетных зависимостей для определения эффективной теплопроводности различных классов пористых материалов, что позволит сократить объем экспериментальных исследований, использовать последние в основном для проверки получаемых теоретических зависимостей.

Теплоперенос в порах осуществляется различными механизмами: теплопроводностью газа, тепловым излучением между стенками пор, конвекцией, гетерогенными физико-химическими процессами (испарение – конденсация, химические реакции и др.). При расчетах теплопроводности чаще всего предполагается, что указанные процессы являются независимыми и локализованы внутри поры; при этом ее

эффективную теплопроводность  $\lambda_{эфф}^n$  можно представить в виде

$$\lambda_{эфф}^n = f(\lambda_{конд}, \lambda_{изл}, \lambda_{конв}), \quad (6)$$

где  $\lambda_{конд}$  – составляющая теплопроводности, связанная с кондуктивной теплопроводностью газа или свободно-молекулярным переносом энергии молекулами газа;  $\lambda_{изл}$  – составляющая теплопроводности, обусловленная тепловым излучением между стенками пор;  $\lambda_{конв}$  – конвективная составляющая теплопроводности.

*Кондуктивный и свободно-молекулярный перенос энергии:* для теплоизоляционных материалов характерно распределение пор по размерам в широком диапазоне и, следовательно, широкий диапазон критериев Кнудсена, характеризующих механизм переноса энергии.

В зависимости от числа  $Kn$  можно выделить три основных режима переноса энергии. Область вакуума:  $Kn > 10$ , переходный режим  $10^{-1} < Kn \leq 10$ , область нормального, среднего и высокого давлений  $Kn < 10^{-1}$ . В области вакуума теплопроводность газовых прослоек прямо пропорциональна давлению газа, при нормальном и повышенном давлении газа эта зависимость очень слаба.

*Естественная конвекция в порах:* конвекция в единичной поре развивается при значении произведения критериев Грасгоффа и Прандтля [1,9]:

$$Gr \cdot Pr \geq 680. \quad (7)$$

Значения параметров, входящих в критерий  $Gr$ , относятся к определяющему размеру поры и перепаду температур на ней.

В большинстве случаев при комнатной температуре даже в относительно крупных порах (диаметром 1-2 мм) конвекция практически отсутствует и ее составляющей в формуле 6 можно пренебречь.

*Радиационная составляющая теплопроводности:* в большинстве работ по анализу эффективной теплопроводности дисперсных материалов предполагается, что стенки пор являются непрозрачными для теплового излучения. Это допущение значительно упрощает анализ и дает возможность представить выражение для радиационной теплопроводности в простой форме [6].

$$\lambda_{изл} = 4f\sigma T^3\delta, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>);  $\delta$  – размер поры;  $f$  – коэффициент, связанный с оптико-геометрическими характеристиками, принятой моделью поры и схемой расчета. В результате малых размеров пор реальных материалов значение расчетной величины  $\lambda_{изл}$  в эффективной теплопроводности, полученное по формуле 8, оказывается мало.

*Перенос тепла в порах за счет гомогенных и гетерогенных физико-химических процессов:* гомогенные (в газе) и гетерогенные (газ – твердая фаза, объем твердой фазы – поверхность) физико-химические процессы следует принимать во внимание только для материалов, применяющихся при высоких температурах и в различных газовых средах.

В ячеистых материалах передача тепла осуществляется теплопроводностью, тепловым излучением и конвекцией [10]. Автор [7] отмечает, что тепловое излучение играет существенную роль при температуре более 600°C. Так как пено- и газобетоны эксплуатируются при более низких температурах, то этой составляющей можно пренебречь.

Критерий Грасгофа представляет собой определяющий критерий подобия при естественной конвекции. При малых размерах пор, с увеличением температуры критерий Грасгофа практически не изменяется. Конвекция в единичной поре развивается при  $Gr \cdot Pr \geq 680$ . В нашем случае для газобетона с диаметром пор 0,5 мм и разницей температур в пределах поры 1°C  $Gr \cdot Pr = 3,1 \cdot 10^{-4}$ , для поры 3 мм и  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$   $Gr \cdot Pr = 0,34$ . Это гораздо меньше указанной величины, то есть естественная конвекция в порах газобетона практически отсутствует.

Для пенобетона с диаметром пор 0,5 мм и разницей температур в пределах единичной поры 1°C  $Gr \cdot Pr = 0,0156$ , для поры 3 мм и  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$   $Gr \cdot Pr = 16,87$ . Необходимо подчеркнуть, что произведенные расчеты относятся к единичной поре. Сделанные при этом допущения о разности температур, в пределах одной поры, равной 1°C, предполагают, что при толщине ограждающей стены, равной, как минимум, 20-30 сантиметров, общий перепад температуры превышает 100°C, что значительно превосходит реальные величины.

Анализ результатов работы [10] показывает, что конвекция в горизонтальном слое пористого материала, подогреваемого снизу, начинается при критическом значении критерия Рэлея  $Ra_{кр} > 40$ . Расчеты, представленные в [автореферат] свидетельствуют о том, что конвективной составляющей в тепловом сопротивлении можно пренебречь.

Передача тепла теплопроводностью будет складываться из коэффициента теплопроводности межпоровых перегородок  $\lambda_{МП}$  и коэффициента теплопроводности внутри пор  $\lambda_{ячеек}$ . Последняя состоит из теплопроводности теплового пограничного слоя ( $\lambda_{ТПС}$ ) и конвективного теплопереноса в поре (коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ).

При наличии устойчивого теплового пограничного слоя, конвективные потоки в порах, движущиеся от одного пограничного слоя к другому мало влияют на теплопроводность поры газонаполненного материала. В связи с этим теплозащитные свойства газонаполненных материалов прежде всего зависят от толщины теплового пограничного слоя и в меньшей степени от конвективной составляющей, так как, согласно теории переноса, тепловое сопротивление многослойных

материалов в основном определяется значением  $L_{\text{ячейки}}/\lambda_{\text{ячейки}}$  в слое с максимальным значением этой величины (здесь  $L_{\text{ячейки}}$  – определяющий размер ячейки (поры),  $\lambda_{\text{ячейки}}$  – коэффициент теплопроводности газа, заключенного в ней) [11, 12].

Из приведенных данных следует вывод, что в пено- и газобетонах, в которых диаметр пор не превышает 2-3 мм, конвективная составляющая теплопереноса не играет существенной роли, если температура не превышает 20-50°C.

Можно сделать выводы о том, что коэффициент теплопроводности, по крайней мере, для теплоизоляционных ячеистых материалов (пенобетон, газобетон) при средней плотности не более 300-400 кг/м<sup>3</sup>, при температуре до 30-40°C мало зависит от формы, размера ячеек, пористости перегородок и имеет минимальную зависимость от средней плотности.

### Список литературы

1. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1962. 456 с.
2. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. М.: Наука, 1976. 352 с.
3. Сергеев О.А., Мень А.А. Теплофизические свойства полупрозрачных материалов. М.: Стандарты, 1977. 288 с.
4. Шленский О.Ф. Тепловые свойства стеклопластиков. М.: Химия, 1973. 224 с.
5. Понкратов Б.Н., Полежаев Ю.В., Рудько А.К. Взаимодействие материалов с газовыми потоками. М.: Машиностроение, 1975. 224 с.
6. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справ. изд. М.: Энергия, 1972. 560 с.
7. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 752 с.
8. Васильев Л.Л., Фрайман Ю.Е. Теплофизические свойства плохих проводников тепла. Минск. Изд-во наука и техника, 1967. 176 с.
9. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: Справ. Изд. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
10. Литовский Е.Я., Пучкелевич Н.А. Теплофизические свойства огнеупоров. Справочное изд. М.: Металлургия, 1982. 152 с.
11. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. Некоторые вопросы снижения энерго- и материалоемкости, повышения качества строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2007. № 1. С. 23-25.
12. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. Теоретические аспекты улучшения теплотехнических характеристик пористых систем // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 26-28.

## **К ПРОБЛЕМЕ ЗАЩИТЫ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ**

**Баскаков П.С., аспирант,  
Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.,  
Гриненкова Л.А., студент**

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

На сегодняшний день главной тенденцией развития лакокрасочных материалов (ЛКМ) является стремление потребителей максимально улучшить качество жизни за счет использования экологически безопасной продукции. В свою очередь производители ЛКМ в связи с ужесточением природоохранного законодательства все больше наращивают производство водно-дисперсионных и акриловых водоразбавляемых материалов. К сожалению, широкому распространению водорастворимых красок препятствует их высокий уровень микробиологического заражения, связанный с применением биочувствительных веществ (нутриентов микроорганизмов), в присутствии воды, при ненадлежащем уровне промышленной гигиены.

Практически любой сырьевой компонент водно-дисперсионной краски может оказаться источником бактериального заражения всей технологической линии: пигменты (особенно производные глины), водные пасты, полимерные дисперсии, растворы эмульгаторов, диспергаторов и загустителей (особенно целлюлозные производные, крахмал) и др. Другим источником попадания микроорганизмов в технологическую цепочку служат контейнеры, трубопроводы, емкости для хранения, резервуары сточных вод и др. Если не предприняты меры биологической защиты, рост различных микроорганизмов (бактерий, грибка, плесени, водорослей) в присутствии влаги, кислорода воздуха и питательных веществ может произойти в течение нескольких суток или даже часов и привести к необратимой порче лакокрасочного материала. Метаболическая активность даже относительно небольшого количества микробов может очень сильно изменить продукт. Типичные изменения, возникающие в результате метаболизма микроорганизмов, включают [1]:

- резкое понижение вязкости;
- изменение величины pH;
- неприятный запах;
- изменение цвета (обесцвечивание);

- расслаивание;
- видимый рост колонии микроорганизмов на поверхности;
- образование газов.

В любом из этих случаев продукт портится, и его уже нельзя использовать по назначению. Основных причин две: неправильный выбор добавки и ее концентрации. В обоих случаях развитие микроорганизмов не сдерживается, что приводит к дополнительным затратам: использование дополнительных консервантов, утилизации испорченного продукта, расходами на очистку и дезинфекцию, проведения ремонта, потери имиджа торговой марки и репутации.

Вторая часть проблемы заключается в том, что и сами покрытия, особенно полученные из водно-дисперсионных красок, а также некоторые подложки могут оказаться подверженными биозаражению и биоповреждениям. Микроорганизмы в покрытии могут появиться вместе с нанесенной краской, из подложки или быть привнесенными из окружающей среды в процессе нанесения или эксплуатации покрытия. Результатом биоповреждения будет преждевременный выход покрытия из строя в результате обесцвечивания, потемнения, появления пятен, охрупчивания и растрескивания или отслоения от подложки, а также, чаще всего, повреждение подложки.

Особенно типичны биоповреждения для следующих материалов (рис. 1):

- непигментированные или малопигментированные покрытия по древесине, эксплуатируемые во влажных атмосферных условиях;
- фасадные покрытия;
- покрытия, используемые внутри сырых помещений, подвалов и др.;
- шпатлевки;
- водно-дисперсионные клеи и герметики;
- мастики для гидроизоляции крыш и полов.





(а) (б) (в)

Рисунок 1 – Проявление микроорганизмов в лакокрасочных материалах  
 а) – поражение плесенью темных сырых помещений  
 б) – заражение грибом краски в жидком состоянии  
 в) – усиленная коррозия железобетона, вызванная биологическим воздействием микроводорослей

В природе существует несколько тысяч видов бактерий, грибов и водорослей; сотни из них представляют опасность для красок и покрытий.

Различают бактериальную и микологическую биокоррозию. Все микроорганизмы делятся на аэробные и анаэробные. Аэробные существуют и размножаются только при наличии кислорода. Анаэробным для нормальной жизнедеятельности кислород не требуется. В природных средах аэробные и анаэробные микроорганизмы существуют совместно.

Чаще всего протекает **бактериальная биокоррозия**. Она же и наиболее разрушительна. Данный вид встречается в воде, почве, топливе при наличии бактерий. Бактерии очень быстро размножаются и легко приспосабливаются к всевозможным условиям окружающей среды. Бактериальная биокоррозия может протекать при pH среды от 1 до 10,5 и температуре (чаще всего) 6 – 40°C при наличии различных органических и неорганических веществ, содержащих кислород, углерод, водород, железо, азот, калий, серу и т.д. Более десятка видов бактерий представляет опасность для водно-дисперсионных красок: *Aerobacter* sp., *Vacillus* sp., *Citrobacter* sp., *Proteus* sp. и др.

Отвратительный запах — первый признак бактериального поражения материала.

**Грибки.** Эта группа включает разнообразные виды одно- и многоклеточных организмов, которые непосредственно питаются целлюлозной и белковой пищей. Различные виды грибов вызывают разные типы поражений, отличающиеся даже по цвету (от черных и цветных до белесых пятен). Рост грибка ускоряется во влажной среде и сильно влияет как на внешний вид, так и на эксплуатационные свойства покрытий, вызывая цветовые изменения и разрушение пленки вследствие растрескивания, отслоения и др.

**Микроводоросли.** Это простейшие организмы, которые получают энергию, развиваются и размножаются за счет процесса фотосинтеза, используя солнечный свет, воду, углекислый газ и несколько рассеянных элементов. Водоросли ухудшают в основном декоративные свойства покрытий, но также, способствуя удержанию влаги, ускоряют разрушение покрытий, например фасадных, в процессе эксплуатации.

Для борьбы с биодеструкцией и контроля роста микроорганизмов в вододисперсионных лакокрасочных материалах необходимо использовать биоактивные (биоцидные) добавки. В настоящий момент по объему потребления биоцидов лакокрасочная промышленность занимают одно из первых мест среди других добавок.

Концентрацию добавки выбирают либо опытным путем, либо экспериментальными методами, подвергая продукт воздействию определенного набора микроорганизмов. Помимо высокой эффективности к такому роду добавкам предъявляются следующие требования [2]:

- широкий диапазон действия к различным видам микроорганизмов;
- преодоление лекарственной устойчивости;
- низкая растворимость в воде, исключающая их выщелачивание в окружающую среду;
- устойчивость к УФ-излучению – для покрытий, эксплуатирующихся в атмосферных условиях.

В зависимости от воздействия на микроорганизмы различают три вида добавок:

- бактерициды – добавки, препятствующие развитию бактерий;
- фунгициды – добавки, препятствующие росту грибов;
- альгициды – соединения, препятствующие развитию водорослей.

В зависимости от назначения различают следующие типы биоцидов:

1. Биологически активные покрытия, содержащие биоциды: гигиенические (антибактериальные) и противообрастающие (для защиты подводной части морских судов, погруженных в воду конструкций, платформ и др.). В них биоциды применяют в качестве целевых функциональных компонентов, а не как добавки, поэтому в книге они не рассматриваются. В последние годы появились так называемые «экологически активные» покрытия, способные активно улучшать среду обитания путем фотохимического разрушения смога и других промышленных загрязнений (фасадные покрытия «антисмог»), очищающие воздух в жилых помещениях (воздухоочищающие покрытия), и покрытия, устраняющие запахи («антикурительные»).

2. Защита от микробиологического поражения жидких красок (главным образом водно-дисперсионных) и покрытий, особенно таких, которые содержат питательные вещества для микроорганизмов (нутриенты), либо нанесенных на биочувствительные подложки, например древесину. Особенно важны предупредительные гигиенические мероприятия в цехах по выпуску дисперсий и водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, так как в них в большом количестве присутствуют два компонента, необходимые для размножения микроорганизмов, — нутриенты и вода; в цехах, использующих белковое сырье, а также в складских помещениях [3].

3. Биоциды для защиты покрытий. Биоразрушение покрытий под действием грибов и водорослей включает не только изменение внешнего вида, но и их разрушение под действием органических кислот, ферментов, и других химически активных соединений, выделяемых грибами и водорослями в процессе их жизнедеятельности.

*Заключение.* По объемам выпускаемой продукции лакокрасочная промышленность занимает далеко не первое место в списке производств, наносящих вред экологии, однако, и эта отрасль стала объектом природоохранного законодательства во многих странах мира и на международном уровне. Из-за сокращения доли летучих органических соединений и введения водно-дисперсных пленкообразующих, защита от микробиологического поражения становится более проблематичной задачей. Учитывая феномен быстрой адаптации микроорганизмов, в лакокрасочной промышленности существует острая необходимость в разработке новых эффективных

биоцидов обладающих большинством из вышеперечисленных характеристик.

**Список литературы:**

1. Schmidt B.W., Giliat J. PPSJ. 2005. № 1 (January). P 81–83.
2. Толмачев И.А., Петренко Н.А. Водно-дисперсионные краски: краткое руководство для инженеров-технологов. М.: Издательство Пэйнт-Медиа, 2010. 106 с.
3. Никитин А. Биоциды для водоразбавляемых лакокрасочных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2007. № 6. С. 25–27.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОЛОТХОДОВ НА ОСНОВЕ КАВИТИРОВАННОГО ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА**

**Белогурова Т.П., канд. техн. наук,**

**Цырятьева А.В., инженер**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья  
им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН*

В последние годы интерес к использованию угля в мире постоянно растет. Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2020 года» в России, располагающей практически безграничными запасами угля, предполагается постепенное увеличение его использования в топливно-энергетическом балансе страны. При этом планируется повышение эффективности использования угля путем освоения новых технологий его переработки и сжигания.

Одной из перспективных технологий использования угля является приготовление на его основе композиционного жидкого водоугольного топлива (ВУТ) [1]. В этой связи наиболее актуальными становятся вопросы приготовления, хранения, транспортирования и сжигания водоугольного топлива. Наиболее интересные из них касаются разработки эффективных технологических схем получения ВУТ [2-4]. Технология приготовления ВУТ развивается в основном за счет использования при мокром помоле различных физических эффектов. Это, прежде всего, ультразвуковые, инверсионные, кавитационные, гидроударные и другие эффекты, получаемые в специально разрабатываемых аппаратах и установках. Одним из практически применяемых методов является использование кавитационной обработки водоугольной суспензии для приготовления водоугольного топлива [5].

В ИХТРЭМС КНЦ РАН совместно с Институтом теплофизики СО РАН (ИТ СО РАН) проводятся исследования по оптимизации технологии приготовления и сжигания ВУТ, изучению получаемых золотходов и эффективности их использования в бетонах. В настоящей работе приведены результаты исследования золотходов от сжигания двух проб ВУТ на основе молотого кузнецкого каменного угля марки ГД, одна из которых была модифицирована с помощью кавитационной обработки. Пробы ВУТ в сухом виде для исследований были подготовлены в ИТ СО РАН, где выполнена и кавитационная обработка

одного из образцов с использованием роторного гидродинамического генератора кавитации [6].

Важными показателями ВУТ является гранулометрический состав и дисперсность. Ситовым анализом определено, что основная масса частиц ВУТ проходит сквозь сито 0.071 мм. Наиболее тонкодисперсной является проба ВУТ-2 с кавитационной обработкой. С помощью лазерного дифракционного анализатора SALD-201V установлено, что максимальная величина частиц сухого ВУТ не превышает 100 мкм, при этом 75% частиц имеет размер менее 60 мкм. Определение пористости ВУТ, выполненное по адсорбции азота на газоанализаторе TriStar-3020 показало, что исходные материалы обладают достаточно высокой пористостью с преобладанием пор диаметром до 20 нм. При этом их средний объем ( $0.03 \text{ см}^3/\text{г}$ ) на порядок выше объема микропор ( $0.001 \text{ см}^3/\text{г}$ ). Таким образом, по гранулометрическому составу и структуре обе пробы сухого ВУТ являются тонкодисперсными и высокопористыми продуктами, что позволяет использовать их в качестве водоугольного топлива.

Для приготовления ВУТ было принято рекомендуемое соотношение угля и воды – 60:40. При этом вязкость полученных суспензий, измеренная на вискозиметре ВЗ-4, составила у ВУТ-1 – 15 с, у ВУТ-2 – 13 с, что соответствует заданным характеристикам водоугольного топлива. Стабильность водоугольных суспензий определялась по высоте слоя жидкой фазы, образовавшейся в результате их самопроизвольного уплотнения и отжима из них водной дисперсионной среды с течением времени. Исследования показали, что через 50 суток эксперимента в ВУТ-1 слой мутной жидкости над уплотненной суспензией составлял 6.5 см. В ВУТ-2 не наблюдалось четкой границы между жидкой фазой и уплотненной суспензией. Высота гелеобразного осадка сметанообразной консистенции меньшей плотности, чем основная масса суспензии, составляла около 5 см, что указывает на большую стабильность ВУТ-2, подвергнутого кавитационной обработке.

С целью получения золоотходов пробы ВУТ подвергались сжиганию в электрической муфельной печи при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение 1 часа. Необходимо отметить, что проба ВУТ-2 сгорала практически полностью с минимальным количеством золы. Это свидетельствует о том, что для ВУТ с кавитационной обработкой процесс горения в среде водяного пара характеризуется наибольшей полнотой выгорания топлива.

Из данных химического анализа видно, что главными компонентами в составе золоотходов являются (мас.%):  $\text{SiO}_2$  – 51.84-58.59,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13.00-15.22,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 5.76-7.82,  $\text{CaO}$  – 2.55-3.25,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1.75-2.22,  $\text{MgO}$  – 1.49-1.66,  $\text{K}_2\text{O}$  – 1.19-1.76,  $\text{TiO}_2$  – 0.84-1.66, к второстепенным относятся  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0.23-0.57,  $\text{C}$  – 0.11-0.64,  $\text{SO}_3$  – 0.09-0.12; п.п.п. – 2.10-6.55. По сравнению с ранее изученными золоотходами от сжигания ВУТ [7], данные золоотходы характеризуются более полным сгоранием углерода, низким содержанием оксидов железа и серы. На основании полученных данных золоотходы относятся к группе скрыто активных материалов и могут рекомендоваться в качестве комплексных вяжущих, твердеющих при тепловой обработке с активизаторами.

По данным лазерного дифракционного анализатора, золоотходы в основном имеют размер частиц до 90 мкм. При этом 75% частиц имеют размер 20-38 мкм. Наиболее дисперсными являются золоотходы от сжигания пробы ВУТ-2, подвергнутой кавитационной обработке.

Пористость золоотходов намного выше исходных материалов. Общий объем пор достигает 60% объема частиц золы. При этом в золоотходах преобладают мелкие (от 5.5 до 10 нм) и неглубокие (до 4.5 нм) поры, а их общая площадь ( $12.3 \text{ м}^2/\text{г}$ ) в 10 раз больше исходного ВУТ. В целом, для золоотходов характерно значительное содержание частиц с мелкими замкнутыми порами, которые являются результатом вспучивания расплавленной минеральной массы газами, выделяющимися при дегидратации глинистых минералов, диссоциации частиц известняка, гипса и органических веществ. Высокое содержание микропор в золоотходах обуславливает высокое значение ее действительной удельной поверхности, которая на порядок выше удельной поверхности угля.

На рис. 1 представлены фотографии исследования золоотходов от сжигания двух проб ВУТ, выполненные в отраженном свете с помощью микроскопа Ultraphot-3.

Установлено, что исследованные продукты сгорания состоят в основном из частиц пористого шлака (90-96%), глобул гематита (2-5%) и обломков силикатного состава (2-6%). Золоотходы от сжигания ВУТ-1 характеризуются небольшим количеством включений гематита, при этом шлаковые частицы часто удлинённые, в виде цепочек.

Для золоотходов пробы ВУТ-2 характерно высокое содержание включений гематита в стекле шлака, часто с неравномерным распределением, и отсутствие глобул гематита. Проведенные исследования показали, что кавитационная обработка приводит к

блокированию выхода железа из стекла и обособлению его в виде глобул гематита.

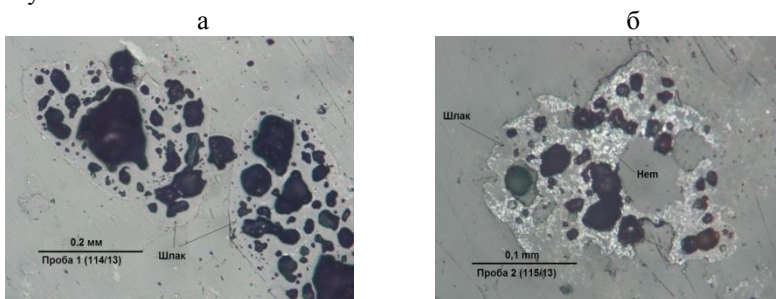


Рисунок 1 – Пористые частицы шлака с разным содержанием гематита в золоотходах от сжигания ВУТ: а – ВУТ-1; б – ВУТ-2

На рис. 2 представлены фотографии микроструктуры поверхности золоотходов от сжигания двух проб ВУТ, выполненные с помощью растрового микроскопа SEM LEO-420.

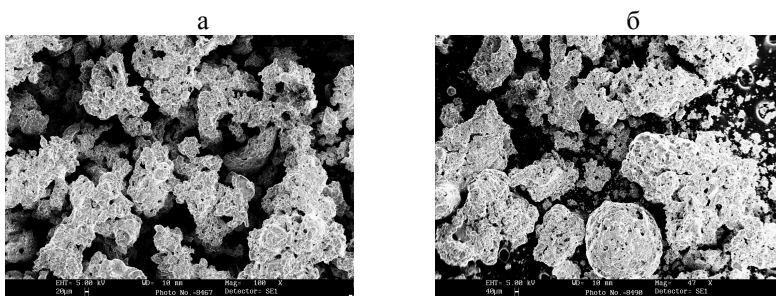


Рисунок 2 – Микроструктура золоотходов от сжигания ВУТ: а – ВУТ-1; б – ВУТ-2

Исследования показали, что структура золоотходов характеризуется наличием большого количества стекловидных сферических частиц и их агломератов размером от 1 до 30 мкм, большинство из которых имеют пористую губчатую поверхность со сквозными и замкнутыми порами различного диаметра. Некоторые частицы золоотходов содержат небольшое количество полых сфер, пустых (ценосферы) или упакованных внутри меньшими сферами (плеросферы). Особая пористая структура золоотходов от сжигания ВУТ образована под влиянием воздействия воды при сжигании ВУТ в парообразном состоянии. Кавитационная обработка способствует



созданию за счет деструкции молекул угля с образованием свободных радикалов активной дисперсионной среды, в которой вода и другие компоненты находятся в возбужденном состоянии, что сказывается на структуре золоотходов.

Дальнейшие исследования планируется направить на изучение взаимосвязи состава, структуры и свойств золоотходов от сжигания ВУТ как наполнителя бетонов.

#### **Список литературы:**

1. Зайденварг В.Е., Трубецкой К.Н., Мурко В.И., Нехороший И.Х. Производство и использование водоугольного топлива. М.: Изд-во академии горных наук, 2001. 176 с.
2. Пат. 2268289 Российская Федерация. Способ получения композиционного водоугольного топлива [Текст] / Мурко В. И., Федяев В. И., Дзюба Д. А.; 2006, Бюл. №2.
3. Пат. 2178455 Российская Федерация. Способ получения водоугольного топлива [Текст] / Делягин Г. Н., Петраков А. П., Ерохин С. Ф.; 2002, Бюл. №2.
4. Пат. 1586170 Российская Федерация. Способ получения водоугольной суспензии [Текст] / Ходаков Г. С., Золотухин В. С., Редькина Н. И.; 1995, Бюл. №8.
5. Кавитационные технологии для приготовления жидкого угля. <http://liquidcoal.ru/2008/06/16/28>.
6. Пат. 2346733 Российская Федерация. Генератор кавитации [Текст] / Мальцев Л. И., Петрова Е. А., Самахов А. А., Парфенов А. Н.; 2010, Бюл. № 23.
7. Крашенинников О.Н., Белогурова Т.П., Мальцев Л.И., Кравченко И.В. К проблеме утилизации золоотходов от сжигания водоугольного топлива // Строительные материалы. 2010. № 11. С. 10-11.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБАВОК В ДОРОЖНЫХ БЕТОНАХ

**Боцман Л.Н., канд. техн. наук, доц.,**

**Гуляев А.И., магистрант,**

**Ищенко А.В., аспирант**

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

В технологии бетонных работ в строительстве цементобетонных покрытий и оснований широкой применение нашли химические добавки, позволяющие направленно влиять на процессы структурообразования цементного камня и бетона, модифицировать структурообразования цементного камня и бетона, улучшать технологические свойства бетонной смеси и обеспечивать и обеспечивать высокую долговечность бетона в покрытии. Роль химических добавок в технологии дорожного бетона настолько велика, что в настоящее время бетонная смесь должна всегда приготавливаться с теми или иными химическими добавками, комплексными или одиночными.

Большинство рассматриваемых добавок – органических ПАВ – относятся к ионогенным анионоактивным веществам. По механизму действия добавки ПАВ делятся на гидрофилизующие гидрофобизирующие. Необходимой воздухововлечение обеспечивается с помощью гидрофобизирующих ПАВ, которые являются микропенообразователями. Кроме того, такие ПАВ уменьшают смачиваемость стенок пор и капилляров, а также повышают связность (нерасслаиваемость) и подвижность бетонной смеси. Для них характерна не только физическая адсорбция, но и хемосорбция.

Бетон является капиллярно–пористым конгломератом, при этом все поры можно классифицировать на поры цементного камня, поры заполнителя и поры на контакте цементного камня и заполнителя. Одним из важных параметров пористости бетона является воздушная фаза, определяющая в значительной степени его морозостойкость.

Основным фактором образования резервной воздушной фазы в бетоне является воздухововлекающее действие специальных химических добавок – микропенообразователей (гидрофобизирующих) ПАВ. Такие ПАВ уменьшают смачиваемость стенок пор и капилляров, а также повышают связность (нерасслаиваемость) и подвижность бетонной смеси. Для них характерна не только физическая адсорбция, но и хемосорбция.

При изготовлении дорожных бетонов для увеличения их морозостойкости широко применяются такие добавки, как добавка СНВ – смола нейтрализованная воздухововлекающая, добавка СДО, представляющая собой омыленную древесную смолу, которую получают при пиролизе древесины, и добавка СВП (смола воздухововлекающая пековая), которая несколько менее эффективна, чем СНВ.

Возможно использование и других воздухововлекающих добавок, таких как газообразующие. В процессе химического взаимодействия этих добавок с гидроксидом кальция выделяется водород, пузырьки которого создают в бетоне систему условно–замкнутых пор с гидрофобизированными стенками. Образующаяся воздушная фаза снижает прочность бетона, поэтому для снижения расхода цемента наряду с воздухововлекающими используют пластифицирующие добавки [1].

В литературе отмечается, что отличительной особенностью жесткой мелкозернистой бетонной смеси является тот факт, что в ней и без введения воздухововлекающей добавки формируется устойчивая воздушная фаза, преобразующаяся в бетоне в систему резервных условно–закрытых пор, повышающих морозостойкость. Поэтому комплексные добавки типа ЛСТ + СНВ в жестких мелкозернистых смесях применяют, прежде всего, с целью снижения водопотребности смеси. И только в случае формирования недостаточно морозостойкой структуры мелкозернистого бетона (по результатам испытания бетона на морозостойкость) для дополнительной модификации воздушной пористости и гидрофобизации стенок пор и капилляров вводят комплексные добавки ПАВ.

Основная задача технологии приготовления бетона заключается в достижении в самом начале структурообразования цементных систем высокой однородности приготавливаемой смеси с минимальной вязкостью или максимальной текучестью при минимально возможном содержании дисперсионной среды (воды), близкой к теоретически необходимому. Этой воды должно быть достаточно для превращения высококонцентрированного цементного теста и бетонной смеси на ее основе в плотный, прочный и долговечный камень.

Появление во второй половине 80–х годов эффективных добавок в бетоны, называемых суперпластификаторами, позволило существенно улучшить физико–механические свойства бетонов и технологические характеристики бетонных смесей. Уже тогда появилась возможность

резко увеличить прочностные характеристики бетонов, широко применить для бетонирования особо сложных конструкций литье.

Эти химические добавки (гидрофилизирующие ПАВ) при их оптимальных дозировках, в зависимости от химико-минералогического состава применяемого цемента, способны снизить расход воды затворения на 20–25% при сохранении заданной консистенции цементного теста и бетонной смеси и повысить прочность цементных композиций в 1,3–1,5 раза [2].

Кроме того, при снижении водопотребности улучшается структура бетона, уменьшается объем капиллярных пор и под влиянием ПАВ модифицируется микроструктура цементного камня.

К наиболее широко применяемым в дорожных бетонах и эффективным пластификаторам относятся добавки на основе лигносульфонатов, представляющие соли лигносульфоновых кислот. Эти добавки обладают и небольшим воздухововлекающим действием (2...3%).

В качестве добавок суперпластификаторов для дорожного бетона изучены суперпластификатор С-3 по ТУ 6–14–625–80 и диспергатор НФ марки А по ГОСТ 6848–79 на нафталинформальдегидной основе.

В бетонную смесь для бетонных оснований рекомендуется вводить одиночную или комплексную пластифицирующую добавку, но в особых случаях (в условиях сухого и жаркого климата, при большой дальности транспортирования) для улучшения технологических свойств смеси можно вводить в комплексе с пластификаторами и воздухововлекающую добавку с обеспечением небольшого (2...4%) объема вовлеченного воздуха.

Широко применяются активные минеральные добавки, добавки из отходов производств. Так, например, применение в дорожном бетоне добавки аморфного кремнезема, образующегося в системе пылеудаления при производстве феррокремния и металлического кремния является одним из направлений повышения долговечности цементобетонных покрытий. Такая кремнеземсодержащая добавка получила название «микросилика». Этот материал при добавлении в бетонную смесь благодаря пуццолановому действию увеличивает объем гидросиликатов кальция, снижая содержание гидроксидов кальция. Прочность бетона с микросиликой повышается более, чем в 1,5 раза (до 100 МПа при сжатии); значительно повышается износостойкость и морозостойкость. Но из-за особенностей свойств микросилики усложняется технология бетонных работ, в особенности приготовление бетонной смеси и уход за свежеложенным бетоном.

Одной из проблем использования цементобетона в дорожном строительстве по сравнению с асфальтобетоном является более длительный срок строительства, связанный с процессом твердения до требуемой прочности [3]. Эта проблема также решается с помощью применения химических добавок типа суперпластификаторов, воздухововлекающих в сочетании с пластифицирующими, ускорителей твердения, а также при применении вяжущего с высокой начальной активностью [4] и укатанного бетона.

Что касается применения добавок в самом укатываемом бетоне, то на этот счет существует множество мнений.

Так, например, в Канаде и Швеции считается, что использование воздухововлекающих добавок не будет оказывать существенного влияния на образование системы воздушных пор. Для повышения морозостойкости бетона может быть использована добавка кремнийсодержащей пыли уноса ( $\text{SiO}_2$ ) при содержании 10% от массы цемента.

Известен опыт введения добавки гексафторсиликата магния в количестве 0,5–5% в виде раствора с концентрацией 5–20% и лигносульфоната щелочного или щелочноземельного металла в количестве до 0,5% от массы вяжущего, чтобы повысить трещиностойкость и прочность бетона (на 15–30%), а также отказаться от устройства защитного слоя.

Чтобы устранить расслоение смеси и хрупкость (обезвоживание) верхнего слоя покрытия дороги, предлагается вводить в смесь водную суспензию или эмульсию полимера, желательно в сочетании с пластифицирующими поверхностно–активными веществами. В качестве полимера наиболее часто используют стирол, бутадиев, полиэфир, производные полиэтилена, полиуретана, полиизоцианатов, силиконов, акриловые и аналогичные соединения в количестве 0,5–5% от массы минеральных материалов.

При отрицательных температурах воздуха для устройства дорожных одежд из укатываемого бетона рекомендуется применять противоморозные добавки: хлористые соли натрия и кальция (ХН, ХК), нитрита натрия (НН) и нитрит–нитрат–хлорид кальция (ННХК) [5].

При использовании пластифицирующей добавки ВРП–В (0,03% от массы вяжущего) образцы укатываемого бетона через 150 циклов попеременного замораживания–оттаивания в 5% растворе NaCl не показали каких–либо признаков разрушения и снижения прочности.

Таким образом, для получения долговечных бетонных покрытий дорог, необходимо создавать бетонные смеси, характеризующиеся

способностью самоуплотняться без расслоения, обеспечивающие бетону требуемые значения по прочности, морозостойкости и других эксплуатационных характеристик.

#### **Список литературы:**

1. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Прогнозирование свойств бетонных смесей и бетонов с техногенными отходами // Изв. ВУЗов. Строительство. 1997. № 4. С. 68–72.
2. Грушко И.М., Валяевский В.И., Козаков В.Н. Бетон с комплексными химическими добавками // Автомобильные дороги. 1991. № 10. С. 23–24.
3. Духовный Г.С., Мирошниченко С.И., Головина О.Н. Повышение эффективности автомобильных дорог промышленного транспорта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 155–157.
4. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29–32.
5. Косухин А.М., Косухин М.М., Шаповалов Н.А. Композиционное вяжущее для высокоморозостойких дорожных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 51–52.

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗВЕСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Боцман Л.Н., канд. техн. наук, доц.,**

**Шарунов Е.Ю., магистрант,**

**Боцман А.Н., магистрант**

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

Долгое время известь не использовали для получения прочных и водостойких искусственных каменных изделий, так как в естественных условиях известь твердеет очень медленно и изделия получаются небольшой прочности (10–20 кг/см<sup>2</sup>), легко размокающими при действии воды. Однако в 1880 г. было установлено, что при автоклавной обработке известково-песчаных смесей (твердении в паровой среде при давлении пара 8 атм и более при температуре выше 170°С) могут быть получены очень прочные, водостойкие и долговечные изделия.

В настоящее время силикатные автоклавные материалы и изделия широко применяются в современном строительстве. Они занимают третье место среди стеновых конструктивных материалов, по объему производства уступая лишь керамическому кирпичу и сборному железобетону. Ведущее место в группе силикатных автоклавных материалов занимает силикатный кирпич и стеновые изделия из ячеистого бетона [1]. Быстрое развитие производства автоклавных материалов объясняется широкой распространенностью сырья, сравнительной простотой технологии, высоким качеством и низкой себестоимостью изделий. В настоящее время они все более широко используются в гражданском, промышленном, транспортном и других отраслях строительства.

Известь широко применяется в черной металлургии, сахарной и химической промышленности, а также в строительной отрасли и в сельском хозяйстве. Широкое разнообразие сфер использования извести влечет за собой и большое число разновидностей и типов данного материала.

Изготовленный из полностью натурального сырья, экологически чистый и безопасный материал, который более известен, как строительная известь, применяется в процессе приготовления строительных растворов, а также материалов для термоизоляции, в производстве силикатного кирпича, газобетона и шлакоблоков. Не

обходится без применения извести и такой процесс, как производство сухих строительных смесей, а также клеевых и штукатурных составов, растворов, используемых для кладки, а также для шпаклевок.

Измельченная негашеная известь используется, главным образом, в процессе производства бетонов и растворов. Примечательно, что в данном случае, отсутствие отходов и абсолютное использование в процессе твердения каждого компонента, будь то феррит, силикат, либокарбонат кальция, тонкоизмельченная известь, делает процесс ее применения наиболее оптимальным и предпочтительным, особенно в сравнении с рядом других видов данного материала [2]. Изделия, в процессе производства которых применялась негашеная строительная известь, известны такими своими качествами и характеристиками, как достаточно высокая прочность, высокие показатели плотности, водостойкость. Подобные свойства обеспечивают возможность применять данный материал при производстве силикатного кирпича, а также для производства стабилизирующих и укрепляющих растворов, необходимых при строительстве дорог. Достаточно широко используется известь негашеная и в таких отраслях, как птицеводство и рыбоводство – в качестве материала для дезинфекции, в сельском хозяйстве – для обработки, а также для очистки сточных вод, для восстановления плодородности почв.

Достаточно широко и разнообразно использование извести гашеной (гидратной) в сфере химической промышленности, в частности, в процессе изготовления искусственных волокон. Кальцинированная сода, а также карбид кальция, хлорная известь, синтетический каучук, и многие другие подобные материалы изготавливаются с использованием извести. В пищевой промышленности подобная известь применяется, главным образом, с целью очистки сока сахарной свеклы в производстве сахара, для дезинфекции питьевой воды, для ее смягчения. В кожевенной промышленности известь используется как материал против сырости.

В металлургической промышленности гашеная известь применяется в процессе производства чугуна в доменных печах с целью удаления вредных примесей, например, серы и фосфора, и в процессе дальнейшего облагораживания стали. Известь в металлургическом производстве используется в качестве флюса. При этом к качеству извести предъявляются очень высокие требования. Несколько дней хранения обожженного продукта могут снизить его активность ниже уровня, необходимого при выплавке стали. Именно поэтому крупные металлургические комбинаты сами занимаются производством извести.



В стекольной промышленности в процессе изготовления стекла высокой прочности и плотности применяется известь, которая смешивается с кварцем, содой и поташем. В процессе проведения различных природоохранных мероприятий с применением извести можно нейтрализовать вредные кислоты. Применение извести также способно ускорить процесс разложения вредных веществ, связать между собой тяжелые металлы.

Также основными потребителями гидратной извести (пушонки) являются предприятия, производящие сухие строительные смеси. Гидратная известь является лучшим из известных минеральных компонентов сухих строительных смесей, придающим смесям высокую пластичность (удобоперерабатываемость, удобоукладываемость), высокие водоудерживающие свойства и обеспечивает также высокую адгезию растворов к минеральным (бетон, кирпич) и некоторым неминеральным подложкам (металл, дерево). Вместе с тем, известь – только один из многих компонентов смесей. По России в целом, доля потребления извести производителями ССС составит примерно те же 50%. Основные требования к качеству гидратной извести, применяемой в составе сухих строительных смесей: известь должна быть кальциевой, с низким (<5%) содержанием оксида магния; повышение содержания MgO снижает пластичность гидратной извести, ухудшает долговечность известковых покрытий; в гидратной извести должны отсутствовать частицы с размером более 0,6 мм, так как грубые фракции ухудшают качество поверхности покрытий, в составе затирок приводят к царапанью облицовочной плитки, являются причиной неравномерности изменения объема в материале; содержание непогасившихся зерен оксида магния и оксида кальция не должно превышать 1% и 2–3% соответственно, так как присутствие негидратированных оксидов может привести к запоздалому, медленному гашению в изделии и вызвать появление трещин вследствие увеличения объема; влажность гидратной извести не должна превышать 5%, чтобы не вызывать комкование сухой смеси. Гидратная известь также применяется в качестве минерального пластификатора и добавки снижающей усадку (растрескивание) в цементных строительных растворах, а также в качестве основного вяжущего в известково-песчаных штукатурных растворах [3]. Штукатурные и кладочные растворы могут готовиться непосредственно на стройплощадке или доставляться с растворного узла.

Подводя итоги, следует отметить, что отраслевая структура потребления извести в России мало отличается от структуры ее

производства. Это обусловлено тем, что более 80% производимой в стране продукции приходится на технологическую известь и используется ее же производителями для собственных нужд. Во многом, поэтому уровень поставок извести в России достаточно небольшой (по сравнению с объемом производства).

#### **Список литературы:**

1. Фомина Е.В. Повышение реакционной способности известкового вяжущего при производстве силикатного кирпича // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 7–11.
2. Логанина В.И., Макарова Л.В., Сергеева К.А. Повышение водостойкости известковых составов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 1. С. 28–30.
3. Логанина В.И., Давыдова О.А., Кислицына С.Н., Симонов Е.Е. Эффективность применения в отделочных известковых составах модифицированного диатомита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 17–19.

## **К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ПОВЫШЕННОЙ ВОДОСТОЙКОСТИ**

**Бурьянов А.Ф., д-р техн. наук, доц.,  
Панченко А.И.,  
Козлов Н.В.,  
Соловьев В.Г.,  
Пашкевич С.А.**

*Московский государственный строительный университет*

Материалы для наружных ограждающих конструкций должны иметь коэффициент размягчения не менее 0,6 [1], однако для бетонов на основе гипса он составляет всего 0,4-0,5. Марка по морозостойкости гипсобетонов не превышает F15 – F25. Таким образом, низкая стойкость к воздействиям окружающей среды и резкое снижение прочности при увлажнении не позволяет эффективно использовать гипсобетоны при возведении жилых зданий, производственных и сельскохозяйственных сооружений, и, прежде всего, в качестве материала для наружных стен.

В настоящее время эта проблема решается за счет использования смешанных гипсовых вяжущих, в основном гипсоцементнопуццолановых (далее – ГЦПВ) [2]. Однако, использование ГЦПВ связано с необходимостью исследования и подбора состава этого смешанного вяжущего с учетом химического (минералогического) состава цемента и пуццолановой добавки. Кроме того, в составе ГЦПВ до 25 процентов портландцемента, что повышает его энергоемкость и стоимость [3].

В последние годы с целью уменьшения количества клинкера в составе смешанного вяжущего были разработаны технологии быстротвердеющего композиционного вяжущего, модифицированного органо-минеральными добавками и бетонов на его основе, в том числе для зимнего бетонирования [4-6]. Разработанное водостойкое гипсовое вяжущее низкой водопотребности (далее – ВГВНВ) обеспечивает возможность получения легких бетонов классов до В7,5 с коэффициентом размягчения 0,89-0,94 и морозостойкостью F50-F75, но должно содержать в своем составе до 15% клинкера и требует дополнительного помола.

Для решения данных задач были разработаны многокомпонентные бесклинкерные водостойкие гипсовые вяжущие (далее – МБВГВ) [7-9]. На основе которого возможно получение легкого бетона классов В3,5-

В10 с коэффициентом размягчения 0,8-0,94 и морозостойкостью не ниже F75 для наружных ограждающих конструкций. Однако, данные вяжущие требуют особых условий твердения (выдержка образцов в нормальных условиях, проведение тепло-влажностной обработки), обладает недостаточной водостойкостью, имеет короткие сроки схватывания и предусматривает повышенный расход дорогостоящих компонентов, повышая тем самым его энергоемкость и стоимость.

Благодаря проведенным исследованиям [10,11] было получено водостойкое смешанное гипсовое вяжущее (далее – вяжущее) с повышенными физико-механическими свойствами не требующее особых условий твердения и имеющее замедленные сроки схватывания, применение которого позволяет использовать обременительные техногенные отходы.

Технический результат получают благодаря замене в составе вышеуказанного МБВГВ [7]: микрокремнезема – активность от 246 до 254 мг/г на химически более активный биокремнезем - активность от 390 до 398 мг/г (продукт специальной комбинированной активации диатомита, прошедшего термическую обработку при температуре 700...800°С); оксида кальция (извести) на карбидный ил (многотонажный техногенный отход от производства ацетиленовых станций, получаемый в ацетиленовых генераторах при разложении карбида кальция  $\text{CaC}_2$  водой по реакции:  $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$ ); введению в состав вяжущего регулятора сроков схватывания (тетрабората натрия – соль слабой борной кислоты и сильного основания) и суперпластификатора С-3 (натриевые соли продукта конденсации нафталинсульфоокислоты и формальдегида).

Все составы смешанных гипсовых вяжущих приготавливались из теста нормальной густоты исходного гипса. Испытания гипсовых вяжущих осуществлялось по ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Коэффициент размягчения гипса и многокомпонентных гипсовых вяжущих определялся по ТУ 21-31-62-89 «Гипсоцементнопуццолановое вяжущее». Определение модуля упругости проводилось согласно ГОСТ 24452-80\* «Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона», ползучести по ГОСТ 24544-81\* «Бетоны. Методы определения деформационной усадки и ползучести», морозостойкости согласно ГОСТ 10060-2012\* «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Образцы выдерживались в нормальных условиях (при  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $95 \pm 5\%$ ) в течение 14 дней, после чего подвергались соответствующим испытаниям.

Применение техногенного отхода (карбидного ила) и снижение расхода кремнеземосодержащей добавки (биокремнезема) в качестве компонентов вяжущего твердеющего как в нормальных условиях, так и в естественно-сухих условиях (без значительного понижения коэффициента размягчения) повышает коэффициент размягчения (таблица 1) и не изменяет физико-механических свойств (таблица 2).

Таблица 1 – Результаты экспериментальных испытаний

Компоненты	Пол. гипс, %	Кремнезем- сод. доб., %	Порт. цем., %	СаО, %	Бура, %	С-3, %	Прочн. при сж. высуш., МПа	Прочн. при сж. водонасыщ., МПа	Кэф. разм., К <sub>р</sub>	Растворим., г/см <sup>2</sup>
Гипс (Г3)	100	-	-	-	-	-	6,9	3,04	0,44	0,05
Гипс (Г7)	100	-	-	-	-	-	16,7	7,52	0,45	0,045
Гипс (Г13)	100	-	-	-	-	-	30,0	14,1	0,47	0,04
Гипс (Г19)	100	-	-	-	-	-	44,7	21,9	0,49	0,038
ГЦП В (на гипсе Г13)	75	5	20	-	-	-	27,8	18,07	0,65	0,013
ГВП В (на гипсе Г13)	23,4	60	-	15,6	-	0,2	26,0	16,38	0,63	0,011
МБВ	76,35	13	-	10	-	0,65	37,9	26,53	0,7	0,001
ГВ	78,40	12	-	9	-	0,6	38,2	30,17	0,79	0,001
(на 80,0 гипсе)	81,6	11	-	8,5	-	0,5	38,0	28,5	0,75	0,001
(на 81,6 гипсе)	81,6	10	-	8	-	0,4	38,0	27,7	0,73	0,001
(на 83,3 гипсе)	83,3	9	-	7,38	-	0,32	37,7	25,26	0,67	0,001
Опыт 1										
Вяжу шие	76,2	6,7	-	16,8	0	0,3	9,4	7,9	0,84	0,001
на 76 гипсе	76,1	7,8	-	15,7	0,05	0,35	9,8	8,43	0,86	0,001
на 76 гипсе	76	8,8	-	14,7	0,1	0,4	10,4	9,15	0,88	0,001
на 75,9 гипсе	75,9	9,7	-	13,8	0,15	0,45	10,0	8,7	0,87	0,001
на 75,8 гипсе	75,8	10,4	-	13,1	0,2	0,5	9,6	8,16	0,85	0,001
Опыт 2										
Вяжу шие	77,65	6,3	-	15,6	0,05	0,4	23,1	18,71	0,81	0,001
на 77,55 гипсе	77,55	7,3	-	14,6	0,1	0,45	23,6	19,59	0,83	0,001
на 77,45 гипсе	77,45	8,2	-	13,7	0,15	0,5	24,2	21,05	0,87	0,001
на 77,35 гипсе	77,35	9	-	12,9	0,2	0,55	23,8	19,99	0,84	0,001
на 77,25 гипсе	77,25	9,7	-	12,2	0,25	0,6	23,3	19,11	0,82	0,001
Опыт 3										
Вяжу шие	79,9	5,6	-	13,9	0,1	0,5	40,9	31,08	0,76	0,001
на 79,8 гипсе	79,8	6,5	-	13	0,15	0,55	41,6	33,7	0,81	0,001
на 79,7 гипсе	79,7	7,3	-	12,2	0,2	0,6	42,0	35,7	0,85	0,001
на 79,55 гипсе	79,55	8	-	11,5	0,3	0,65	41,8	34,28	0,82	0,001

Г13	79,4	8,7	-	10,8	0,4	0,7	41,2	32,14	0,78	0,001
Опыт 4										
Вязущие	82,1	4,9	-	12,2	0,2	0,6	59,1	42,55	0,72	0,001
на 81,95	81,95	5,7	-	11,4	0,3	0,65	60,0	48,0	0,80	0,001
на 81,8	81,8	6,4	-	10,7	0,4	0,7	60,4	49,53	0,82	0,001
гипсе 81,65	81,65	7	-	10,1	0,5	0,75	60,2	48,76	0,81	0,001
Г19	81,5	7,6	-	9,5	0,6	0,8	59,7	44,78	0,75	0,001

Таблица 2 – Физико-механические характеристики

Свойства	Вязущие, на гипсе Г13				
	Гипс	Вязущее	МБВГВ	ГЦПВ	ВГВНВ
Проч. на сжатие в водонас. состоянии, МПа	4,6	9,6	9,7	-	-
Модуль упругости, МПа	8300	19100	19300	8500	-
Относит. деформация ползучести, $\times 10^{-5}$ , МПа <sup>-1</sup>	26,8	12,3	12,1	18,0	-
Марка по морозостойкости, F	25	75	75	50	75
Коэффициент размягчения, K <sub>p</sub>	0,45	0,85	0,79	0,7	0,89

Приведенные данные показывают, что использование предложенного вязущего (при оптимально соотношении  $\text{SiO}_2/\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) позволяет повысить прочность при сжатии, относительно рассматриваемого МБВГВ, на 25% и получить значения коэффициента размягчения более 0,8 (вне зависимости от активности исходного гипса), не изменяя при этом растворимость и физико-механические характеристики. Благодаря чему материалы и изделия на его основе будут водостойкими.

Данные результат, достигнут благодаря более мелкопористой структурой затвердевшего камня с меньшим количеством пор и капилляров, сообщающихся с внешней средой (рисунок 1). А так же, образованием за счет взаимодействия активных  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , входящих в состав вязущего, малорастворимых низкоосновных гидросиликатов кальция, затрудняющих проникновение влаги извне в гипсовый камень [11].

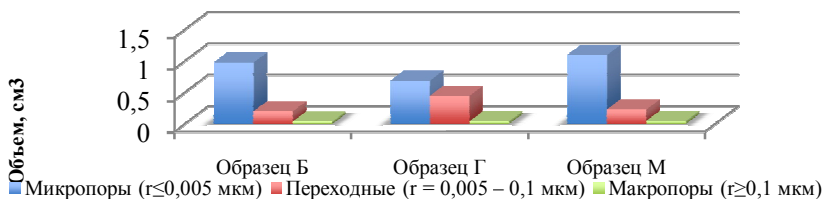


Рисунок 1 – Распределение пор относительно занимаемого объема:

Образец Б – вязущее; Образец Г – гипс; Образец М – МБВГВ

Кроме того, это вяжущее решает экологическую проблему – утилизацию многотонажного техногенного отхода от производства ацетилена и повышает экономическую эффективность его применения, снижая стоимость конечного материала (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнение показателей стоимости добавок (на гипсе Г13)

Материалы	Расход		Стоимость, руб./тонна	
	МБВГВ	Вяжущее	МБВГВ	Вяжущее
Кремнеземсодерж. добавка	11	7,3	12000	5000
CaO (Ca(OH) <sub>2</sub> )	8,5	12,2	5500	2000
ИТОГО			9 203,1	7 994,2

Из таблицы видно, что стоимость техногенного отхода – карбидного ила в 2,75 раза меньше стоимости извести. В то же время стоимость кремнеземсодержащей добавки – биокремнезема, вводимой в меньших количествах, меньше стоимости кремнеземсодержащей добавки МБВГВ – микрокремнезема в 2,4. При увеличении прочности и коэффициента размягчения стоимость предложенной добавки уменьшается относительно стоимости добавки для МБВГВ в 2,94 раза.

#### Список литературы:

1. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. М.: Стройиздат, 1984. 254 с.
2. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.: Стройиздат, 1971. 318 с.
3. Волженский А.В., Ферронская А.В., Васильева Т.А. Свойства высокопрочных бетонов на основе гипсоцементнопуццолановых вяжущих // Строительные материалы. 1967. № 12.
4. Коровяков В.Ф., Ферронская А.В., Чумаков Л.Д., Иванов С.В. Быстротвердеющие композиционные гипсовые вяжущие, бетоны и изделия // Бетон и железобетон. 1991. № 11. С. 17-18.
5. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Чумаков Л.Д., Мельниченко С.В. Быстротвердеющий керамзитобетон для зимнего бетонирования // Бетон и железобетон. 1992. № 6. С. 12-14.
6. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Мельниченко С.В., Чумаков Л.Д. Водостойкие гипсовые вяжущие низкой водопотребности для зимнего бетонирования // Строительные материалы. 1992. № 5. С. 15-17.
7. Патент 2081076 Российская Федерация, МПК С04В11/00, МПК С4В11/20. Вяжущее / Панченко А.И., Айрапетов Г.А., Несветаев Г.В., Нечушкин А.Ю.; заявители и патентообладатели Панченко А.И., Айрапетов Г.А., Несветаев Г.В., Нечушкин А.Ю. – № 94022235/03; заявление 10.06.1994; опубликовано 10.06.1997. 3 с.

8. Бессонов И.В., Шигапов Р.И., Бабков В.В. Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 9-13.
9. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего и гибридной минеральной добавки // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 28-31.
10. Козлов Н.В., Панченко А.И., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Г., Буддыжова Е.Н., Гальцева Н.А. Гипсовые вяжущие повышенной водостойкости на основе промышленных отходов // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 200-205.
11. Козлов Н.В., Панченко А.И., Бурьянов А.Ф. Микроструктура гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 72-75.



## ПОВЕРХНОСТНАЯ АКТИВНОСТЬ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО

**Вешнякова Л.А., аспирант,  
Айзенштадт А.М., д-р хим. наук, проф.,  
\*Елистраткин М.Ю., канд. техн. наук, доц.**  
*Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова  
\*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Важным компонентом, отвечающим за конечные прочностные характеристики бетонных композитов, является вяжущее. Одним из способов повышения эффективности бетонной смеси на основе гидравлических вяжущих является использование модифицированного кремнезема в качестве модификатора природного или техногенного происхождения. [1]. Механоактивированный кремнеземсодержащий материал проявляет синергетические свойства вяжущего компонента. Это связано с частичной аморфизацией его в процессе механоактивации обуславливающей возникновение структурных связей между компонентами на границе раздела фаз и, как следствие, увеличение химической активности композиционного вяжущего. В исследованиях [2] предложен критерий поверхностной активности горной породы, который показывает долю свободной поверхностной энергии ( $E_s$ ), приобретенной системой при переходе от грубодисперсного в высокодисперсное состояние [3]. В тоже время активность компонентов композиционного вяжущего может быть определена по экзотермическому тепловому эффекту реакции гидратации [4].

Целью данных исследований является экспериментальное определение поверхностной активности, удельной теплоты гидратации высокодисперсных систем горных пород в зависимости от типоморфных признаков кремнеземсодержащего материала и определение возможной функциональной взаимосвязи между данными параметрами.

В качестве объектов исследования были выбраны кварцсодержащие породы следующего эволюционного ряда: кварц («Рухнаволок», Карелия) – кварцитопесчаник («Лебединское», Белгородская область) – песок различных месторождений Архангельской области: мелкий речной полиминеральный песок

(«Краснофлотский-Запад»- песок №1) и песок средней крупности («Кеницы»-песок №2). По петрографо- минералогическому составу пески относятся к полимиктовым, представлены преимущественно кварцем, песчаником, алевролитом. Песок №1 относится к аллювиально-морским современным четвертичным отложениям, нижний отдел, балтийская серия Кембрийской системы; песок №2 -к аллювиальным современным четвертичным отложениям, нижний отдел Каменноугольной системы.

Механоактивация исходных материалов проводили на планетарной шаровой мельнице РМ 100, применяя сухой способ механического диспергирования. Средний размер всех исследуемых образцов находился в диапазоне 200-300 нм. Данные химического состава образцов показывают, что исследуемые материалы значительно отличаются по содержанию оксидов: кремния, магния, алюминия, железа и кальция. Вычисление энергии атомизации ( $E_a$ ), энергоплотности ( $E_v$ ) и удельной массовой энергии атомизации ( $E_m$ ) заключалось в следующем: для расчета  $E_a$  производилось суммирование стандартных теплот образования составляющих элементов;  $E_v$  вычислялась по формуле  $E_v = E_a \cdot \rho / M$  ( $\rho$  и  $M$  – истинная плотность и молекулярная масса образца, соответственно);  $E_m$  рассчитывалась из соотношения  $E_m = E_v / \rho$ . Установленный химический состав опытных образцов песка позволил рассчитать основные энергетические характеристики (таблица 1) исследуемых горных пород ( $E_a$ ,  $E_v$  и  $E_m$ ).

Таблица 1 – Энергетические характеристики опытных образцов

Образец	$E_a$ , кДж/ моль	$E_v$ , кДж/см <sup>3</sup>	$E_m \cdot 10^{-3}$ , кДж/кг	$\sigma_k \cdot 10^3$ , Дж/м <sup>2</sup>	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	$E_s$ , Дж/кг	$k_s \cdot 10^6$
Песок №1	1788,0	68,0	27,0	11,82	7532	89	3,30
Песок №2	1783,7	77,8	28,8	16,56	8810	145	5,07
Кв.песчаник	1834,3	78,3	29,5	21,11	4994	105	3,57
Кварц	1863,8	81,2	30,3	21,75	16169	351	11,61

Анализ полученных данных показывает: изменение свободной внутренней энергии происходит согласно времени происхождения и условиям залегания. В эволюционном ряду кварц – кварцитопесчаник – песок происходит переход значения свободной внутренней энергии от максимального к минимальному, в зависимости от содержания SiO<sub>2</sub>.

Определение удельной теплоты гидратации механоактивированных образцов выполнялось калориметрическим методом на установке «Эксперт-001К-2», причем для последних образцов измерения

проводились непосредственно после их помола. Получены основные результаты: величина  $\Delta H$  реакции гидратации для песка №1 составила 131 кДж/кг, для песка №2 -178 кДж/кг, для кварцитопесчаника- 149 кДж/кг и для кварца – 198 кДж/кг. Калориметрические исследования высокодисперсных образцов кварца, кварцитопесчаника и песков позволяют предположить зависимость величины теплоты гидратации от генетических особенностей кварцсодержащего материала. Необходимо отметить, что на величину энтальпии гидратации не влияет содержание  $\text{SiO}_2$ , так для наиболее активного с точки зрения тепловыделения механоактивированного кварца содержание  $\text{SiO}_2$ -96%, для песка №2-89%, песка №1 – 58%, а у кварцитопесчаника – 90%.

Сопоставляя результаты калориметрических исследований и рассчитанные энергетические характеристики опытных образцов необходимо отметить следующее. Отмечается линейная зависимость параметра удельной массовой энергии атомизации ( $E_m$ ) от величины поверхностной энергии единицы площади поверхности ( $\sigma_k$ ) (рис.1). При использовании критерия поверхностной активности, который учитывает как химический состав, так и структуру и текстуру горной породы, отмечается линейная зависимость между величиной удельной теплоты гидратации ( $\Delta H$ ) и поверхностной активностью горной породы (рис.2).

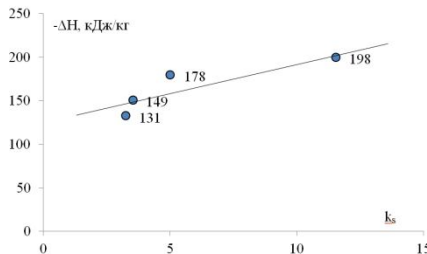
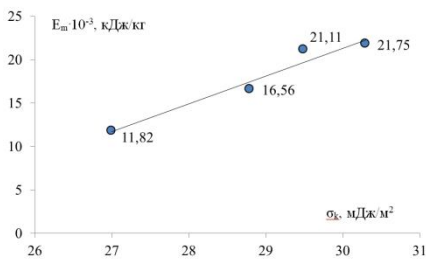


Рисунок 1 –Зависимость  $E_m=f(\sigma_k)$

Рисунок 2 –Зависимость  $\Delta H=f(k_s)$

Установлено, что величина поверхностной активности зависит от генетических особенностей образования горной породы. Параметр поверхностной активности высокодисперсных систем можно рекомендовать в качестве критерия для построения общей энергетической классификации горных пород различного генезиса.

Экспериментально определены удельные энтальпии гидратации кварцсодержащего сырья. Выявлено влияние типоморфных особенностей песков как компонентов композиционного вяжущего на величину теплоты гидратации. Отмечаются функциональные связи

между параметрами удельной теплоты гидратации и поверхностной активностью исследуемых механоактивированных образцов. В эволюционном ряду кварц – кварцитопесчаник – песок происходит закономерный переход значения свободной внутренней энергии от максимального к минимальному, в зависимости от содержания  $\text{SiO}_2$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Министерства образования в рамках базовой части гос. задания.

#### **Список литературы:**

1. Жерновский И.В., Строкова В.В. К проблеме фазово-размерной гетерогенности минерального сырья как фактора структурообразования строительных материалов // Вестник ВолгГАСУ. 2013. № 31. С. 112–118.
2. Лесовик В.С., Фролова М.А., Айзенштадт А.М. Поверхностная активность горных пород // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 71-73.
3. L. Veshnyakova, A. Ayzenshtadt, T. Makhova, E.Grunova. Measurement of the surface forces in a highly dispersed systems/Materials, Methods & Technologies, 2014, Volume 8, p 108-115. ISSN 1313 – 2539,
4. Jo B-W, Kim C-H, Tae G-h, Park J-B. Characteristics of cement mortar with nano- $\text{SiO}_2$  particles. ConstructBuildMater 2007;21(6):1351–5.

## **ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ**

**Вишневская Я.Ю., канд. техн. наук, науч. сотр.,**  
**Калатоzi В.В., канд. техн. наук, доц.,**  
**Шаповалов Н.Н., аспирант,**  
**Шадский Е.Е., студент**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Как известно наиболее энергоемким технологическим переделом при производстве строительных материалов является тепловая обработка, на ее долюприходится до 70% от всехэнергозатрат [1-2]. При этом из сырьевых ресурсов основной вклад в себестоимость изделий вносят вяжущие, снижения затрат на которые можно достичь за счет использования композиционных вяжущих (КВ). В настоящее время разработана широкая номенклатура КВ, где в качестве кремнеземистого компонента применяется сырье как природного, так и техногенного происхождения [3-21]. Однако внедрениекомпозиционных вяжущих на заводах ЖБИ и ЖБК, которые до сих пор не могут обойтись без ускорения твердения методом тепловлажностной обработки, затруднен. Это обусловлено в первую очередь тем, что процессы структурообразования композиционных вяжущих в условиях ТВО изучены недостаточно.

В связи с этим исследование процессов структурообразования композиционных вяжущих, изготовленных с использованием сырья различного генезиса, приобретает особую актуальность.

В качестве объектов исследования были выбраны четыре разновидности песков, входящие в различные генетические группы:осадочные (природные) – кварцевый песок Нижне-Ольшанского месторождения;магматические (природные) – полнокристаллический вулканический пепел (Республика Эквадор);метаморфические (техногенные) – отсев дробления кварцитопесчаника зеленосланцевой степени метаморфизма (Лебединский ГОК);пирогенные (техногенные) – отход производства керамзитового гравия, образующийся на стадии сортировки (ОАО ЖБК-1, г. Белгород).

Изучение влияния условий твердения на свойства композиционных вяжущих осуществлялось с помощью математического метода планирования эксперимента. В качестве факторов варьирования были

приняты количество кремнеземсодержащего компонента и температура изотермической выдержки (табл. 1, 2).

Режим тепловлажностной обработки выбран в соответствии с наиболее распространенным на заводах по производству железобетонных изделий 2+3+6+2. Образцы испытывались через 1 сут после пропаривания.

Таблица 1 – Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	1	
Кремнеземсодержащий компонент, % от массы КВ	$X_1(X_1')$	30(70)	50(80)	70(90)	20(10)
Температура изотермической выдержки, °С	$X_2$	55	70	85	15

Выходным параметром для подбора оптимального состава служила прочность на сжатие.

Для контрольного сравнения были изготовлены образцы ЦЕМ I 42,5 Н, ТМЦ-100, твердеющие в аналогичных условиях (табл. 2).

Таблица 2 – Активность бездобавочных вяжущих в зависимости от условий твердения

Вид вяжущего	Активность вяжущих, МПа, твердеющих в различных условиях		
	Тепловая обработка при температуре изотермической выдержки:		
	55 °С	70 °С	85 °С
ЦЕМ I 42,5 Н	27,00	38,10	34,40
ТМЦ-100	38,50	42,50	37,80

После статистической компьютерной обработки экспериментальных данных были получены математические модели изменения прочности композиционных вяжущих в зависимости от вида, количества кремнеземсодержащего компонента и температуры изотермической выдержки при тепловой обработке. По уравнениям регрессии был сделан анализ влияния исследуемых факторов.

Анализ полученных результатов позволил выявить определенные закономерности изменения активности композиционных вяжущих в зависимости от температуры изотермической выдержки, количества и вида кремнеземсодержащего компонента (рис. 1).

Максимальная активность наблюдается у КВ, изготовленных с использованием керамзитовой пыли. При этом разница в показателях

прочности по сравнению с показателями ТМЦ на других кремнеземистых компонентах, растет с увеличением доли отходов производства керамзита. Так, для ТМЦ-70 разница составляет 12–22%, для ТМЦ-50 – 13–25%, в то время как для ТМЦ-30 – 30–40%, ТМЦ-20 – 32–58%, ТМЦ-10 – 50–65%. Данный факт обусловлен высокой начальной удельной поверхностью керамзитовой пыли, введение которой повышает общую реакционную способность смеси.

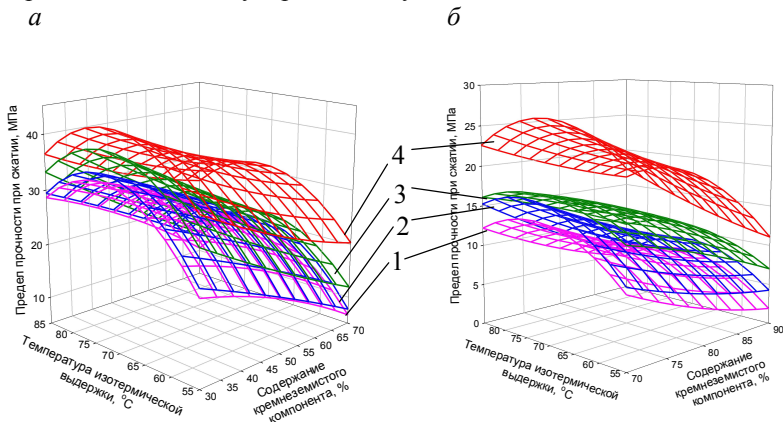


Рисунок 1 – Зависимости прочности при сжатии ТМЦ от вида, количества кремнеземсодержащего компонента (*а* – 30, 50, 70; *б* – 70, 80, 90) и температуры изотермической выдержки

Наименьшей прочностью отличаются вяжущие изготовленные с использованием кварцевого песка и вулканического пепла, что объясняется их невысокой активностью в сравнении с кварцитопесчаником и керамзитовой пылью.

Анализ влияния температуры изотермической выдержки на прочность КВ показал, что с содержанием клинкерной составляющей 70–30% наиболее оптимальной является  $t = 70^{\circ}\text{C}$ , при ее повышении до  $85^{\circ}\text{C}$  увеличивается негативное воздействие деструктивных процессов, что и приводит к сбросу прочности. Невысокие прочностные показатели при  $55^{\circ}\text{C}$  можно объяснить недостаточной активацией кремнеземистого компонента. Для ТМЦ с содержанием клинкерной составляющей 30–10% наблюдается аналогичная картина.

Анализ характера изменения активности контрольных образцов показал, что во всех случаях оптимальной температурой изотермической выдержки является 70°C (табл. 2).

Изучение микроструктуры композиционных вяжущих, позволило обосновать данные по изменению их активности.

Анализ новообразований ТМЦ-70 с использованием кварцевого песка и отсева дробления кварцитопесчаника, твердеющих в нормальных условиях, показал наличие большого количества пластинчатых гидросиликатов кальция.

В аналогичных образцах вяжущих, твердеющих при температуре изотермической выдержки 70 °С, видны новообразования, которые образуют сетку, заполняющую анизометричные поры, за счет чего достигается плотная микроструктура материала, предопределяющая высокую прочность при сжатии. Подобные игольчатые новообразования наблюдаются в образцах, твердеющих при температуре изотермической выдержки 85°C, при этом для вяжущих, прошедших ТВО при 55°C характерна рыхлая структура представленная плохо раскристаллизованными и, вероятнее всего, рентгеноаморфными новообразованиями и пластинами портландита.

Проведенные исследования позволили проранжировать кремнеземсодержащее сырье по степени снижения эффективности в качестве компонента композиционных вяжущих, твердеющих в тепловлажностных условиях и в условиях гидротермальной обработки в следующей последовательности: «керамзитовая пыль – отсев дробления кварцитопесчаника – вулканический пепел – природный кварцевый песок».

Таким образом, был установлен характер изменения активности композиционных вяжущих от вида, количества кремнеземсодержащего компонента и условий твердения. При использовании генетически активированного за счет геологических и техногенных процессов сырья, процессы синтеза новообразований происходят при пониженных энергозатратах, что позволило осуществить ранжирование кремнеземсодержащего сырья по степени снижения эффективности в качестве компонента композиционных вяжущих, твердеющих в различных условиях.

#### **Список литературы:**

1. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих : монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2012. 97 с.



- ISBN978-3-8484-1919-7.
2. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Юракова Т.Г., Шаповалов Н.Н., Лугинина И.Г. К вопросу о твердении композиционных вяжущих в условиях тепловлажностной обработки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 16–19.
  3. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнетиальных отходов Ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10–14.
  4. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Влияние сырья вулканического происхождения и режимов твердения на активность композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 52–55.
  5. Вишневская Я.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 53–56.
  6. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н. Стеновые камни из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья // Известие вузов. Строительство. 2007. № 11. С. 46–49.
  7. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов обогащения ЮАР // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30–31.
  8. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Савин А.В., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 5 (88). С. 95–99.
  9. Курбатов В.Л., Лесовик Р.В., Комарова Н.Д., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н. Стеновые блоки из мелкозернистого бетона на основе техногенного песка Северного Кавказа // Строительные материалы. 2006. № 11. С. 87–89.
  10. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 56–59.
  11. Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В., Пикалова Е.К. Фибробетонные композиты на техногенном сырье // Сборник научных трудов Sword. 2014. Т. 19. № 1. С. 34-36.
  12. Лесовик Р.В., Клюев С.В. Мелкозернистый стелефибробетон на техногенных песках // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 27-30.
  13. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистые бетоны с использованием попутнодобываемых пород Архангельской алмазонасной провинции // Известие вузов. Строительство. 2007. № 2. С. 13–18.

14. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К. А. Энергоэффективные газобетоны бетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известие вузов. Строительство. 2012. № 3. С. 10–20.
15. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетона из композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. № 7. С. 56–58.
16. Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Попов М.А., Калатози В.В. Мелкоштучные изделия на основе композиционных вяжущих с использованием отходов Кавдорского месторождения // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения) Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 302–305.
17. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2013. 127 с. ISBN 978-3-659-35755-8.
18. Алфимова Н.И., Жерновский И.В., Яковлев Е.А., Юркова Т.Г., Лесовик Г.А. Влияние генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С. 91–94.
19. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Степень гидратации композиционных вяжущих как фактор коррозии арматуры в бетоне // Известие вузов. Строительство. 2013. №1. С. 28–33.
20. 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.
21. Lesovik R.V., Klyuyev S.V., Klyuyev A.V., Netrobenko A.V., Kalashnikov N.V., Fiber Concrete on Composite Knitting and Industrialsand KMA for Bent Designs // World Applied Sciences Journal. Vol. 30. 2014. №8. Pp. 964 – 969.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОМФОРТНОСТИ ПРОЖИВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**Володченко А.Н., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В современных условиях важнейшей задачей является создание для человека наиболее благоприятной и комфортной среды обитания [1-4]. В соответствие с Государственной программой Российской Федерации «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» стратегической целью государственной политики в жилищной и жилищно-коммунальной сферах на период до 2020 года является создание комфортной среды обитания и жизнедеятельности для человека.

Для достижения поставленных Государственной программой целей ставятся задачи содействия внедрению новых современных, энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий в жилищное строительство и производство строительных материалов, используемых в жилищном строительстве.

Важной составляющей в ряду потребностей человека является экологически комфортное жилище. Городской житель большую часть времени проводит в помещениях. Концентрация загрязняющих веществ внутри помещений зачастую оказывается выше, чем в наружном воздухе. Поэтому, основной задачей жилищного строительства должно являться создание комфортных условий для проживания, обеспечивающие здоровье и работоспособность человека.

Комфорт определяется такими основными составляющими как параметры микроклимата, уровень шума и освещенность (рис. 1). Эти параметры для жилых и общественных зданий определены в ряде нормативных документов.

Строительные материалы не должны выделять токсичных веществ, радиоактивное излучение должно быть минимальным, вред окружающей среде при производстве должен быть сведен к минимуму. Таким критериям соответствуют природные материалы, такие как дерево и камень. Однако дерево за счет невысокой прочности и огнестойкости не пригодно для многоэтажного строительства. Камень же является дорогостоящим материалом. Поэтому в строительстве используются материалы, которые изготовлены на основе природного

сырья: бетон, кирпич, стекло и другие. Такая продукция безопасна для здоровья человека.



Рисунок 1 – Основные параметры комфортного проживания

Одними из наиболее экономичных и распространенных в стране стеновых материалов являются автоклавные силикатные материалы, для производства которых в качестве сырья используют экологически чистые материалы: известь, цемент, кремнеземистый компонент и воду [5-8].

Автоклавные силикатные материалы подразделяют по структуре на плотные и ячеистые. Наиболее распространенным стеновым материалом плотной структуры является силикатный кирпич и камень. Эти изделия выпускают полнотелыми и пустотелыми, причем камни, только пустотелыми.

Поризованные автоклавные материалы производят на основе извести, цемента, гипса и алюминиевой пудры. Такие бетоны называют газобетоном. Газобетон в процессе производства и эксплуатации не выделяет токсичных веществ. Достоинством газобетона является низкая средняя плотность, низкая теплопроводность при относительно высокой прочности и морозостойкости. За счет повышенной паропроницаемости, позволяющей материалу выводить избыток влаги из внутреннего пространства помещения, удастся избежать появления грибка и плесени, что по своим санитарно-гигиеническим свойствам ставит газобетон после дерева на второе место.

Газобетон обладает высокой теплоизолирующей способностью. Коэффициент теплопроводности для газобетона в сухом состоянии находится в пределах 0,12–0,14 Вт/м·°С. Наряду с этим газобетон имеет хорошие теплоаккумуляционные свойства. Расходы на отопление дома из газобетона уменьшаются на 20–30%.

Несмотря на пористую структуру, газобетон не является гигроскопичным материалом. Равновесная влажность стен из газобетона составляет 5–6 мас. %, что меньше этого же показателя для стен из дерева в 4 раза. За счет наличия пор открытого и закрытого типа влага впитывается на небольшую глубину. Открытые поры обеспечивают материалу воздухопроницаемость, что повышает комфортность климата в помещении из газобетона. Наличие пор открытой структуры также обуславливает высокую звукопоглощающую способность газобетона.

Для решения задачи повышения эффективности автоклавных силикатных материалов необходим переход от традиционного сырья к получению композиционного вяжущего с использованием нанодисперсного сырья, способствующие синтезу цементирующих веществ оптимальной микроструктуры. Эту задачу можно решить за счет использования в качестве сырья глинистых пород незавершенной фазы процессов глинообразования [9-13], которые широко распространены на территории РФ.

Изучена специфика формирования цементирующего соединения в известково-глино-песчаной смеси, что позволило разработать методику расчета состава сырьевой смеси на основе известково-глинистого вяжущего [14].

Показано, что за счет взаимодействия глинистых минералов с известью образуются низкоосновные гидросиликаты и гидрогранаты, которые являясь микронаполнителем, оптимизируют состав цементирующего соединения. Установлено, что наиболее эффективно управлять синтезом новообразований можно за счет введения пород, содержащих наряду с глинистыми минералами 50–70 мас. % тонкодисперсного кварца [15].

За счет высокой активности сырья можно снизить давление автоклавирования и сократить время изотермической выдержки изделий в автоклаве в 2–3 раза. Это позволяет существенно снизить энергозатраты на производство.

Установлено, что песчано-глинистые породы повышают прочность сырца в 3–4 раза, что позволит улучшить формуемость сырьевой смеси, снизить брак в процессе формования, а также облегчит выпуск высокопустотных изделий.

Разработана технология производства плотных и поризованных силикатных материалов, отличающихся высокими физико-механическими показателями (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства силикатных материалов на основе песчано-глинистых пород

Автоклавные силикатные материалы		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Морозостойкость, циклов	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Снижение энергоёмкости производства, %
Прессованные		1850–2000	20–30	35–50	0,7–0,8	20–25
Ячеистые	Теплоизоляционные	до 400	2,2–3,0	15	0,08–0,1	30–35
	Конструкционно-теплоизоляционные	500	2,9–3,5	25	0,1–0,12	
		700	4,4–5,4	25	0,14–0,15	

Песчано-глинистые породы обладают различной окраской, что позволяет использовать их в качестве пигментов для объемного окрашивания строительных материалов [16]. Благодаря объемному окрашиванию можно также использовать колотый кирпич для лицевой кладки с поверхностью под карьерный камень. Гладкая лицевая кладка в сочетании с кладкой из колотого цветного силикатного кирпича создаст особую архитектурную выразительность жилым и общественным зданиям.

На основе песчано-глинистых пород можно получать эффективные ячеистые бетоны с низкими энергозатратами [17]. За счет высокой дисперсности сырья можно исключить ее предварительный помол при приготовлении сырьевой смеси. Время изотермической выдержки изделий в автоклаве в 2 раза меньше, чем для изделий на основе традиционного сырья.

Ячеистый бетон можно использовать как для возведения наружных стен, межквартирных и межкомнатных перегородок, так и в качестве декоративно-отделочных материалов. Получение цветного газобетона на основе песчано-глинистых пород будет способствовать расширению номенклатуры отделочных материалов.

Глина как строительный материал применяется с древних времен. В домах из глины даже в жару сохраняется комфортная температура. Однако недостатком изделий из глины является низкая водостойкость. Используя в качестве сырья песчано-глинистые породы можно совместить преимущества изделий из глины и автоклавных силикатных материалов. Повышаются физико-механические свойства силикатных материалов

Таким образом, на основе песчано-глинистых пород можно получать эффективные автоклавные силикатные материалы, использование которых в строительстве позволит повысить комфортность проживания человека. Сокращение энергозатрат на производство силикатного кирпича составит в пределах 20–25 % и газобетона – 30–35% и, соответственно, повысится экологическая безопасность производства.

#### **Список литературы:**

1. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
2. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 9-12
3. Лесовик В.С. Архитектурная геоника. Взгляд в будущее // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31-1 (50). С. 131-136.
4. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 24. № 11. С. 1496-1502.
5. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13-18.
6. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.
7. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.

8. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
9. Лесовик, В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография / В.С. Лесовик. Белгород: изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. 213 с.
10. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние состава сырья на свойства безавтоклавных силикатных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 10-15.
11. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние глинистого сырья на микроструктуру безавтоклавных силикатных материалов // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 30. № 3. С. 42-44.
12. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2011. № 2. С. 56–59.
13. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н., Абросимова О.С. Эксплуатационные характеристики силикатного кирпича, изготовленного с использованием техногенного алумосиликатного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 11–14.
14. Володченко А.Н. Влияние песчано-глинистых пород на оптимизацию микроструктуры автоклавных силикатных материалов // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 47. № 4. С. 32–36.
15. Володченко А.Н., Воронцов В.М., Голиков Г.Г. Влияние парагенезиса кварц-глинистые минералы на свойства автоклавных силикатных материалов // Известия вузов. Строительство. 2000. № 10. С. 57–60.
16. Володченко А.Н. Объемное окрашивание автоклавных силикатных материалов глинистыми породами // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 19. № 1. С. 18-24.
17. Володченко А.Н. Глинистые породы – сырье для производства автоклавных ячеистых бетонов // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 26. № 2. С. 11-14.



## **ЭФФЕКТИВНЫЕ ЗЕЛЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПЛАСТИФИКАТОРОВ\***

**Володченко А.А.,** канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,  
**Загороднюк Л.Х.,** канд. техн. наук, доц.,  
**Прасолова Е.О.,** аспирант,  
**Елистраткин М.Ю.,** канд. техн. наук, доц.,  
**Воронов В.В.,**  
**Глаголев Е.С.**

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

Актуальной задачей является снижение энергоемкости производства строительных материалов, разработка и внедрения энергосберегающих технологий производства строительных материалов, что соответствует современным тенденциям развития «зеленых» технологий, которые позволяют сохранить окружающую среду и обеспечить комфортные условия для жизни человека [1-4]. Снижение расхода топлива ведет к сокращению выбросов в атмосферу парниковых газов и уменьшает уровень загрязнений вредными веществами, попадающих в почву, воду и воздух.

Решение задач в области жилищного строительства связано с внедрением новых эффективных строительных материалов и изделий. Традиционно наружные стены строились из кирпича или строительных блоков – материалов, опробованных и используемых уже на протяжении нескольких тысячелетий. Так уже более века изделия автоклавного твердения применяются в строительстве. Ведущее место в этой группе занимают силикатный кирпич и стеновые изделия из ячеистого бетона, которые по объему производства уступают лишь керамическому кирпичу и сборному железобетону [5-9].

В качестве сырья для производства стеновых материалов можно использовать глинистые породы незавершенной стадии глинообразования, которые широко распространены во многих регионах Российской Федерации, Королевства Камбоджа, других государств Юго-восточной Азии, стран Латинской Америки и т.д. Это сырье, содержащее природные наноразмерные частицы, ускоряет процесс взаимодействия породообразующих минералов с вяжущим компонентом, что позволяет получать силикатные материалы не только

при автоклавной обработке, но и в условиях пропарки без давления [10–15].

Для силикатных материалов, полученных по безавтоклавной технологии, на основе глинистых пород, оптимизация процесса структурообразования и создание более высокоорганизованной структуры является актуальной задачей, что и явилось целью настоящей работы.

Для исследований были использованы наиболее представительные песчано-глинистые породы, отличающиеся по составу и свойствам (табл. 1). Количество пелитовой фракции в суглинках достигает 51,05 мас. %. Для супеси этот показатель составляет 22,63 мас. %. По размеру преобладают алевритовые и пелитовые частички.

Таблица 1 – Гранулометрический состав песчано-глинистых пород

Порода	Содержание фракций, мас. %, размер сит, мм					
	более 0,1	0,1–0,05	0,05–0,04	0,04–0,01	0,01–0,005	менее 0,005
Супесь	15,7	12,90	5,82	42,95	5,70	16,93
Суглинок № 1	0,55	20,72	18,58	21,15	7,49	31,51
Суглинок № 2	0,2	9,33	9,56	29,86	9,35	41,70

Нанодисперсные породы представлены смешаннослойными образованиями, рентгеноаморфной фазой, а также в небольших количествах присутствует гидрослюда,  $Ca^{2+}$ монтмориллонит и каолинит.

Полиминеральный состав изучаемых песчано-глинистых пород, являющиеся природным нанодисперсным сырьем и их термодинамическая неустойчивость определяет возможность взаимодействия с известью, продуктами гидратации цемента с образованием цементирующих соединений при температуре 90–95°C и, соответственно, получения стеновых силикатных материалов с низкими энергозатратами.

В качестве вяжущих компонентов применяли портландцемент ОАО «Белгородский цемент» ЦЕМ I 42,5, негашеную комовую известь АО «Стройматериалы» (г. Белгород).

Содержание СаОакт в извести составляла 78,3 мас. %, температура гашения 97,5°C, время гашения – 4 мин 30 сек.

Образцы готовили методом полусухого прессования и литьевого способа формования. Предварительно измельченную известь, цемент и исходную породу перемешивали в заданном соотношении, увлажняли необходимым количеством воды и выдерживали в герметичной чашке

до полного гашения извести. Методика приготовления сырьевой массы для образцов литьевого способа формования была такой же, как и для образцов полусухого прессования. Отличие заключалось в том, что перед формованием в смесь добавлялась вода до получения консистенции, позволяющей проводить формование методом литья. Нормальная плотность смеси составляла, в зависимости от состава, в пределах 40–55%. Сформованные образцы подвергали гидротермальной обработке в пропарочной камере при температуре 90–95°C по режиму: подъем температуры – 1,5 ч, время изотермической выдержки – 9 ч, снижение температуры – 1,5 ч. Общее время пропаривания составило 12 ч.

Для полученных образцов определяли предел прочности при сжатии, среднюю плотность, водопоглощение, коэффициент размягчения. Для оценки влияния действия воды на прочностные свойства полученного материала образцы каждого состава выдерживали в течение 1 года в водопроводной воде. Каждые 2 месяца воду меняли. По истечении указанного времени образцы испытывали на прочность в водонасыщенном состоянии. Результаты экспериментов приведены на рис. 1.

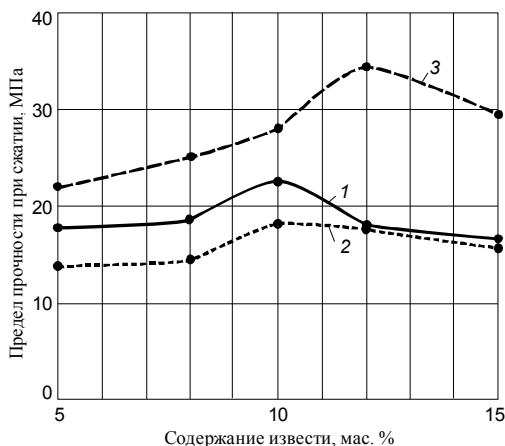


Рисунок 1 – Предел прочности при сжатии образцов в зависимости от содержания извести:

- 1 – образцы после 2-х сут выдержки при комнатной температуре;
- 2 – водонасыщенные образцы;
- 3 – водонасыщенные образцы после года хранения в воде

Максимальная прочность образцов в сухом и водонасыщенном состоянии достигается при содержании извести 10 мас. % и составляет соответственно 22,58 и 18,35 МПа (см. рис. 1, *кривая 1 и 2*). Коэффициент размягчения составляет 0,81, что свидетельствует о высокой водостойкости полученного материала. Средняя плотность с увеличением содержания извести с 5 до 15 мас. % уменьшается с 1880 до 1755 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение увеличивается с 13,03 до 16,75%.

Результаты испытаний водонасыщенных образцов, выдержанных 1 год в воде, показали значительное повышение прочности в сравнении с водонасыщенными образцами, которые не подвергались длительному хранению в воде (см. рис. 1, *кривая 3*). Максимальной прочности 34,71 МПа образцы достигают при содержании извести 12 мас. %. При этом прочность, в сравнении с образцами без длительного хранения в воде повысилась в два раза. Это связано с тем, что породообразующие минералы породы и, в частности, ее наноразмерная составляющая обеспечивают синтез цементирующего соединения, обладающего гидравлическими свойствами.

Таким образом, использование неорганического глинистого пластификатора формирует хорошо окристаллизованными новообразованиями, оптимизирует состав цементирующего соединения, что позволяет получать силикатные материалы более высокими прочностными показателями.

Таким образом, на основе изучаемого сырья можно получать высокоэффективные зеленые композиты нового поколения с использованием неорганических глинистых пластификаторов, с пределом прочности при сжатии до 32 МПа. Морозостойкость составляет 15–25 циклов. На основе полученных данных можно проводить оценку сырьевых ресурсов месторождений подобного сырья в различных регионах.

*\* Статья подготовлена в рамках выполнения базовой части гос. задания Минобрнауки России з/б НИР №1978 от 31.01.2014 г.*

#### **Список литературы:**

1. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
2. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.

3. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
4. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
5. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
6. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 9-12.
7. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С., Сулейманов А.Г. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих: монография. Белгород, 2010.
8. Вишневецкая Я.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 53-56.
9. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. № 11. С. 1496-1502.
10. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
11. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
12. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходькин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
13. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
14. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазонасной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13–18.
15. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние состава сырья на свойства безавтоклавных силикатных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 10–15.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ\***

**Володченко А.А., канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,  
Загороднюк Л.Х., канд. техн. наук, доц.,  
Куприна А.А., аспирант,  
Чхин Сованн, аспирант,  
Кулик Н.В.**

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

Проблеме использования техногенного сырья в технологии строительных материалов уделено большое внимание, как в отечественных трудах, так и в зарубежной литературе. Среди минеральных попутных продуктов в количественном отношении первое место принадлежит силикатам и алюмосиликатам первой и особенно второй групп элементов таблицы Менделеева, на долю которых, по данным академика В.И. Вернадского, приходится почти 40% от массы всей земной коры. Попутные продукты – вскрышные породы, шлаки, золы, хвосты и т.п. – в подавляющем большинстве случаев содержат в значительном количестве алюминий и магнийсодержащие минералы [1-5].

Исследование проблемы рационального природопользования, использование природного и экологически безопасного техногенного сырья, внедрение новых современных, энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий, направлено на решение актуально значимой задачи по повышению эффективности производства новых зеленых композитов строительного назначения [6-9].

Одним из главных технико-экономических показателей любой технологии является степень превращения исходного сырья в полезный продукт. Однако на практике значительная доля исходного сырья превращается в отходы, которые в подавляющем большинстве направляются в отвалы, что наносит существенный урон экономике и экологии.

Среди возможных источников сырья для производства строительных материалов могут быть рассмотрены нетрадиционные для стройиндустрии глинистые породы, которые являются продуктами одной из заключительных фаз выветривания алюмосиликатных пород, сотни млн. тонн которых попадают в зону горных работ при добыче

железистых кварцитов. Из всей гаммы глинистых отложений промышленность использует лишь малую часть, которая удовлетворяет действующим нормативно-техническим документам.

Среди глинистых пород, имеющих промышленное значение наиболее широко распространены отложения зоны седиментогенеза. В качестве сырья для производства строительных материалов можно использовать грубодисперсные, насыщенные тонкодисперсным кварцем глинистые породы коры выветривания зоны диагенеза, в частности, суглинки эолово-элювиально-делювиального генетического типа, которые до сих пор практически не применяются в стройиндустрии. Спецификой состава этих пород является наличие термодинамически неустойчивых соединений, таких как смешаннослойные минералы, рентгеноаморфная фаза, тонкодисперсный слабоокатанный кварц, несовершенной структуры гидрослюда, реже  $\text{Ca}^{2+}$ -монтмориллонит и каолинит. Данные породы также широко распространены во многих регионах РФ и мира. Однако значительная доля этих пород не соответствует нормативным требованиям к сырью, пригодному для производства традиционных строительных материалов, но вещественный состав позволяет использовать их для получения энергосберегающих, инвестиционно-привлекательных стеновых и отделочных материалов [10–14].

Давление прессования при формировании традиционного известково-песчаного силикатного кирпича составляет 15–20 МПа. Данный вид сырья не позволяет эффективно использовать более высокие параметры давления прессования, так как существенного повышения прочности сырца при этом не происходит. Для сырьевых смесей на основе песчано-глинистых пород, напротив, более выгодно использовать повышенные значения давления прессования. Поэтому предприятиям, которые будут использовать предлагаемое сырье целесообразно применять прессы, обеспечивающие формирование при давлении выше 20 МПа. За счет этого можно существенно повысить физико-механические характеристики изделий и, соответственно, повысить конкурентную способность предприятий.

Цель работы – изучение влияния давления прессования, содержания  $\text{CaO}$  и формовочной влажности на физико-механические свойства силикатных изделий на основе супеси.

Для исследований были использованы наиболее представительные песчано-глинистые породы, отличающиеся по составу и свойствам (табл. 1). Количество пелитовой фракции в суглинках достигает 51,05 мас. %. Для супеси этот показатель составляет 22,63 мас. %. По размеру

преобладают алевритовые и пелитовые частички. Химический состав показывает, что породы имеют высокое содержание кремнезема и относятся к категории кислых.

Таблица 1 – Гранулометрический состав песчано-глинистых пород

Порода	Содержание фракций, мас. %, размер сит, мм					
	более 0,1	0,1– 0,05	0,05– 0,04	0,04– 0,01	0,01– 0,005	менее 0,005
Супесь	15,7	12,90	5,82	42,95	5,70	16,93
Суглинок № 1	0,55	20,72	18,58	21,15	7,49	31,51
Суглинок № 2	0,2	9,33	9,56	29,86	9,35	41,70

Нанодисперсные породы представлены смешаннослойными образованиями, рентгеноаморфной фазой, а также в небольших количествах присутствует гидрослюда,  $\text{Ca}^{2+}$ монтмориллонит и каолинит.

В качестве известкового компонента использовали негашеную комовую известь ОАО «Стройматериалы» (г. Белгород). Активность извести составляла 78,3%, температура гашения 97,5°C, время гашения – 4 мин 30 сек.

Образцы готовили методом полусухого прессования. Предварительно измельченную известь и исходную породу перемешивали в заданном соотношении, увлажняли необходимым количеством воды и выдерживали в герметичной чашке до полного гашения извести. Образцы пропаривали при 90–95°C в течение 12 час.

Для сырьевых смесей с рациональным [9–11] содержанием извести 10 мас. % было изучено влияние давления прессования на прочность сырца (рис. 1).

Влияние давления прессования на прочность сырца зависит от вида песчано-глинистой породы. Прочность сырца, полученного при давлении прессования 10 МПа, практически одинакова для всех песчано-глинистых пород и составляет в пределах 1,2–1,38 МПа. С увеличением давления прессования до 50 МПа прочность сырца на основе супеси повышается до 3 МПа, что выше прочности известково-песчаных в 7 раз (см. рис. 1, *кривая 1*). Существенно большее влияние увеличение давления прессования оказывает на рост прочности сырца на основе суглинков. Характер изменения прочности и ее величина для суглинка № 1 и № 2 примерно одинаковы (см. рис. 1, *кривая 2 и 3*). Прочность сырца повышается до 5 МПа, т.е. в 11 раз. Можно сделать



вывод, что увеличение давление прессования оказывает тем большее влияние на повышение прочности сырца, чем выше содержание пелитовой фракции в породе.

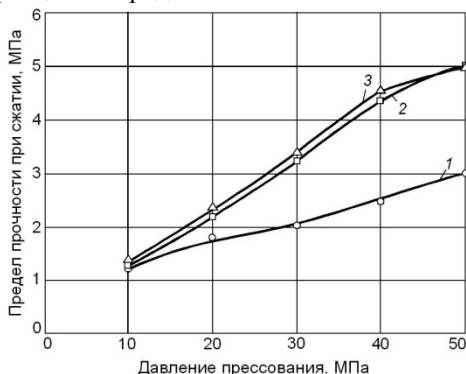


Рисунок 1 – Влияние давления прессования на прочность сырца: давления прессования, МПа: 1 – супесь; 2 – суглинок № 1; 3 – суглинок № 2

Увеличение давление прессования оказывает существенное влияние не только на повышение прочности сырца, но и готовых изделий. С повышением давления прессования с 10 до 50 МПа прочность изделий (содержание CaO 10 мас. %) возрастает с 17 МПа до 32 МПа. Прирост прочности при увеличении давления прессования с 10 до 30 МПа составил 67%, а с 30 до 50 МПа – 33%. Можно сделать вывод, что наиболее эффективным является увеличение давления прессования до 30 МПа.

Таким образом использование песчано-глинистых пород вместо традиционного кварцевого песка в производстве силикатных материалов улучшает процесс формования сырьевой смеси, повышает прочность сырца в 4–11 раз, снижает брак в процессе формования. Это позволит формовать высокопустотные изделия нового поколения со средней плотностью 1100–1300 кг/м<sup>3</sup> и пределом прочности при сжатии до 32 МПа.

*\* Статья подготовлена в рамках выполнения базовой части гос. задания Минобрнауки России з/б НИР №1978 от 31.01.2014 г.*

#### Список литературы:

1. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния

- сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
2. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
  3. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
  4. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
  5. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
  6. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.
  7. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
  8. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
  9. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходькин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
  10. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазонасной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13-18.
  11. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние глинистого сырья на микроструктуру безавтоклавных силикатных материалов // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 30. № 3. С. 42-44.
  12. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
  13. Володченко А.Н. Влияние глинистых минералов на свойства автоклавных силикатных материалов // Инновации в науке. 2013. № 21. С. 23-28.
  14. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2011. № 2. С. 56-59.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ СИЛИКАТНЫХ АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Воронцов В.М.,** канд. техн. наук, доц.,  
**Шамшуров А.В.,** канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Воронцова В.В.,** магистрант  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Настоящее и будущее в строительном материаловедении связано с развитием сухих строительных смесей эффективных поризованных композитов, композиционных вяжущих с использованием нетрадиционного сырья с высокой свободной внутренней энергией [1-5]. Но в тоже время, значительную долю в производстве стеновых материалов имеют композиты автоклавного твердения.

В производстве силикатных автоклавных материалов самым продолжительным и энергоемким процессом является гидротермальная обработка. На ее долю расходуется около 80% всех энергозатрат на производство силикатных автоклавных материалов, а ее длительность на разных предприятиях составляет 8–12 ч. Поэтому снижение продолжительности гидротермальной обработки является актуальной задачей.

Одним из путей разрешения данной проблемы является использование энергоэффективных добавок, способствующих ускорению гидротермальных процессов. Известно, что аморфные вещества более реакционноспособны, чем кристаллические, так как обладают большим запасом внутренней энергии [6-12].

В качестве активной минеральной добавки в эксперименте использовалась аморфная силикат-глыба (полуфабрикат при производстве жидкого стекла) с силикатным модулем ( $M = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ), равным 2,81.

Для приготовления известково-кремнеземистого вяжущего использовались: комовая известь производства ОАО «Стройматериалы» (г. Белгород) II сорта, активностью (по  $\text{CaO}+\text{MgO}$ ) 80,4%, кварцевый песок и упомянутая силикат-глыба. Вяжущие готовились двух видов: известково-песчаное (ИПВ), традиционно применяемое в технологии и известково-силикатное, полученное путем совместного помола извести с силикат глыбой (ИСВ).

Оба вида вяжущих в соотношении известь : песок и известь : силикат-глыба, равном 1:1, измельчались в лабораторной

вибромельнице (силикат-глыба предварительно пропускалась через щековую дробилку). Помолу подвергались одинаковые по массе количества обоих видов вяжущего с одинаковым промежутком времени. Затем фиксировались тонкость помола и активность продуктов помола.

Каждое из вяжущих смешивалось с песком-заполнителем, состав смесей (масс. %): вяжущее 17,4, песок 82,6. Смеси увлажнялись до 10%-ной влажности и выдерживались в закрытых емкостях до окончания процесса гашения. Из приготовленных смесей формовались посредством прессования на гидравлическом прессе под давлением 20 МПа образцы-цилиндры диаметром и высотой равные 3 см. Отформованные образцы подвергались гидротермальной обработке в лабораторном автоклаве по режиму 2+6+2 ч при давлении 1 МПа. После автоклавирования образцы высушивались в сушильном шкафу до постоянной массы и испытывались на прочность при сжатии. Результаты испытаний отражены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты физико-механических испытаний

№ состава	Вяжущее	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Активность, %	Предел прочности при сжатии, МПа
1	ИПВ	357,7	48,4	18,0
2	ИСВ	455,3	48,8	23,6

Результаты показали (табл. 1), что при совместном помолу комовой извести с силикат-глыбой получено вяжущее с более высокой удельной поверхностью по сравнению с помолом ИПВ при одинаковом времени измельчения (примерно на 100 м<sup>2</sup>/кг), что позволяет сократить энергозатраты при производстве вяжущего. Образцы, изготовленные на ИСВ (состав 2) после автоклавной обработки оказались прочнее контрольных (состав 1) в 1,3 раза.

Целью дальнейшего эксперимента было изучение кинетики набора прочности в зависимости от времени автоклавирования. Образцы обеих серий были повторно изготовлены, но в большем количестве и подвергнуты автоклавной обработке при различной продолжительности изотермической выдержки. Последняя изменялась от 1 до 6 ч. Перед автоклавированием определялась прочность сырца, которая оказалась практически одинаковой для обеих серий образцов – 0,52–0,53 МПа. После каждого режима автоклавной обработки определялась механическая прочность образцов.

Как показали результаты (рис. 1), контрольные образцы плавно набирают прочность, достигая ее максимального значения (17,8 МПа) к 6 ч автоклавирования (кривая 1). У образцов на ИСВ в начальной стадии автоклавной обработки наблюдается резкий скачок прочности, которая достигает своего максимального значения (25,4 МПа) после 2 ч. Далее идет плавное падение прочности (кривая 2).

По результатам рентгено-фазового анализа наблюдается существенное снижение кварцевых пиков образцов состава 2 по сравнению с контрольными образцами состава 1. При этом рентгенограммы образцов 2-го состава зафиксировали появление тоберморита 11,3 Å после двух часов изотермической выдержки (рис. 2).

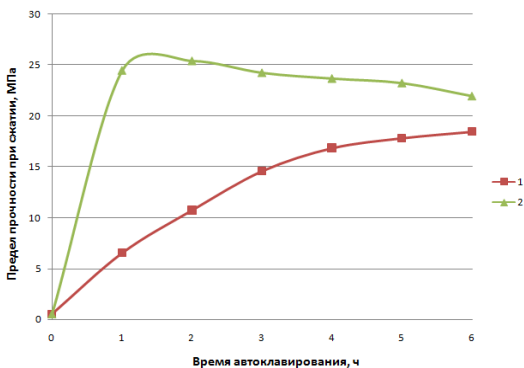
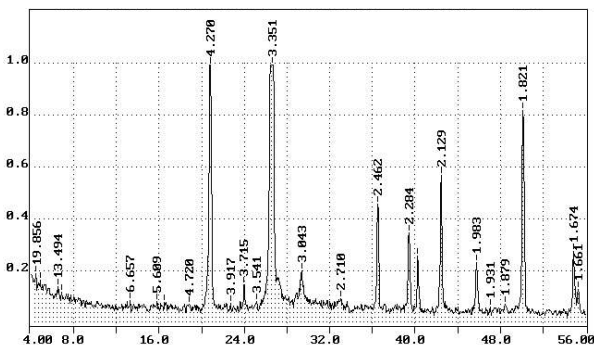


Рисунок 1 – Кинетика набора прочности образцов: 1 с использованием ИПВ; 2 – с использованием ИСВ



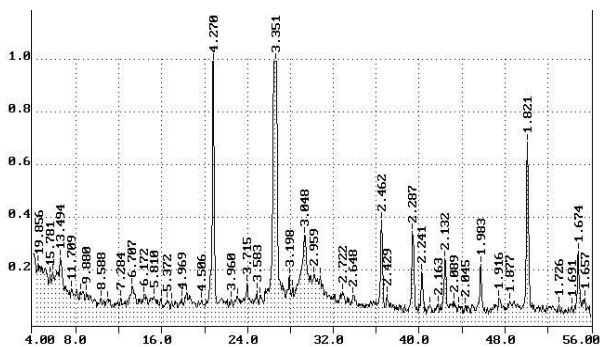


Рисунок 2 – Рентгенограммы образцов: с использованием ИПВ (верхняя); с использованием ИСВ (нижняя)

Микроструктура образцов изучалась на растровом электронном микроскопе TescanMira 3 Центра Высоких Технологий БГТУ им. В. Г. Шухова. Увеличение экспозиции составляло от 1000 до 2000.

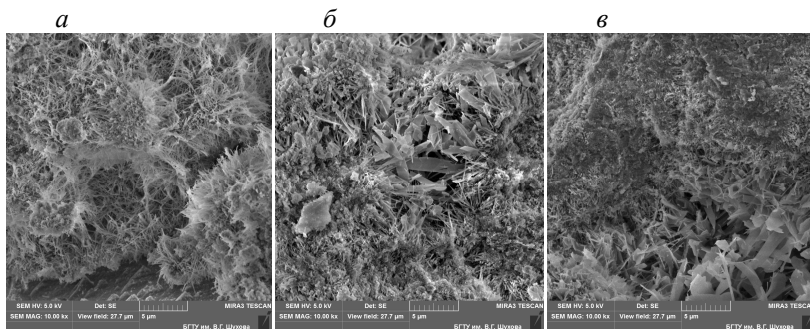


Рисунок 3 – Микроструктура образцов с использованием ИПВ после автоклавной обработки:  
а – 2 ч; б – 4 ч; в – 6 ч

а б в

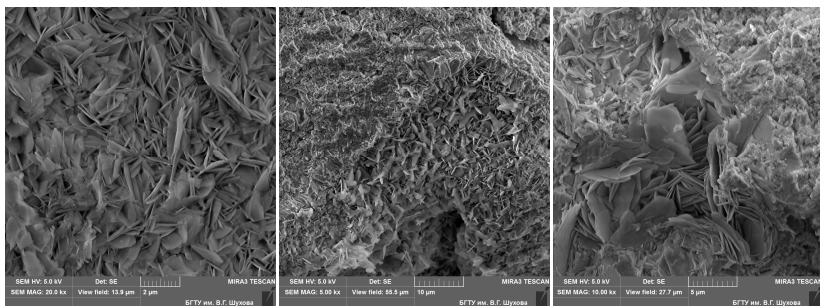


Рисунок 4 – Микроструктура образцов с использованием ИСВ после автоклавной обработки:  
*a* – 2ч; *б* – 4 ч; *в* – 6ч

Исследования микроструктуры выявили следующую закономерность. В образцах контрольной серии после 2 ч автоклавирования наблюдаются гелевидные фазы гидросиликатов, в то время как в образцах с использованием ИСВ за этот промежуток времени четко обозначились пластинчатые кристаллы тоберморитовой группы (рис. 3 *a* и 4 *a* соответственно). При увеличении времени изотермической выдержки в образцах состава 1 после 4 ч начинается перекристаллизация коллоидных фаз в кристаллы гидросиликатов, которая заканчивается к 6 ч автоклавирования (рис. 3 *б* и 3 *в*). В этом же промежутке времени в образцах состава 2 происходит рост и увеличение в объеме ранее образовавшихся кристаллов, что приводит к частичной деструкции и снижению прочности материала (рис. 4 *б* и 4 *в*).

Результаты показывают, что использование силикат-глыбы в качестве компонента автоклавного вяжущего способствует снижению энергозатрат при совместном помоле с известью в процессе его получения (по сравнению с получением ИПВ), повышению механической прочности силикатного автоклавного материала и существенному сокращению продолжительности гидротермальной обработки. Данный эффект проявляется в высокой активности силикат-глыбы, которая, имея аморфную структуру, вступает в реакцию с известью на начальной стадии гидротермальной обработки. Результаты рентгено-фазового анализа и растровой электронной микроскопии фиксируют при этом образование низкоосновных гидросиликатов кальция, кристаллизация которых в традиционных смесях заканчивается лишь после 6 ч изотермической выдержки в автоклаве.

Безусловно, силикат-глыба является более дорогостоящим материалом, чем природный кварцевый песок, однако ее использование позволяет снизить энергозатраты на помол вяжущего, сократить продолжительность изотермической выдержки гидротермального процесса до 2 ч, что приведет к существенной экономии пара, повышению производительности автоклава и выпуска готовой продукции.

#### Список литературы:

1. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
2. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
3. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
4. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
5. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77-83.
6. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
7. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазonoной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13-18.
8. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 9-12.
9. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
10. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов // Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Омск, 2011.



11. Вишневская Я.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 53-56.
12. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 24. № 11. С. 1496-1502.

## КОМПЛЕКСНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

**Галеев А.Ф., студент,  
Кашапов Р.Р., аспирант,  
Морозов Н.М., канд. техн. наук, доц.,  
Красиникова Н.М., канд. техн. наук, доц.**  
*Казанский государственный архитектурно-строительный  
университет*

При производстве бетонных конструкций, интенсификация твердения цемента в основном достигается за счет различных способов их термообработки (пропариванием, разогревом, автоклавированием и др.) или путем использования быстротвердеющих и специальных цементов, а также с помощью химических добавок. Твердение бетона при невысоких температурах 25-35<sup>0</sup>С актуально для высокопрочных или обычных малопрогретных и беспрогретных бетонов, особенно монолитных, в которых скорость упрочнения является функцией высокой плотности и низкого содержания воды за счет введения суперпластификаторов. Поэтому интервал температур 25-35<sup>0</sup>С и ниже представляет большой практический интерес. Поэтому, при сегодняшней тенденции стремления к получению высокопрочных бетонов, с малодефектной структурой [1], целесообразна разработка и внедрение беспропарочной технологии производства бетонов, а за счет исключения из цикла производства бетона и железобетона операции тепловлажностной обработки, получится значительный экономический эффект.

Применение химических добавок для ускорения твердения бетона является наиболее простым и экономичным технологическим решением [2]. Развитие теории и практики модифицирования бетонов создало реальную предпосылку к созданию новых модификаторов структуры с более высокими техническими и экономическими показателями. С экономической и экологической точек зрения для производства добавок целесообразно использовать побочные продукты и отходы промышленности [3]. Поэтому было проведена работа по получению комплексного ускорителя для бетонов, позволяющего значительно увеличить прочность впервые сутки твердения.

В качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Мордовцемент», имеющего активность 50,5 МПа и нормальную плотность 25,5%. Для работы использовали строительный песок с модулем крупности 2,6. В качестве суперпластификатора использовали добавку

Melflux 2641F на поликарбоксилатной основе. Для ускорения твердения использовали различные соли – ускорители (сульфаты и хлориды) а также отход ОАО «Химический завод им. Л.Я. Карпова» (г. Менделевск, Республика Татарстан) – силикат-глыбу содо-сульфатную (СГ). Химический состав СГ:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 71%,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,9%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,7%,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 22,4%.

Для повышения эффективности солей-ускорителей твердения в комплексной ускоритель был введен суперпластификатор Melflux, который снижает расход воды и тем самым также повышает прочность бетона во все сроки твердения. Для оценки действия ускорителей приготавливали мелкозернистую бетонную смесь с распылом конуса 150 мм. Результаты совместного использования суперпластификаторов и солей ускорителей представлены в табл. 1

Таблица 1 – Влияние добавок на прочность мелкозернистого бетона

№	Цемент	Песок	Melflux, %	Ускоритель	Дозировка ускорителя, %	В/Ц	Прирост прочности в возрасте 1 суток, %
1	500	1500	-	-	-	0,51	0
2	500	1500	0,3	-	-	0,38	39
3	500	1500	0,3	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0,5	0,38	60
	500	1500	0,3		1	0,38	131
4	500	1500	0,3	$\text{FeSO}_4$	0,5	0,38	69
	500	1500	0,3		1	0,38	66
5	500	1500	0,3	СГ	0,5	0,38	76
	500	1500	0,3		1	0,38	92
6	500	1500	0,3	KCl	0,5	0,38	113
	500	1500	0,3		1	0,38	114
7	500	1500	0,3	$\text{CaCl}_2$	0,5	0,38	111
	500	1500	0,3		1	0,38	117

Как видно из табл.2, эффективность добавок ускорителей зависит от их дозировки. Так при дозировке 0,5% от массы цемента наиболее эффективными являются KCl,  $\text{CaCl}_2$ . При введении 1% добавок эффективнее оказались соли на основе сульфатов. Также стоит

отметить, что хлориды при увеличении дозировки прочность увеличили не значительно. Так как механизм ускорения при введении сульфатов и хлоридов различный, было предложено совместить несколько солей, и за основу была принята СГ. Выбор СГ обусловлен ее низкой стоимостью и достаточным ускорением твердения бетона. Далее было осуществлено совмещение различных солей с силикат-глыбой в количестве 0,5% каждого компонента. Результаты комплексного использования солей представлены в табл.2.

Таблица 2 – Влияние комплексного ускорителя твердения на прочность мелкозернистого бетона

№	Цемент	Песок	Melflux,%	Уско- рители	Дози- ровкауско- рителей,%	В/Ц	Прочность, МПа в возрасте	
							1 суток	28 суток
1	500	1500	-	-	-	0,51	9,0	36,2
2	500	1500	0,3	СГ+ CaCl <sub>2</sub>	0,5+0,5	0,37	22,9	51,1
3	500	1500	0,3	СГ+ KCl	0,5+0,5	0,37	20,5	48,5

Из данных табл. 2 видно, что комплексное использование различных солей достаточно эффективно, так как суточная прочность во всех случаях увеличивается более чем в два раза. Помимо прочности впервые сутки твердения, комплексный ускоритель также позволяет увеличить и марочную прочность мелкозернистого бетона на 55%. Следует отметить, что незначительное содержание хлоридов (0,5% в разработанной добавке, при расходе комплексного ускорителя 1,3% от веса цемента) не будет вызывать коррозию арматурной стали, т.к. согласно [4] содержание хлористого кальция ограничивается 2% от веса цемента.

Наиболее важной отличительной особенностью полученного комплексного ускорителя является то, что в качестве основного сырья взамен обычно применяемых неорганических солей используется неутилизируемые отходы химического производства РТ.

Таким образом, совместное использование суперпластификатора на основе поликарбоксилатов, силикат-глыбы и хлоридов в мелкозернистом бетоне увеличивает прочность впервые сутки в 2 раза и позволяет получить 30% от марочной прочности контрольного состава.

Такое увеличение прочности позволяет полностью отказаться от тепловой обработки бетона.

**Список литературы:**

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С. Новые модифицированные бетоны. М. ООО «Типография «Парадиз», 2010. 258 с.
2. Сальников А.В., Хозин В.Г., Морозова Н.Н, Демьянова В.С. Влияние комплексного модификатора на свойства цементного вяжущего // Строительные материалы. 2004. № 8. С. 36-37.
3. Филатов Л.Г. Эколого-технологические проблемы бетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 11. С. 34-35.
4. Миронов С.А., Малинина Л.А. Ускорение твердения бетона. 2-е изд. М. Стройиздат, 1964. 348 с.

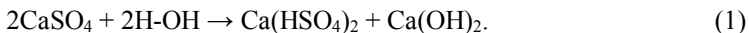
## ВЛИЯНИЕ ВАРЬИРОВАНИЯ КИСЛОТНО – ЩЕЛОЧНОГО БАЛАНСА НА ФИЗИКО – МЕХАНИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИПСА

Гасанов С.К., аспирант,  
Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

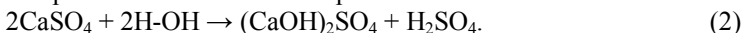
Природный гипс не проявляет ни кислотных, ни основных свойств. Причина этого в том, что молекулы гидратной воды связывают его электронодонорные и электроноакцепторные центры. Энергия связи молекул воды с этими центрами различная. В результате такого взаимодействия образуется устойчивый кристаллогидрат сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). При нагревании структура гипса нарушается и в зависимости от условий образуются устойчивые и активные продукты с различным соотношением активных центров и разным отношением к воде [5].

При соприкосновении с водой продукты термообработки гипса поляризуют молекулы воды, изменяя ее кислотность. Выделяется два типа поляризации молекул воды [2]. Если поляризация воды происходит за счет свободных орбиталей ионов  $\text{Ca}^{+2}$ , образующихся при неполном разрыве водородных связей, то суспензия вяжущего подкисляется. В случае поляризации воды ионами  $\text{SO}_4^{2-}$ , образующимися при полном разрыве водородных связей, суспензии вяжущего приобретают щелочную среду.

Устойчивые фазы сульфата кальция поляризуют воду за счет не поделенных электронных пар групп  $\text{SO}_4^{2-}$ , с отрывом ионов  $\text{H}^+$  по схеме:



Активные фазы сульфата кальция поляризуют воду за счет свободных орбиталей ионов  $\text{Ca}^{+2}$  с отрывом ионов  $\text{OH}^-$  по схеме:



В первом случае в суспензиях уменьшается концентрация ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , а во втором – ионов  $\text{Ca}^{+2}$ , за счет образования слабых электролитов. Таким образом, гидроксिलированные твердые гипсовые частицы обладают амфотерными свойствами и способны вступать во взаимодействие, как с кислотными, так и с основными веществами в зависимости от природы окружающих частиц.

В связи с чем, активаторами твердения нерастворимого ангидрита ( $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$ ) могут выступать как кислотные, так и щелочные добавки, способные изменять химическое равновесие реакций 1 и 2.

В работах Х.-Б. Фишера были проанализированы механизмы действия различных видов активаторов твердения ангидрита (II). Оптимальным количеством активаторов по Фишеру, является использование 2 и более активаторов твердения, использование одной активирующей добавки, значительно снижает механическую прочность и количество гидратной влаги в гипсовом камне, относительно образцов с использованием 2 и более химических добавок [1].

Химические добавки изменяют не только растворимость ангидрита и дигидрата сульфата кальция, но и оказывают существенное влияние на характер кристаллизации новообразований при гидратации ангидритового вяжущего.

Принцип действия активаторов основывается на их способности повышать скорость растворения ангидрита при затворении его водой. Процесс гидратации ангидрита в значительной мере зависит от вида активатора. Наиболее распространенные способы активации твердения можно разделить по химическому составу вводимых добавок [3]:

- сульфатная активация (с помощью сульфатов щелочных металлов, сульфатов тяжелых металлов, кислых сульфатов),
- щелочная активация ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ),
- преимущественно щелочная активация (портландцементный клинкер, доменный шлак, шлакопортландцемент и др.)
- смешанная активация (щелочной компонент и добавка сульфата).

Известно, что сульфатные активаторы повышают прочность, а щелочные придают материалу постоянство объема. Следовательно, каждому ангидриту для создания на его основе материала с комплексом заданных свойств требуется определенная комбинация, подходящих ему активаторов твердения. На сегодняшний день влияние комплексных добавок на свойства ангидритовых вяжущих пока недостаточно изучено [1].

Целью данной работы являлось исследовать влияние рН водных суспензий  $\text{CaSO}_4$  (II) с комплексными добавками, на структуру кристаллов гипса, а также на плотность образцов и прочность при сжатии.

В работе использовался гипс Баскунчакского месторождения обожженный в муфельной печи в течении 2 часов при температуре  $650^\circ\text{C}$ . Величина рН суспензии полученного в следствии обжига нерастворимого ангидрита ( $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$ ) равна 11,93. Сульфат аммония

применяли к каждому образцу, в качестве главного активатора. Для варьирования водородного показателя использовали концентрированную серную кислоту и гидроксид калия. Из выше приведенных материалов приготавливались смеси с  $v/t = 0,35$  и заформовывались в кубики размером  $2 \times 2 \times 2$  см. На 7 сутки кубики расформовывались для измерения таких параметров, как: плотность, предел прочности при сжатии и степень гидратации, после чего образцы отправляли на растровый электронный микроскоп (рис. 1).

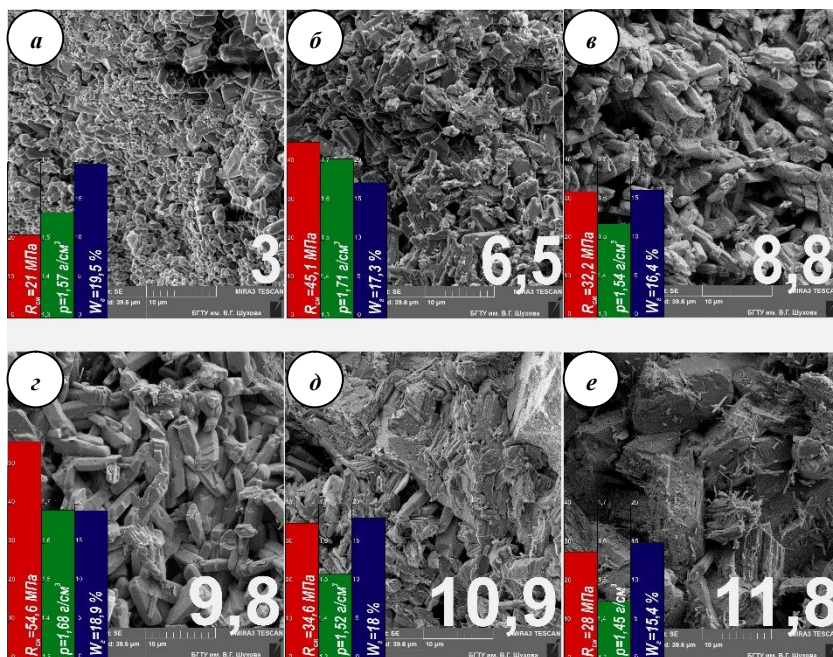
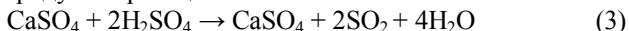


Рисунок 1 – Влияние варьирования кислотно-щелочного баланса на структуру и габитус кристаллов гипса: *a* –  $pH=3$ ; *б* –  $pH=6,5$ ; *в* –  $pH=8,8$ ; *г* –  $pH=9,8$ ; *д* –  $pH=10,9$ ; *е* –  $pH=11,8$  (предел прочности при сжатии – красная линия; плотность – зеленая линия; степень гидратации (максимальная степень гидратации равна 20,5%) – синяя линия)

• *Рис. 1а* ( $pH = 3$ ). Данный образец получен при добавлении 2%  $H_2SO_4$  (конц.) и 1%  $(NH_4)_2 SO_4$  к нерастворимому ангидриту ( $CaSO_4 \cdot II$ ). В связи с высоким содержанием кислотных групп ( $SO_3^{-2}$ ), ангидрит практически полностью растворяется, что подтверждается высокой



степень гидратации (19,5 %). Кристаллы не вытянутые, имеют слабовыраженную форму. В следствии высокой кислотности выделяются пары продуктов реакции:



Увеличивается количество пор и декоагуляция кристаллов гипса, что и приводит к сравнительно низкой плотности и прочности [4].

• *Рис. 1б* (pH = 6,5). Состав: 1%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (конц.) и 1%  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ . Благодаря небольшому размеру сформировавшихся призматических кристаллов гипса (2-6 мкм.) и неполной гидратации нерастворимого ангидрита, частицы  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  и кристаллы  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  образовали очень плотную структуру, что прямо пропорционально повлияло на прочность гипсового камня.

• *Рис. 1в* (pH = 8,8). Для данного образца использовали 0,5% KOH и 2%  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ . Кристаллы с размерами 5-10 мкм. объемны, но плохо сращены, что приводит к большому количеству пор, в результате низкая плотность и прочность соответственно.

• *Рис. 1г* (pH = 9,8). Состав комплексной добавки: 1% KOH и 1%  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ . Представленная на *рисунке 1г* структура гипса обладает схожей со структурой предыдущего образца (*Рис. 1в*), но благодаря более лучшему сращению кристаллов, материал имеет достаточно высокую плотность и прочность.

• *Рис. 1д* (pH = 10,9). Процентное количество активирующих добавок: 0,5% KOH и 0,5%  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ . Значительное снижение плотности образцов свидетельствует о формировании крупных агломератов кристаллов гипса, создающих пористую упаковку. Помимо плотно сращенных кристаллов в структуре присутствует значительное количество малоразмерных сегментов.

• *Рис. 1е* (pH = 11,8). Содержание активных элементов: 2% KOH и 0,5%  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ . Увеличение количества добавки гидроксида калия приводит к образованию крупных волокнистых кристаллов гипса размером более 12 микрон. Присутствующие сегменты непрореагировавшего ангидрита (приблизительно 20%) и сформировавшиеся небольшие нитевидные кристаллы не в состоянии заполнить поры в гипсовом камне.

Анализируя полученные результаты, приведенные на *рисунке 1*, очевидно, что изменение водородного показателя несет второстепенную роль в формировании габитуса кристаллов и структуры гипсового камня. Основную роль выполняет оптимальный выбор активирующих добавок.

### Список литературы:

1. Фишер Х.-Б., Второв Б.Б. Влияние активаторов твердения на свойства природного ангидрита // II Международное совещание по химии и технологии цемента, 4–8 декабря 2000 г., РХТУ им. Д.И. Менделеева. М.: Том. 2. С. 53–61.
2. Клименко В.Г. Многофазовые гипсовые вяжущие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 198 с.
3. Klimentko V.G., Pavlenko V.I., Gasanov S.K. The Role of pH Medium in Forming Binding Substances on Base of Calcium Sulphate / Middle-East Journal of Scientific Research. 2013, T.17.№8. С. 1169-1175.
4. Даумантас Э.П., Жвиронайте Я.А. Влияние кислых добавок на процесс гидратации ангидрита. Строительные материалы // Материалы докладов конференции «Развитие технических наук в республике и исследование их результатов». Каунас, 1975. С. 53–54.
5. Клименко В.Г. Гипсоангидритовые вяжущие вещества // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2011. № 4. С. 19-23.

## **ПАРАМЕТРЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАТЕРИАЛ-СРЕДА ОБИТАНИЯ»**

**Голиков Г.Г., канд. соц. наук,**

**Толмачева М.М., аспирант**

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

Оптимизация системы «человек-материал-среда обитания» является важнейшей задачей современности. В статье приводится информация о параметрах среды обитания влияющих на условия жизнедеятельности человека. Особое место уделяется температуре окружающей среды, источникам отопления, в том числе инфракрасному отоплению, структуре и теплофизическим параметрам строительных материалов и предметов быта.

На данном этапе развития цивилизации, когда человеческая деятельность сравнима по масштабам с геологическими процессами, обостряются отношения между органическим и неорганическим миром, обостряются экологические проблемы, ухудшается комфортность системы «человек-материал-среда обитания» [1-5].

Жизнедеятельность - это повседневная деятельность, отдых и способ существования человека. Жизнедеятельность человека протекает в постоянном контакте со средой обитания, окружающими предметами, людьми. Среда обитания может оказывать благотворное или неблагоприятное влияние на состояние здоровья человека, его самочувствие и работоспособность. Параметры окружающей среды, при которых создаются наилучшие для организма человека условия жизнедеятельности, называются комфортными.

Воздействие вредных факторов на человека сопровождается ухудшением здоровья, возникновением профессиональных заболеваний, а иногда и сокращением жизни.

Человек и окружающая среда взаимодействуют и развиваются лишь в условиях, когда потоки энергии, вещества и информации находятся в пределах, благоприятно воспринимаемых человеком и природной средой.

Взаимодействие человека со средой обитания может быть позитивным или негативным, характер взаимодействия определяют потоки веществ, энергий и информации. Любое превышение привычных уровней потоков сопровождается негативными воздействиями на человека или природную среду.

В условиях техносферы негативные воздействия обусловлены элементами техносферы (машины, сооружения и т.д.) и действиями человека. Изменяя величину любого потока от минимально значимой до максимально возможной, можно пройти ряд характерных состояний взаимодействия в системе « человек- среда обитания»:

- комфортное (оптимальное), когда потоки соответствуют оптимальным условиям взаимодействия: создают оптимальные условия деятельности и отдыха; предпосылки для проявления наивысшей трудоспособности и как следствие продуктивности деятельности; гарантируют сохранение здоровья человека и целостности компонент среды обитания.

- допустимое, когда потоки, воздействуя на человека и среду обитания, не оказывают негативного влияния на здоровье, но приводят к дискомфорту, снижая эффективность деятельности человека. Соблюдение условий допустимого взаимодействия гарантирует невозможность возникновения и развития необратимых процессов у человека и в среде обитания.

- опасное, когда потоки превышают допустимые уровни и оказывают негативное воздействие на здоровье человека, вызывая при длительном взаимодействии заболевания, и/или приводят к деградации природной среды.

- чрезвычайно опасное, когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут нанести травму, привести человека к летальному исходу, вызвать нарушения в природной среде.



Рисунок 1 – Состояния взаимодействия человека со средой обитания

Из четырёх характерных состояний взаимодействия человека со средой обитания лишь первые два (комфортное и допустимое) соответствуют позитивным условиям повседневной деятельности, а два других (опасное и чрезвычайно опасное) - недопустимы для процессов жизнедеятельности человека, сохранения и развития природной среды. Следовательно, поддержание комфортного и/или допустимого состояний является способом повышения защищённости человека.

Параметры - температура окружающих предметов и интенсивность физического нагревания организма характеризуют конкретную производственную обстановку и отличаются большим разнообразием. Остальные параметры - температура, скорость, относительная влажность и атмосферное давление окружающего воздуха - получили название параметров микроклимата.

Параметры микроклимата воздушной среды, которые обуславливают оптимальный обмен веществ в организме и при которых нет неприятных ощущений и напряжённости системы терморегуляции организма, называют комфортными или оптимальными.

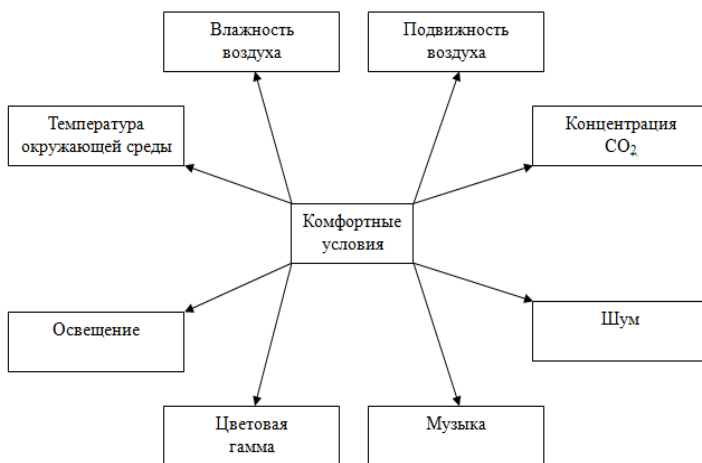


Рисунок 2 – Комфортные условия

Условия, при которых нормальное тепловое состояние человека нарушается, называются дискомфортными. Методы снижения неблагоприятных воздействий в первую очередь производственного микроклимата осуществляются комплексом технологических, санитарно-технических, организационных и медико-профилактических

мероприятий: вентиляция, теплоизоляция поверхностей источников теплового излучения (печей, трубопроводов с горячими газами и жидкостями), замена старого оборудования на более современное, применение коллективных средств защиты (экранирование рабочих мест либо источников, воздушные душирования и т.д.) и др.

Одним из необходимых условий нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение нормальных условий в помещениях, оказывающих существенное влияние на тепловое самочувствие человека. Метеорологические условия или микроклимат, зависят от теплофизических особенностей технологического процесса, климата, сезона года, условий отопления и вентиляции.

Жизнедеятельность человека сопровождается непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Её количество зависит от степени физического напряжения в определённых климатических условиях и составляет от 85 Дж/с (в состоянии покоя) до 500 Дж/с (при тяжёлой работе). Теплоотдача организма человека определяется температурой окружающего воздуха и предметов, скоростью движения и относительной влажностью воздуха. Для того, чтобы физиологические процессы в организме протекали нормально, выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду. Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо к переохлаждению организма и как следствие к потере трудоспособности, быстрой утомляемости, потери сознания и тепловой смерти.

Одним из важных показателей теплового состояния организма является средняя температура тела (внутренних органов) порядка 36,5 °С. Она зависит от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении физической работы. При выполнении работы средней тяжести и тяжёлой при высокой температуре воздуха температура тела может повышаться от нескольких десятых градуса до 1...2 °С. Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек +45°С, минимальная +25°С. Основную роль в теплоотдаче играет температурный режим кожи. Её температура меняется в довольно значительных пределах и при нормальных условиях средняя температура кожи под одеждой составляет 30...34°С. При неблагоприятных метеорологических условиях на отдельных участках тела она может понижаться до 20 °С, а иногда и ниже.

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется конвекцией в результате омывания тела воздухом, теплопроводностью, излучением на окружающие поверхности и в

процессе теплообмена при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами и при дыхании.

Нормальное тепловое самочувствие имеет место, когда тепловыделение человека полностью воспринимается окружающей средой, т.к. тогда имеет место тепловой баланс. В этом случае температура внутренних органов остаётся постоянной. Если теплопродукция организма не может быть полностью передана окружающей среде, происходит рост температуры внутренних органов, и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «жарко». Перегревание приводит к гипертермии - перегреванию организма выше допустимого уровня (до 38-39°C), с такими же симптомами, как и у теплового удара. В случае, когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем её воспроизводит человек, то происходит охлаждение организма (холодно). Длительное воздействие пониженной температуры, большая подвижность и влажность воздуха, могут быть причиной охлаждения и даже переохлаждения организма - гипотемии. Теплоизоляция человека, находящегося в состоянии покоя (отдых сидя или лёжа), от окружающей среды приводит к повышению температуры внутренних органов уже через 1 час на 1,2°C. Теплоизоляция человека, производящего работу средней тяжести, вызовет повышение температуры уже на 5 °C и вплотную приблизится к максимально допустимой. Тепловое самочувствие человека, тепловой баланс в системе человек-окружающая среда зависит от температуры окружающей среды, подвижности и относительной влажности воздуха, атмосферного давления, температуры окружающих предметов и интенсивности физического нагревания организма.

С одной стороны, повышение уровня комфортности жизнедеятельности людей способствует их защищённости. Но повышение комфортности является лишь одним из следствий развития экономики, которая порождает на пути своего развития ряд острых экологических проблем, которые в свою очередь приводят к усилению негативных воздействий на человека. Следовательно, для действительного повышения уровня защищенности людей необходимо обеспечение жизнедеятельности людей в соответствии с законами природы.

Для эффективного использования какого-либо вида отопления необходимо окружение из материалов соответствующей структуры и текстуры. Для более рационального использования систем отопления, желательно использовать для строительства материалы с малой поглощательной и большой отражательной способностью. Ведь немалая

часть тепла уходит за пределы отапливаемого помещения. Строительные материалы должны обеспечивать нормативное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, указанного в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и другие нормативные документы написаны исходя из доминирующих в жилых помещениях конвективных систем отопления. В нормах устанавливают требования к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций, недопущению конденсации влаги, воздухопроницаемости, теплоустойчивости. А вот параметры, которые определяют комфортность [9], они не заложены. Не учитываются серьезные изменения экологии, образа жизни, питания вида Homo Sapiens. Необходима разработка концепции - инфракрасный материал для инфракрасного отопления.

#### **Список литературы:**

1. Лесовик В.С. Архитектурная геоника. Взгляд в будущее // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып.31 (50). Ч.1. Города России. С. 131-136.
2. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород: Научное издание. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 526 с.
3. Lesovik V.S. Senkung der Energieintensität der Baustoffproduktion durch die Energieanwendung von geologischen- und Technogenprozessen/ 18. Ibaus. Internationale Baustofftagung. Weimar, 2012
4. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. №1. С. 9-12.
5. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 219 с.
6. Падалка Д.Г. Отопление: от А до Я. Киев: Изд-во «Диалог-Пресс», 2008. 44 с.
7. Системы лучистого отопления и охлаждения // журнал «АВОК» за №6'2003
8. Грановски, В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы // журнал «АВОК» №8'2011.
9. Толмачева М.М. Параметры оптимизации системы «человек-материал-среда обитания. БГТУ им. В.Г. Шухова



## **СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ УСТРОЙСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ДЕКОРАТИВНЫХ БЕТОННЫХ ПОЛОВ\***

**Гончарова М.А., д-р техн. наук, проф.,  
Каширская О.А., студент,  
Ивашкин А.Н., аспирант,  
Комаричев А.В., аспирант**

*Липецкий государственный технический университет*

В последнее время активно развивается промышленность нашей страны, появляются новые предприятия, производственные цеха, складские помещения, кроме того строятся наземные паркинги и подземные гаражи, открываются крупные логистические и торговые комплексы. Одним из важнейших конструктивных элементов в промышленных и гражданских зданиях является пол, так как именно он в процессе эксплуатации подвергается различным механическим нагрузкам, воздействиям специфических агрессивных средств, загрязнений и т.д. Поэтому на сегодняшний день актуальным вопросом можно считать выбор оптимального вида покрытия пола.

Широкое распространение получают бетонные монолитные полы с наливным полимерным покрытием или без такового [1]. Данный тип полов принято называть «промышленными». Совершенно очевидно, что сфера их применения многообразна, а значит и требования, предъявляемые к промышленным полам различны. К ним можно отнести высокую поверхностную прочность, химическую стойкость, долговечность, беспыльность, ровную поверхность. Поэтому при выборе покрытия пола можно учесть комплекс необходимых требований и осуществить оптимальный подбор компонентов, позволяющих удовлетворить данные требования.

Рассмотрим технологию устройства бетонных полов без полимерного покрытия. Наиболее часто в мировой практике используются бетонные полы с упрочненным верхним слоем. При данном способе в лицевую поверхность свежееуложенного бетона втираются сухие упрочняющие смеси, после чего поверхность заглаживается бетоноотделочными машинами до глянца [2]. Такие смеси называются топпингами. Их использование существенно повышает прочность, износостойкость пола, значительно снижается возможность образования трещин, что позволяет уменьшить толщину бетонного основания пола.

Топпинг – это сухая упрочняющая смесь на основе цемента, модифицированная химическими добавками, армированная кварцевым песком, металлическими опилками или корундом.

Технология устройства пола с упрочненным верхним слоем состоит из нескольких этапов. Первый из них – правильная подготовка основания, в частности его обеспыливание и грунтование.

Следующая технологическая стадия – армирование. Оно предотвращает возможность усадки бетона на ранних стадиях и появления трещин.

Далее следуют работы по укладке бетона, после которых производят виброуплотнение бетонной смеси с последующим выравниванием. Через 3-6 часов приступают к первоначальной механизированной затирке поверхности при помощи бетоноотделочных машин.

Затем наступает время нанесения топпинга. Для устройства верхнего упрочняющего слоя сухой упрочнитель в два этапа рассыпают на поверхность бетонной стяжки. На первом этапе наносят 2/3 от общего количества упрочнителя, на втором – оставшуюся 1/3. После первого нанесения необходимо выждать время для того, чтобы упрочнитель полностью насытился влагой, поступающей из бетона (окончание этого процесса будет видно по потемнению поверхности). Затем приступают к машинной затирке поверхности бетона с упрочнителем с использованием одно- и двухроторных бетоноотделочных машин на дисках.

Топпинги рекомендуется наносить при температуре окружающей среды не ниже +5°C и не выше +30-35°C, при этом на объекте не должно быть сквозняков. Готовый пол необходимо обработать силером – уплотнительной пропиткой на акриловой или кремнийсодержащей основе, которая повышает химостойкость бетона, понижает его естественное водопоглощение и уменьшает выделение пыли [3].

Преимуществами таких полов являются беспыльность, высокая стойкость к статическим и динамическим нагрузкам, кратковременная устойчивость к воздействию масел и нефтепродуктов. Кроме того, технология упрочнения позволяет улучшить эстетические свойства бетонной поверхности за счет возможности придания покрытию широкой цветовой гаммы. Из недостатков можно назвать требовательность покрытий к точному соблюдению технологии их

изготовления, необходимость применения громоздкого оборудования, небольшое удорожание возводимого бетонного пола.

Все более востребованным становится другой вид покрытия – бесшовные полимерные наливные полы. Основанием для нанесения полимерного пола служит обычно ровный, шлифованный бетонный пол. После нанесения полимерного покрытия получается бесшовный, ровный, износостойкий к механическим нагрузкам и воздействию агрессивных химических соединений пол.

Полимерные полы могут быть прозрачными и цветными, можно делать разметку, наносить логотипы и нумерацию и т.п. Наиболее распространенные полимерные покрытия по типу полимера – это эпоксидные и полиуретановые полы.

Устройство стандартного полимерного пола можно разделить на несколько этапов:

1. Шлифование бетонного основания.
2. Грунтование полимерными составами для увеличения адгезии бетона основания и полимерного пола.
3. Нанесение полимерного основания, которое придает полу основные механические или декоративные свойства.

В зависимости от применяемых материалов, добавок и наполнителей промышленные полимерные наливные полы могут быть: ударостойкими, морозостойкими, вибростойкими, антискользящими, химическистойкими. К недостаткам относится цена, превосходящая стоимость устройства бетонного покрытия, склонность к отслоению от бетона в случае низкого качества подготовки бетонного основания.

Все перечисленные выше способы устройства бетонных полов для получения прочного и качественного лицевого слоя требуют дополнительных технологических операций: полировки или шлифовки. Это обусловлено необходимостью удаления с поверхности бетона рыхлого слоя.

Рыхлый слой на поверхности возникает в результате седиментации – расслоения бетонной смеси и увеличения водо-вяжущего отношения в верхнем рабочем слое бетона, что приводит к снижению прочности и адгезии.

Ситуация усугубляется низким качеством бетона и низкой культурой производства работ, по причине которых толщина рыхлого слоя бетона достигает 5-8 мм [5]. Весь этот слой бетона должен быть удален для получения прочных и долговечных покрытий.

Наличие рыхлого слоя и необходимость его шлифовки не позволяет получать равномерно окрашенные цветные покрытия, применяя декоративные бетоны.

Кроме того применение традиционных монолитных бетонных полов и стяжек весьма трудоемко [3]. Бетонную смесь укладывают в покрытие участками шириной 2-2,5 метра, ограниченными маячными рейками. Разравнивание осуществляется рейкой-правилом по маякам, уплотнение производится вибраторами.

Решением данных проблем является применение стабилизированных самонивелирующихся бетонных смесей, обеспечивающих высокую стойкость смеси к расслоению при высокоподвижной (литой) консистенции смеси. Приготовление данных самонивелирующихся смесей стало возможным сравнительно недавно, после изобретения в 1990 году японским профессором Хаймой Окамурой нового поколения добавок на основе полиакрилата и поликарбоксилата.

Широкому распространению данного типа бетонов препятствовала высокая стоимость данных добавок. В Японии, США и Европейских странах ситуация изменилась в 2000-х годах с открытием производства на концернах BASF, KAO Corporation и др. В России в 2013 году на ООО «Завод Синтанолов» г. Дзержинск открыто первое в стране производство таких добавок, что несомненно увеличит объемы применения самонивелирующихся бетонных смесей.

Для исследования возможности получения смесей данного типа были проведены лабораторные испытания составов, при проектировании которых руководствовались следующими основными требованиями:

- удобоукладываемость (расплыв конуса) 270-300 мм;
- жизнеспособность смеси (при температуре +23°C): 60 мин;
- максимальная толщина, наносимая за один слой (мм): 60;
- исключение седиментации и выпотевания свежеложенной бетонной смеси.

Экспериментально установлено, что для достижения данных требований составы декоративных самонивелирующихся бетонных смесей должны иметь максимально плотную гранулометрическую упаковку заполнителя, пластифицироваться высокоэффективными модификаторами на поликарбоксилатной основе, а также содержать водоудерживающие компоненты.

Для контроля общей и поверхностной прочности использовался метод ударного импульса. Прочность, измеренная прибором ИПС-

МГ4.03 варьировалась в пределах 5% и составляла в среднем 41,7 МПа, что является достаточным для устройства любого типа бетонного пола.

На поперечном срезе образца не наблюдалось расслоение заполнителя по высоте слоя покрытия, а так же отсутствовала видимая границы раздела растворной составляющей с более высоким водоцементным отношением.

Высокая стойкость к седиментации и расслоению исключают возникновение рыхлого слоя у данных смесей, что делает возможным применение декоративных бетонов для получения прочного, равномерно окрашенного цветного монолитного пола с прозрачным полимерным покрытием или без него.

Таким образом, применение самонивелирующихся декоративных бетонов позволяет исключить технологические операции разравнивания, уплотнения и шлифовки бетона, эффективно использовать современные достижения в области строительной химии, получить высокопрочные монолитные цветные полы.

#### **Список литературы:**

1. СНиП 3.04.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия». М., 1988.
2. Пособие «Рекомендации по устройству полов» в развитие СНиП 3.04.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия». М., 1988. 17 с.
3. Попов К.Н., Каддо М.Б. Современные материалы для устройства полов // Строительные материалы. 2000. № 3. С. 2-5.
4. Захаров С.А. Промышленные полы: как выбрать подходящее покрытие? // Экспозиция. 2009. № 82. С.9-11.
5. Захаров С.А. Бетонные полы для промышленного и коммерческого применения // Экспозиция. 2008. № 71. С.12-13.
6. Капитанов А.А. Топпинг: рецепты качественного пола // Экспозиция. 2008. № 71. С.49-50.

---

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части (НИР 496).*

## **МАТРИЦЫ КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ\***

**Гончарова М.А., д-р техн. наук, проф.,  
Чернышов Е.М., д-р техн. наук, проф.,  
Крохотин В.В., аспирант**

*Липецкий государственный технический университет*

Все разновидности металлургических отходов прошли свой путь агрегатного, фазового и вещественного преобразования. Они отличаются химическим, минеральным, морфологическим составом и термодинамическим состоянием. Но все они, исходя из теоретических представлений о возможностях синтеза соединений на основе кислотных и щелочных оксидов, потенциально эффективны для структурообразования систем твердения и строительных композитов на их основе.

Для проектирования составов композитов общестроительного назначения (сухих строительных смесей, мелкозернистых цементных, силикатных и асфальтных бетонов) предлагается вовлечь силикатную (неметаллическую) составляющую конвертерных шлаков и других отходов металлургии в структурообразование систем твердения. При этом предполагается возможность использования самостоятельной активности микро- и наноразмерных частиц отходов, образующих новые аморфные и кристаллические фазы «стартовых» систем твердения нулевого порядка (СТ-0) за счет их химико-минералогического потенциала.

Механизм твердения (гидратационный, контактно – конденсационный и др. природы) может активироваться с помощью целенаправленных высокотехнологичных приемов, в том числе механо–химическими методами с получением систем твердения первого порядка СТ- I.

В то же время активность отходов может быть использована в смесях с традиционными вяжущими веществами, воссоединение структур которых формируется за счет нормально-протяженной контактной зоны с образованием диффузных взаимопроникающих структур (системы твердения второго порядка (СТ-II)). При этом предполагается получение матриц, обладающих специальными свойствами – жаростойкостью (на основе цементных вяжущих и доменных шлаков, отсевов шамота и гидрата глинозема) и герметизирующими свойствами (за счет наполнения эпоксидных

полимеров металлической составляющей конвертерных шлаков и использования их ферромагнитных свойств в магнитных композициях).

Сочленение матриц СТ-I и (или) СТ-II с зернистыми техногенными материалами образуют системы структурообразования композитов общестроительного и специального назначения (СК).

Способы изготовления строительных материалов на основе цементных матриц базируются на технологиях, предусматривающих высокую стоимость процессов: спекание сырья при высоких температурах, тепловлажностную обработку и автоклавное твердение. Поэтому исходя из принципов эффективности строительных композитов наиболее перспективным представляется решение проблемы получения широкой номенклатуры материалов и изделий на основе конвертерных шлаков с использованием принципов контактно-конденсационного твердения.

Эти альтернативные технологии позволяют получать прочные строительные материалы (причем время твердения значительно сокращается) без значительных энергетических и трудовых затрат. Еще одним преимуществом является простота технологических приемов. При этом не требуется специальное оборудование – все операции могут быть осуществлены на традиционных линиях. Кроме того, технологии контактно-конденсационного твердения минимизируют технологический цикл, что также способствует увеличению экономического эффекта [1].

Процессы твердения вяжущих контактно-конденсационного твердения можно рассмотреть с позиций теории конденсации. В основе этой теории лежит идея о том, что дисперсные вещества в силу своей энергетической нестабильности обладают конденсационной способностью, снижаемой по мере уменьшения свободной энергии этих веществ.

Для установления оптимальных значений строительно-технических свойств вяжущих контактно-конденсационного твердения на основе конвертерных шлаков было решено использовать метод математического планирования. В качестве факторов, которые оказывают влияние на формирование вяжущей системы, были выбраны следующие:  $x_1$  – расход микрокремнезема,  $x_2$  – давление прессования,  $x_3$  – расход жидкого стекла (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования независимых переменных

Уровни	Переменные величины		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Нижний [-1]	10	80	0
Основной [0]	20	100	10
Верхний [+1]	30	120	20
Интервал варьирования	10	20	10

Результаты испытаний образцов контактно-конденсационного твердения, найденные по среднему арифметическому из трех параллельных испытаний, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний по планированию эксперимента

№ опыта	Прочность при сжатии, R, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	23,4	1900
2	20,1	1850
3	49,3	2400
4	45,9	2350
5	25,8	1950
6	24,5	1870
7	47,4	2300
8	43,4	2200
9	39,2	2150
10	38,1	2100
11	19,2	1700
12	51,1	2450
13	43,4	2270
14	30,1	2050
15	35,2	2020

На основе полученных результатов составим уравнения регрессии для откликов «прочность при сжатии» и «плотность»:

– для отклика «прочность при сжатии»

$$R(x_1, x_2, x_3) = 36,29 - 0,34 \cdot x_1 - 4,88 \cdot x_2 - 0,38 \cdot x_3 + 0,59 \cdot x_1^2 - 1,78 \cdot x_2^2 - 0,70 \cdot x_3^2 - 1,40 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,18 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,35 \cdot x_2 \cdot x_3$$

для отклика «плотность»



$$\rho(x_1, x_2, x_3) = 2095,94 + 10,89 \cdot x_1 - 70,19 \cdot x_2 + 1,16 \cdot x_3 + 12,65 \cdot x_1^2 - 21,20 \cdot x_2^2 + 36,34 \cdot x_3^2 - 40,0 \cdot x_1 \cdot x_2 - 10,0 \cdot x_1 \cdot x_3 - 2,5 \cdot x_2 \cdot x_3$$

После исключения незначимых коэффициентов уравнения регрессии имеют вид:

– для отклика «прочность при сжатии»

$$R(x_1, x_2, x_3) = 36,29 - 0,34 \cdot x_1 - 4,88 \cdot x_2 - 0,38 \cdot x_3 + 0,59 \cdot x_1^2 - 1,78 \cdot x_2^2 - 0,70 \cdot x_3^2 - 1,40 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,35 \cdot x_2 \cdot x_3$$

– для отклика «плотность»

$$\rho(x_1, x_2, x_3) = 2095,94 - 70,19 \cdot x_2 + 36,34 \cdot x_3^2 - 40,0 \cdot x_1 \cdot x_2$$

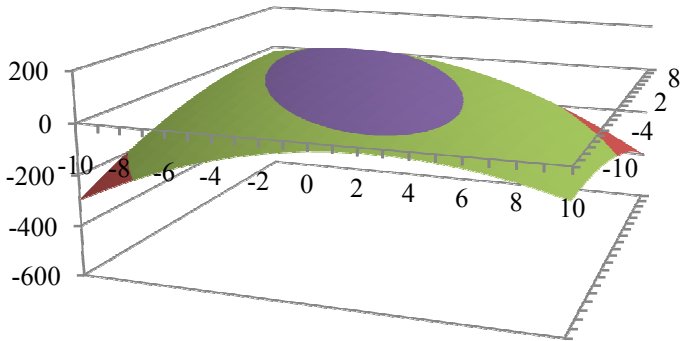


Рисунок 1 – Поверхность отклика «прочность»

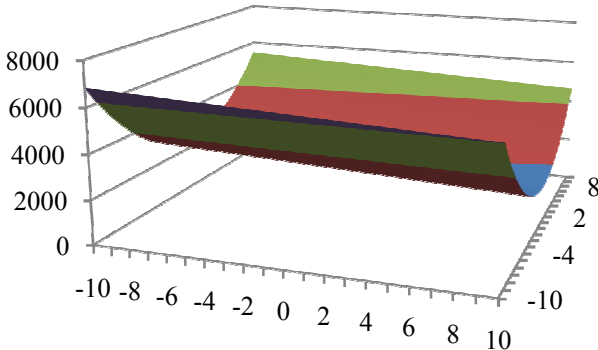


Рисунок 2 – Поверхность отклика «плотность»

Таким образом, оптимальными составами являются следующие:  
расход микрокремнезема – 10%, давление прессования – 120 МПа; и  
расход микрокремнезема – 20%, давление прессования – 124,3 МПа;  
расход жидкого стекла – 10%.

**Список литературы:**

1. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Казначеев С.В. Исследование наполненных цементных композитов контактно-конденсационного твердения // 8-е акад. чтения отделения строит. наук РААСН. Самара, 2004. С. 170-172.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках базовой части НИР № 496.*

## **ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ НА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО- ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

**Горностаева Е.Ю., канд. техн. наук, доц.,  
Лукутцова Н.П., д-р техн. наук, проф.,  
Ривоненко Я.А., студент,  
Суглобов А.В., студент,  
Гавриков П.Ю., студент**

*Брянская государственная инженерно-технологическая академия*

Известно, что одним из важнейших направлений в строительстве являются ресурсосберегающие технологии, к которым и относится получение древесно-цементных композиций (ДЦК). Перспективным и эффективным является широкое использование различных органических и неорганических добавок для улучшения качества ДЦК, а в последнее время все более актуальным становится вопрос модификации строительных композитов с помощью микронаполнителей.

Среди активных минеральных добавок техногенного происхождения, применяемых в современной технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, за рубежом и в нашей стране, особое место принадлежит микрокремнезему (МК).

Термином микрокремнезем (microsilica) или силикатный дым (silicafume), принято обозначать ультрадисперсные отходы металлургических производств, связанных с выплавкой сплавов, содержащих кремний.

Эти отходы представляют собой конденсированные аэрозоли и по общепринятой классификации коллоидных систем относятся к категории дымов. Они улавливаются рукавными и электрическими фильтрами систем сухой газоочистки печей, содержат ультрадисперсные частицы сферической формы со средним диаметром 0,1-0,3 мкм и удельной поверхностью 12000 м<sup>2</sup>/кг. Насыпная плотность собранного с фильтров материала – 250 кг/м<sup>3</sup>, а основной компонент – диоксид кремния аморфной модификации, т.е. кремнезем.

В технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций МК применяется в сочетании с водоредуцирующими компонентами – суперпластификаторами, пластификаторами; возможно его применение с другими добавками специального назначения.

Основные технические и технологические эффекты, которые достигаются при использовании МК, следующие:

- получение материалов высокой прочности;
- замена части цемента при получении равнопрочных материалов (снижение расхода цемента по сравнению с обычными материалами аналогичной прочностью на 50%).

На основании выше изложенных фактов, было решено использовать микрокремнезем в качестве микронаполнителя в древесно-цементных композициях.

Микродисперсная добавка вводилась в древесно-цементную смесь в количестве от 10 до 50% от содержания цемента.

Таблица 1 – Результаты испытания контрольных образцов и образцов ДЦКс микрокремнеземом

№ п.п.	Состав композиции	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Предел прочности при сжатии, МПа	Влажность, %
1	ДЦК	747	0,322	0,237	56,5
2	ДЦК+МК (10 %)	732	0,313	4,06	36,8
3	ДЦК+МК (20 %)	799	0,353	5,76	30,0
4	ДЦК+МК (30 %)	815	0,362	7,44	29,3
5	ДЦК+МК (40 %)	840	0,377	5,10	25,2
6	ДЦК+МК (50 %)	876	0,399	4,54	24,1

Установлено, что увеличение содержания микрокремнезема в количестве 30% приводит к увеличению прочностных характеристик. Так при введении в состав композиции 10% микрокремнезема предел прочности при сжатии увеличился в 17 раз, по сравнению с контрольными образцами. При этом также наблюдается незначительное снижение средней плотности (с 747 до 732 кг/м<sup>3</sup>) и коэффициента теплопроводности (с 0,322 до 0,313 Вт/м·°С). Максимальное увеличение предела прочности при сжатии (в 31 раз) происходит при введении в состав композиции 30% микрокремнезема, но при этом также возрастают средняя плотность и коэффициент теплопроводности.

При дальнейшем увеличении содержания микрокремнезема до 50% наблюдается рост средней плотности с 815 кг/м<sup>3</sup> до 876 кг/м<sup>3</sup>, а предел прочности при сжатии снижается до 4,54 МПа.

Использование микрокремнезема в количестве от 10 до 50% позволяет снизить влажность в 2 раза по сравнению с контрольным составом.

Увеличение плотности и предела прочности при сжатии древесно-цементных композиций происходит за счет двух основных факторов: наличия диоксида кремния аморфной модификации в добавке микрокремнезема, вступающего в реакцию с гидроксидом кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция и уплотняющего действия микрочастиц, заполняющих пространство между частицами цемента в тесте и продуктами гидратации в цементном камне.

Подобное действие микрокремнезем оказывает на свойства древесно-цементной композиции в связи с тем, что высокая его активность определена наличием диоксида кремния аморфной модификации и наличием ультрадисперсных частиц сферической формы. Оба фактора играют определенную роль в механизме действия МК на процессы гидратации и структурообразования цементного камня. Первый фактор способствует в основном пуццолановому процессу, который заключается в связывании диоксидом кремния свободной извести, образовавшейся при гидролизе C<sub>3</sub>S.

Второй фактор способствует в основном уплотнению структуры цементного теста и камня ультрадисперсными частицами, заполняющими пространство между частицами цемента в тесте и продуктами гидратации в цементном камне.

Исследование влияния влажности древесно-цементных композиций на их прочность проводили на ДЦК с содержанием кремнезема 20% (оптимальное содержание). Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Прочность ДЦК с микрокремнеземом после высушивания и последующего увлажнения

№ п. п.	Влажность, %	Предел прочности при сжатии, МПа	
		после высушивания	после последующего увлажнения
1	0	4,11	3,70
2	5	5,14	4,73
3	10	6,37	5,96

4	15	7,44	6,62
5	20	6,82	6,20

Установлено, что зависимость предела прочности при сжатии от степени высушивания и увлажнения носит экстремальный характер. Образцы ДЦК высушенные до влажности 15% обладают максимальным пределом прочности при сжатии. При увеличении влажности до 20% происходит снижение предела прочности при сжатии, что вероятно вызвано деструктивными процессами, протекающими на границе раздела фаз «цементный камень – древесный наполнитель».

Результаты исследования показали, что в образцах древесно-цементных композиций, высушенных до абсолютно сухого состояния, а затем увлажненных до влажности 20%, первоначальная прочность не восстанавливается.

Установлено (таблица 3), что использование добавки положительно влияет на кинетику набора прочности древесно-цементных композиций. Использование микродисперсной добавки в количестве 10% позволяет получать материал с пределом прочности при сжатии в возрасте 7 суток составляющем 80% от предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток. В то время как у контрольного состава ДЦК в возрасте 7 суток предел прочности при сжатии составляет 59% от предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток.

Таблица 3 – Влияние добавки микрокремнезема на кинетику набора прочности древесно-цементных композиций

№ п.п.	Состав композиции	Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте		
		7 суток	14 суток	28 суток
1	ДЦК	0,14	0,19	0,237
2	ДЦК+МК (10 %)	3,22	3,95	4,06
3	ДЦК+МК (20 %)	6,70	7,06	7,44
4	ДЦК+МК (30 %)	4,50	5,21	5,76
5	ДЦК+МК (40 %)	3,88	4,87	5,10
6	ДЦК+МК (50 %)	3,41	3,96	4,54

Увеличение содержания добавки микрокремнезема до 20% приводит кресту предела прочности при сжатии в возрасте 7 суток и составляет 90% от прочности в возрасте 28 суток. При дальнейшем увеличении содержания микронаполнителя до 50% предел прочности при сжатии в возрасте 7 суток составляет 75% от прочности образцов в возрасте 28 суток. Таким образом, можно утверждать, что основные процессы гидратации цемента идут в возрасте до 7 суток.

Основным в механизме действия МК является реакция взаимодействия диоксида кремния и гидроксида кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов типа CSH (1). Взаимодействие частиц МК с продуктами гидратации цемента начинается на ранних стадиях и практически заканчивается в возрасте 28 суток. Силикатный гель, образующийся в начальный период гидратации, в дальнейшем переходит в различные морфологические типы CSH, что и является фактором повышения прочности строительных материалов с МК.

Химический фактор механизма действия МК приводит к образованию низкоосновного гидросиликата кальция. Этому может благоприятствовать повышенная температура твердения цементного камня, высокая дисперсность МК и содержание диоксида кремния в нем.

Химический фактор механизма действия микрокремнезема приводит к связыванию извести и образованию низкоосновного гидросиликата кальция. Этому может способствовать высокая дисперсность МК и содержание диоксида кремния в нем.

Физический фактор механизма действия МК проявляется в момент приготовления смеси, увеличивая ее вязкость, а затем на стадии уплотнения свежееуложенной смеси и формирования начальной структуры цементного камня.

При рассмотрении механизма воздействия микрокремнезема на древесно-цементные композиции можно выделить два взаимосвязанных фактора: физический и химический. Первый фактор включает в основном процесс взаимодействия диоксида кремния с известью, выделившейся при гидратации силикатов кальция, т.е. пуццолановый процесс. Второй фактор проявляется в уплотнении древесно-цементных композиций и структуры цементного камня продуктами гидратации цемента.

#### **Список литературы:**

1. Лукутцова Н.П., Горностаева Е.Ю. Получение древесно-цементных композиций с улучшенными физико-техническими показателями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 44-46.
2. Лукутцова Н.П., Горностаева Е.Ю., Карпиков Е.Г. Древесно-цементные композиции с минеральными микронаполнителями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 21-23.

## МИНЕРАЛОВАТНАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Дроздук Т.А., инженер, магистрант,  
Айзенштадт А.М., д-р хим. наук, проф.,  
Тутыгин А.С., канд. техн наук, доц.**  
*Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова*

подавляющая часть (85-90%) промышленных теплоизоляционных материалов монтируется из волокнистых минераловатных изделий. При этом более 55% изоляции работает на объектах с температурой до 200°C, около 25% – в температурном интервале 180-400 °С, 5% – в пределах 401-600°C, и только 0,1% теплоизоляционных материалов монтируется на объектах с температурой выше 600°C [1].

Основные недостатки таких изделий обусловлены применением синтетического органического связующего, как правило, фенолформальдегидных смол, которые имеют узкий температурный интервал эксплуатации (до 250°C[2]). В случае выгорания такого связующего, в окружающую среду выделяются токсичные компоненты (фенол, формальдегид, метилизоцианат и др.), а также минераловатное изделие теряет свою жесткую структуру.

Вышеизложенное дает основание полагать, что проблема создания экологически чистых промышленных минераловатных материалов с высокими эксплуатационными свойствами не потеряла своей актуальности.

В качестве связующего компонента для минераловатной теплоизоляции возможно использовать высокопластичную бентонитовую глину, что позволит устранить недостатки минераловатной теплоизоляции на основе фенолформальдегидных смол. Такой опыт использования глин имеется на «Заводе изоляции» (г. Ирпень, Украина) [3].

Типичным представителем бентонитовых глин является сапонит-содержащий материал (ССМ). ССМ представляет собой глинистый минерал, слоистый силикат из группы монтмориллонита, характеризующийся следующим минеральным составом частиц суспензии, составляющих твердую фазу, характеризуется наличием следующих компонентов: сапонита 63%, кварца 10%, доломита 10%, содержание остальных минералов (хлорит, гематит, кальцит, апатит и др.) не превышает 2-3% [4]. Химический состав ССМ (таблица 1),



определенный нами методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии, показал отсутствие опасных примесей.

Таблица 1 – Состав ССМ в пересчете на оксиды

Определяемый компонент	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Содержание, %	51,74	19,40	9,97	4,19	1,01	1,69	0,31	0,66	0,11

Целью данной работы является оценка возможности применения ССМ в качестве связующего для промышленной минераловатной теплоизоляции.

ССМ – экологически чистый многотоннажный отход обогащения kimberлитовых руд месторождения алмазов имени М.В. Ломоносова. Применение ССМ позволит не только устранить недостатки минераловатной теплоизоляции, связанные с использованием фенолформальдегидной смолы, но и позволит значительно сократить площади складирования данного отхода, что способствует эффективному решению экологических проблем освоения месторождения им. М.В. Ломоносова, таких как, нарушение ландшафта, загрязнении атмосферы, вод, почв, грунтов, угрозе флоре и фауне региона.

Для подтверждения вяжущих свойств ССМ были проведены эксперименты по определению удельной теплоты гидратации ССМ. Полученная величина удельной теплоты гидратации ССМ вполне сопоставима с удельной теплотой гидратации клинкерных вяжущих, отсюда можно сделать вывод, что ССМ обладает хорошими вяжущими свойствами, и его можно использовать в качестве связующего для минераловатной теплоизоляции.

Для подбора оптимального размера частиц ССМ был определен диаметр волокна минераловатной теплоизоляции, так как, по нашему мнению, оптимальный размер частиц связующего должен быть меньше, чем диаметр волокна теплоизоляции. Диаметр волокна был определен с помощью лазерного анализатора размера частиц Lasentec D600L.

По результатам анализа фотографий волокон (рисунок 1), полученных на лазерном анализаторе размера частиц Lasentec D600L, установлено, что диаметр волокна находится в пределах от 3 до 7 мкм. Таким образом, размер частиц ССМ должен быть меньше 3 мкм.

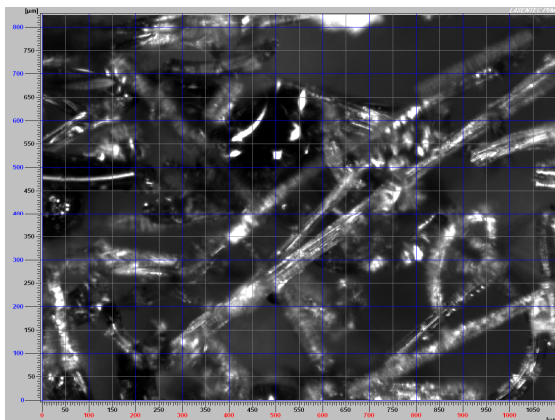


Рисунок 1 – Фотография волокон теплоизоляционного материала

Путем измельчения образца исходного сапонит-содержащего материала на планетарной шаровой мельнице РМ-100 (Retsch) (сухое диспергирование) с разной продолжительностью помола были получены фракции, отличающиеся степенью дисперсности вещества. Требуемая степень дисперсности сапонит-содержащего материала ( $1230,0 \pm 300$  нм) достигается при сухом диспергировании на планетарной шаровой мельнице (продолжительность помола 45 мин, 420 об/мин). Оптимальный режим измельчения был выбран исходя из того, что при помоле в течение 45 минут частицы сапонит-содержащего материала имеют более однородную степень дисперсности.

Для исследования качественных свойств связующего на основе ССМ в лабораторных условиях получен образец теплоизоляционного материала на минеральном связующем, который показан на рисунке 2.

Лабораторный образец теплоизоляционного материала был получен путем послойного напыления 10% водной суспензии сапонит-содержащего материала на минеральную вату. Далее образец был выдержан в сушильном шкафу при температуре  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  до полного удаления влаги. Температура выдержки в сушильном шкафу была выбрана с учетом технологического режима производства теплоизоляционных материалов в ООО «ПКФ «Солид» (г.Архангельск), т.к. камера полимеризации синтетического связующего поддерживает температуру не более  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Далее были определены основные характеристики качества образца, полученного в лабораторных условиях и минераловатной плиты марки П35 (рисунок 3) («ПКФ «Солид», г.

Архангельск) по стандартным методикам, описанным в ГОСТах [5-7], результаты испытаний представлены в таблице 2.



Рисунок 2 – Образец теплоизоляционного материала на минеральном связующем



Рисунок 3 – Минераловатная плита («ПКФ «Солид»)

Таблица 2 – Результаты испытаний теплоизоляционных образцов

Образец	Плотность	Теплопроводность	Группа горючести	Температура разрушения связующего
Образец на минеральном связующем	36,80кг/м <sup>3</sup>	0,0379Вт/(м·К)	НГ*	≤1000 <sup>0</sup> С
Минераловатная плита П35 («ПКФ «Солид»)	34,49кг/м <sup>3</sup>	0,0365Вт/(м·К)	НГ*	200-250 <sup>0</sup> С [2]

\* – негорючий

Полученные результаты показывают, что теплоизоляционный образец на минеральном связующем не уступает по своим качественным характеристикам минераловатной теплоизоляции на синтетическом связующем.

Применение ССМ в качестве связующего позволит получить промышленную теплоизоляцию без изменения технологического режима производства минераловатных теплоизоляционных изделий. Также такая теплоизоляция будет являться абсолютно экологически безвредной и не будет разрушаться от воздействия высоких температур.

#### Список литературы:

1. Руденко В.В., Панин А.С., Жолудов В.С., Ставрицкая Л.В. Тепловая изоляция в промышленности и строительстве. М., 1996.
1. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч. 2. Тепло- гидроизоляционные материалы и изделия: учеб. пособие

- для студ. Учреждений высш. Проф. Образования/ О.А. Игнатова. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 288с.
2. Рожанский А.И., Радчук Н.М., Городова Н.В. Получение и свойства теплоизоляционных изделий из базальтового штапельного волокна и минеральной связки [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.basaltfiber.ru/library/articles/poluchenie.htm](http://www.basaltfiber.ru/library/articles/poluchenie.htm).
  3. Тутьгин А.С., Айзенштадт М.А., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Влияние природы электролита на процесс коагуляции сапонит-содержащей суспензии // Геоэкология. 2012. № 5. С. 379-383.
  4. ГОСТ 4.201-79. Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы и изделия теплоизоляционные. Номенклатура показателей.
  5. ГОСТ 17177 – 94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний.
  6. ГОСТ 30256 – 94. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом.

## **БИОЦИДНЫЕ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ БРОМ СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ**

**Ерофеев В.Т., д-р техн. наук, проф., член-корр. РААСН,  
Петряков Д.Н., аспирант,  
Хуторской С.В., канд. техн. наук,  
Захарова Е.А., науч. сотр.,  
Вакаева С.С., канд. хим. наук**

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва*

Композиты на основе извести находят широкое применение в строительстве, на основе извести получают: известково-кремнеземистые вяжущие (сырьевые смеси, состоящие из извести и кварцевого песка – предназначенные для производства силикатных строительных бетонов и растворов; известково-пуццолановые вяжущие (получают совместным помолом негашеной воздушной или гидравлической извести и кислой активной минеральной добавки) – предназначенные для изготовления строительных растворов и бетонов невысоких по прочности; известково-шлаковые вяжущие (получают совместным помолом негашеной извести, доменного гранулированного шлака и гипса) – используемые для производства легких бетонов, строительных растворов и обычных бетонов невысоких марок по прочности [1].

В настоящее время актуальными являются исследования по биодegradации и биосопротивлению строительных материалов, которые в процессе эксплуатации подвергаются разрушающему действию биологически активных сред [2-4]. При воздействии на известковые бетоны продуктов метаболизма микроорганизмов происходит разрушение компонентов и образующихся в процессе твердения гидросиликатов кальция.

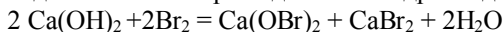
Нами проведены исследования биостойкости композитов на основе известковых вяжущих. В качестве вяжущегося при выполнении исследования использовалась негашеная строительная известь ООО «Атемарские строительные материалы», удовлетворяющая требованиям ГОСТ 9179-77. В ходе проведения экспериментальных исследований нами были использованы в качестве биоцидной добавки бром органические вещества низкой концентрации (пентабромтолуол, тетрабром-*n*-крезол, тетрабром-*o*-ксилол, пентабромбензолбромид), воздействие которых на известковые композиционные материалы позволило достаточно точно моделировать процессы биологической

коррозии. Испытания материалов на грибостойкость и фунгицидные свойства проводились в соответствии с ГОСТ 9.049-91 на образцах-призмах размером 1×1×3 см.

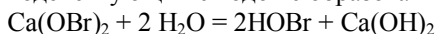
Исследования показывают, что композиты на основе извести без добавки подвержены биокоррозии, обрастаемость по методу 1 и 3 составляет 2 и 4 баллов соответственно. Известковые композиты с добавкой пентабромтолуол, тетрабром-*n*-крезол являются фунгицидными. Композиты же с добавкой тетрабром-*o*-ксиллол, пентабромбензолбромид снижают степень роста грибов по отношению к составу без добавок, обрастаемость 4 и 0 балла по методу 1 и 3, соответственно.

Можно предположить, что в результате протекания химической реакции:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$

Выделяется большое количество тепла (65,1 кДж) что может способствовать замещению гидроксид на ионы брома и накоплению их в реакционной зоне. Чем выше pH, тем больше образуется монобромидионов и меньше дибромидионов. В результате взаимодействия монобромидионов с гидроксидом кальция по реакции:



Активной частью здесь является гипобромид кальция  $\text{Ca}(\text{OBr})_2$ , взаимодействующий с водой с образованием бромноватистой кислоты:



В настоящее время предполагается, что гибель бактерий при бромировании происходит в результате прямого взаимодействия брома и его активных соединений с органическим веществом клетки. В результате происходящих окислительных процессов внутриклеточное вещество микроорганизмов изменяется, клетки распадаются, бактерии и микроорганизмы гибнут. Важное значение придается также взаимодействию бромноватистой кислоты с ферментами бактериальной клетки, которые существенно важны для обмена веществ в ее организме.

Образующиеся при этом вещества будут абсолютно безвредны для человека (в отличие от, например, хлороформа, который образуется при аналогичном окислении хлором).

Из рассмотренных добавок наибольшая эффективность достигается при введении в состав известкового композита пентабромтолуола и тетрабром-*n*-крезолаони которые не являются питательной средой (нейтральны или фунгистатичны) и обладают сильным фунгистатическим эффектом, что составляет 0 и 0 баллов по методам 1 и 3, соответственно.

Разработанные составы известковых композитов могут применяться в условиях воздействия биологических сред, при наличии питательных сред материалы не подвержены биовоздействиям.

**Список литературы:**

1. Куатбаев К.К. Силикатные бетоны из побочных продуктов промышленности. М.: Стройиздат, 1981. 246 с.
2. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. и др. Биологическое сопротивление материалов. Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2001. 196 с.
3. Микробиологическое разрушение материалов: учебное пособие для студентов вузов направления 270100 "Строительство": учебное пособие / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, Е. А. Морозов. М.: Ассоц. строит. вузов, 2008. 124 с.
4. Биоповреждения: учеб. Пособие для биол. спец. вузов / под редакцией В. Д. Ильичева. М.: Высшая школа, 1987. 325 с.

## КЕРАМОПЕНОБЕТОН ИЗ СУХОЙ СМЕСИ

**Ерусланова Э.В., аспирант,  
Красиникова Н.М., канд. техн. наук, доц.**  
*Казанский государственный архитектурно-строительный  
университет*

Самый простой метод изначального снижения теплопотерь зданий заключается в рациональной теплоизоляции их ограждающих конструкций, в первую очередь стеновых. Основные требования, предъявляемые к зданиям, кроме стоимости и сроков возведения – это использование эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ), отвечающих требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [1].

Существующая практика применения для теплозащиты зданий эффективных ТИМ ( $\lambda \leq 0,06$  Вт/м<sup>0</sup>К): пенополистирола, базальто- и стекловолоконистых плит, не отвечает требованиям по огнестойкости и долговечности.

Следует отметить, что ячеистые бетоны являются наиболее эффективным конструктивно – теплоизоляционным материалом для стеновых конструкций, так как по комфортности проживания и экологической безопасности жилые дома из ячеистых бетонов занимают второе место после домов из древесины, значительно превосходя их по долговечности.

Нами была разработана общая принципиальная схема одностадийного производства сухой смеси, заключающаяся в одновременном смешении с помолом всех компонентов, включая жидкий пенообразователь, в энергонапряженных мельницах [2]. В продолжение этой работы, авторы этой работы предложили, улучшить прочностные характеристики пенобетона путем введения в него крупнопористого заполнителя. При объединении пенобетона с керамзитовым гравием или пеностеклом, – пенобетон будет дисперсной средой или матрицы для керамзитового гравия или стекла. В результате получен материал, обеспечивающий высокие показатели по прочности, теплопроводности, при этом практически устранена усадка – один из основных недостатков пенобетона.

В работе использовались следующие материалы:

- вяжущие: сухие смеси для неавтоклавного пенобетона [3].
- заполнитель: керамзитовый гравий фр. 5-10мм (П100) (рис.1), керамзитовый гравий фр.10-20мм (П75), пеностеклокерамический



материал «Кремнегран» – фр.5-10мм с насыпной плотностью 120 кг/м<sup>3</sup>, песок с насыпной плотностью 270 кг/м<sup>3</sup> (рис.2).



Рисунок 1 – Керамзитовый гравий



Рисунок 2 – Кремнегран

Для приготовления керамопенобетона использовать лабораторный смеситель СБ-10 с частотой вращения 36 об/мин. Порядок загрузки материалов в смеситель: вода, затем приготовленная сухая пенобетонная смесь с заполнителем.

Для оценки эффективности модификаторов были изготовлены образцы 10\*10\*10 см, которые твердели в одинаковых условиях (при температуре  $t=(25\pm 10)$  °С и относительной влажности  $W=(50\pm 10)\%$ , без тепловой обработки и испытывались в установленные сроки (3, 7, 28 сутки).

Для оценки прочностной эффективности материала часто используют коэффициент конструктивного качества (ККК). Величину этого коэффициента определяли делением предела прочности при сжатии на относительную плотность материала. Результаты физико-механических свойств и ККК материалов представлены в табл.1.

Из табл.1 видно, что разработанные материалы имеют высокий коэффициент конструктивного качества наиболее эффективными являются материалы – кремнегранопенобетон из сухой, который практически не уступает керамзитобетону. Следует также отметить, что пенобетон из сухой смеси позволяет получить прочность в два и более раза превышающую нормативные требования.

Высокие значения ККК керамопенобетона обеспечиваются прежде всего его ячеистой структурой, которая представлена на фотографиях (рис. 3,5). Видно, что керамзитовый гравий и кремнегран равномерно распределены по всей высоте образца, а поровая структура пенобетона имеет замкнутый характер. Из рис. 4,6 видно, что пенобетонная перегородка кремнегранопенобетона более плотная, чем у керамзитопенобетона, что и определяет улучшенные прочностные характеристики первого.

Таблица 1 – Физико-механические свойства пенобетона

Наименование пенобетона	Свойства пенобетона				
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Морозостойкость, циклы	Усадка, мм/м	ККК*10 <sup>2</sup>
Из сухой смеси (ССПБ)	440	1,76	35	менее 1	0,4
Кремнегранопенобетон из сухой смеси	350-400	3,5-4,1	не менее 50	0,5	1,0
Керамзитопенобетон из сухой смеси	650	3,0-3,8	не менее 50	0,5	0,46
Керамзитобетон	900	10,0	не менее 50	-	1,11
Неавтоклавный пенобетон по ГОСТ 25485	400	0.7 – 1.1	не нормируется	не нормируется	0,175
Газобетон автоклавный	400	2,0	25	0,5	0,5

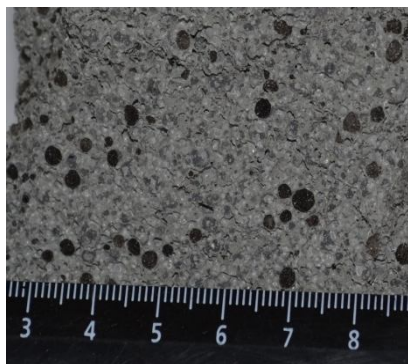


Рисунок 3 – Кремнегранопенобетон из сухой

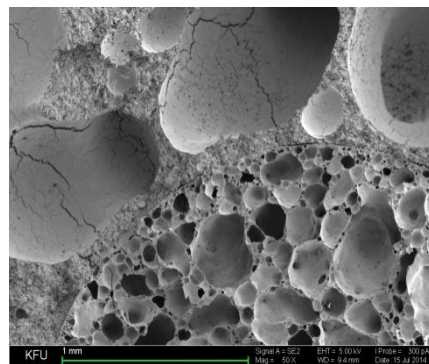


Рисунок 4 – Кремнегранопенобетон из сухой, увеличение 50X



Рисунок 5 – Керамзитопенобетон из сухой смеси

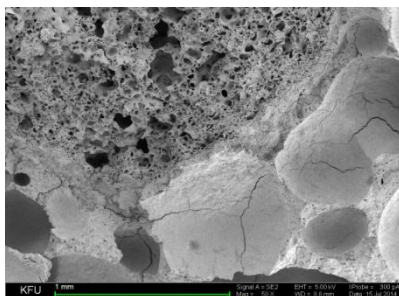


Рисунок 6 –Керамзитопенобетон из сухой смеси, увеличение

### Список литературы.

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»
2. Красникова Н.М. Сухие смеси для неавтоклавного пенобетона // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. Казань, 2010. с.21.
3. Красникова Н.М., Хозин В.Г. Новый способ приготовления пенобетона // Известия Каз ГАСУ. 2009. № 1. С. 273-276.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА

**Жегера К.В., аспирант,  
Логанина В.И., д-р техн. наук, проф.**  
*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Для целенаправленного регулирования свойств плиточных клеев на основе сухих строительных смесей (ССС) в рецептуру вводят модифицирующие добавки, преимущественно, зарубежного производства, такие как метилцеллюлоза, Verticool и другие, что значительно увеличивает себестоимость отечественных ССС.

В работах [1,2] предложено использовать синтезированные алюмосиликаты в качестве модифицирующей добавки, регулирующей структурообразование и свойства ССС.

Исследования показали, что добавка на основе синтезированных алюмосиликатов характеризуется высокой активностью, составляющей более 350 мг/г. Удельная поверхность получаемого порошка, определенная методом БЭТ, составляет  $S_{уд} = 86,5 \pm 3,5 \text{ м}^2/\text{г}$  [3].

Для проведения исследований в работе применялся Вольский портландцемент марки 400 и синтезируемая добавка в количестве 20% от массы вяжущего [4].

Установлено, что цементное вяжущее, содержащее синтезированную добавку, имеет высокое значение нормальной плотности цементного теста в зависимости от значения дисперсности добавки, составляющее 34,5-47%.

Был изучен характер изменения реологических и технологических свойств цементного теста с применением добавки на основе синтезированных алюмосиликатов с разной дисперсностью.

Смеси изготавливались с водоцементным соотношением В/Ц, равным В/Ц= 0,43. Пластическая прочность определялась с помощью пластометра КП-3. Результаты исследований приведены на рис.1.

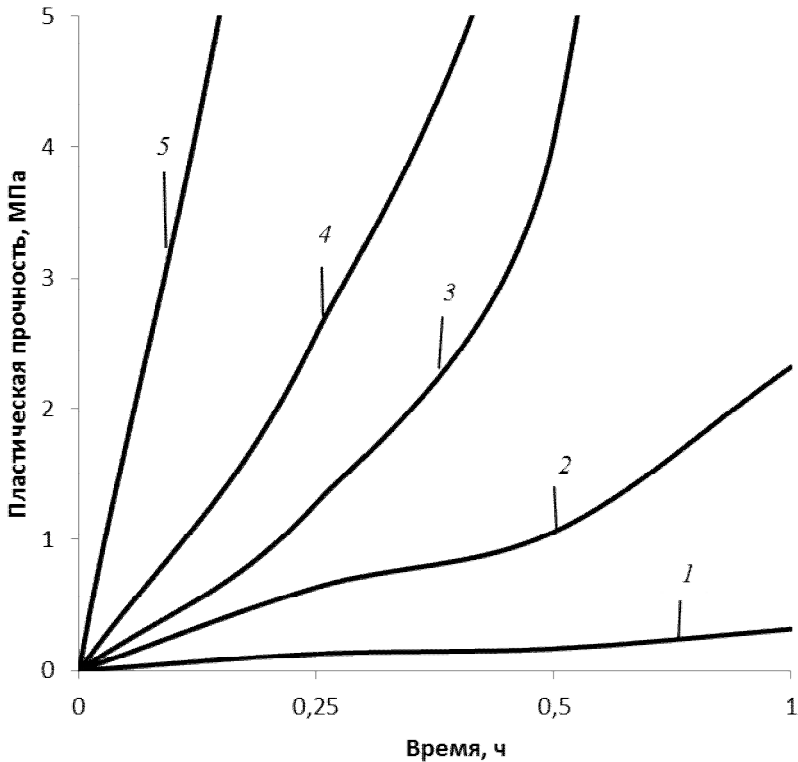


Рисунок 1 – Изменение пластической прочности цементного теста:  
 1 – контрольный (без содержания синтезируемой добавки);  
 2 – цементное тесто (удельная поверхность добавки  $S_{уд} = 1,03 \text{ м}^2/\text{г}$ );  
 3 – цементное тесто (удельная поверхность добавки  $S_{уд} = 0,69 \text{ м}^2/\text{г}$ );  
 4 – цементное тесто (удельная поверхность добавки  $S_{уд} = 0,31 \text{ м}^2/\text{г}$ );  
 5 – цементное тесто (удельная поверхность добавки  $S_{уд} = 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$ )

Анализ пластограмм свидетельствует, что введение в рецептуру цементного теста добавки на основе синтезированного алюмосиликата приводит к более раннему структурообразованию цементного камня.

Так, значение пластической прочности цементного теста (контрольный состав) в возрасте 0,5 часа с момента затворения составляет  $\tau = 0,17 \text{ МПа}$  (рис.1., кривая 1), а при введении в рецептуру синтезируемой добавки с удельной поверхностью  $S_{уд} = 1,03 \text{ м}^2/\text{г}$ ;  $S_{уд} =$

0,69 м<sup>2</sup>/г; S<sub>уд</sub> = 0,31 м<sup>2</sup>/г и S<sub>уд</sub> = 0,1 м<sup>2</sup>/г в возрасте 0,5 часа с момента затворения – соответственно τ = 0,89 МПа (рис.1., кривая 2), τ = 2,02 МПа (рис.1., кривая 3), τ = 3,59 МПа (рис.1., кривая 4) и τ = 8,2 МПа (рис.1., кривая 4).

На рис. 2 приведены экспериментальные данные оценки кинетики твердения цементных образцов в воздушно-сухих условиях при температуре 20±2<sup>0</sup>С.

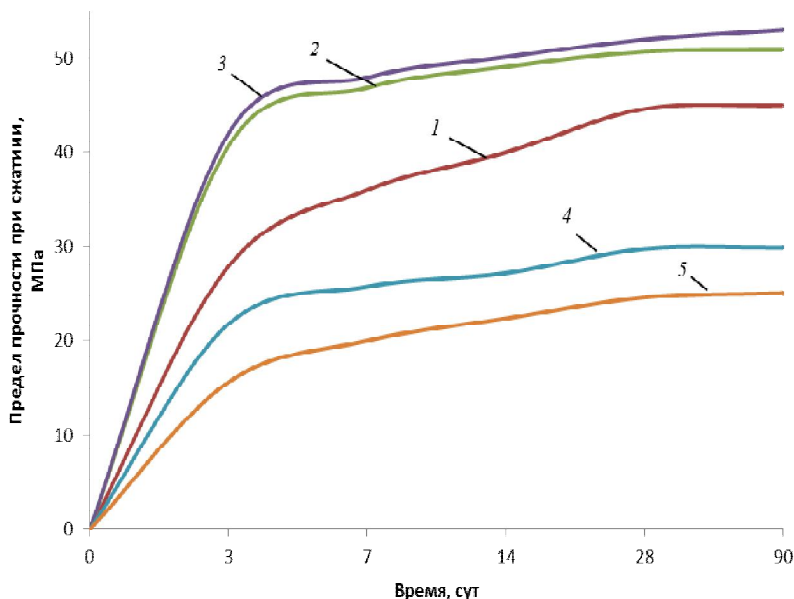


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности образцов: 1 – контрольный (без содержания синтезируемой добавки); 2 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки S<sub>уд</sub> = 1,03 м<sup>2</sup>/г); 3 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки S<sub>уд</sub> = 0,69 м<sup>2</sup>/г); 4 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки S<sub>уд</sub> = 0,31 м<sup>2</sup>/г); 5 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки S<sub>уд</sub> = 0,1 м<sup>2</sup>/г)

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рис. 2, свидетельствует, что введение в состав цементного теста добавки на основе синтезированных алюмосиликатов с удельной поверхностью S<sub>уд</sub> = 1,03 м<sup>2</sup>/г и S<sub>уд</sub> = 0,69 м<sup>2</sup>/г приводит к увеличению прочности при

сжатии цементных образцов в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения на 13-20% по сравнению с контрольным образцом (без добавки). Так же установлено, что применение в рецептуре композиционного вяжущего синтезируемой добавки с удельной поверхностью  $S_{уд} = 0,31 \text{ м}^2/\text{г}$  и  $S_{уд} = 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$  приводит к снижению прочности при сжатии образцов на 35-41% по сравнению с контрольным образцом (без добавки). Очевидно, что прочность композиционного вяжущего зависит от дисперсности применяемой добавки.

Проведенные исследования показали эффективность применения в плиточных ССС цементного композиционного вяжущего, содержащего синтезированные алюмосиликаты. Применяя в рецептуре плиточных сухих строительных смесей синтезированную добавку, регулируемую структурообразование и свойства плиточного клея такие как эластичность, подвижность, жизнеспособность, водостойкость, высокая прочность и адгезия.

#### **Список литературы:**

1. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Макарова Л.В., Садовникова М.А. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 4. С. 37-42.
2. Логанина В.И., Макарова Л.В., Сергеева К.А. Свойства известковых композитов с силикатсодержащими наполнителями // Строительные материалы. 2012. № 3. С. 30-31.
3. Логанина В.И., Жерновский В.И., Садовникова М.А., Жегера К.В. Добавка на основе алюмосиликатов для цементных систем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. Т. 5. № 6. С. 8-11.
4. Жегера К.В. Свойства цементных сухих строительных смесей при введении в их рецептуру синтезированных алюмосиликатов // Молодой ученый. 2014. № 3 (62). С. 278-280.

# ВАРИАТИВНОСТЬ ФАЗОВОЙ И РАЗМЕРНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТИ СЫРЬЯ КАК ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТОВ

Жерновский И.В., канд. геол.-минер. наук, доц.,  
Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова

Строительные материалы, как впрочем, и все остальные, представляют собой продукт технологических переделов минерального (природного и техногенного) сырья, наделенные функциональными (материал представляет собой сырье для последующих технологических переделов, например, вяжущие) или потребительскими (конечный продукт) качествами. При этом свойства природного минерального сырья, доминирующего при производстве строительных материалов находятся в причинно-следственных отношениях с геолого-генетической историей горных пород, послужившими его источником.

Ранее было показано, что учет генетических и типоморфных особенностей минерального сырья для производства различных видов минеральных вяжущих и композитов на их основе позволяет существенно снизить энергоемкость производства и улучшить эксплуатационные свойства [1-2].

С начала прошлого столетия сменилось несколько парадигм в вопросах использования минерального сырья для производства материалов (рис.1). Современные парадигмы ориентируют потребляющие отрасли промышленности на максимальное снижение техногенного прессинга на экосферу планеты и реализацию замкнутого цикла производства материалов. Это инициирует строительную индустрию на активную реализацию утилизационных задач, в частности, в отношении техногенных отходов горнодобывающей и энергетической отраслей. В

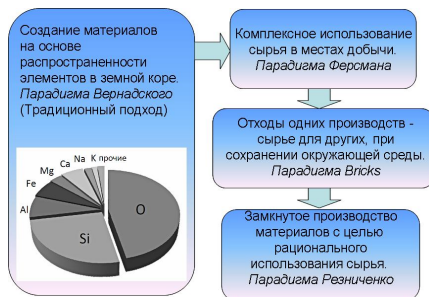


Рисунок 1 – Историческая эволюция парадигм использования минерального сырья при производстве материалов по [3]



связи с этим, актуальной задачей индустрии строительных материалов является переход от мономинерального сырья, истощение запасов которого не вызывает сомнений, к полиминеральному, характеризующегося сложным полиминеральным составом и вариативностью свойств. Решение этой задачи может быть основано на разработке основ концептуального подхода для направленного формирования минеральных наноразмерных парагенезисов композиционных материалов на основе вариативности параметров фазовой и размерной наногетерогенности нанодисперсных и наноструктурированных природных и техногенных систем, используемых в качестве сырьевых компонентов.

Представляется, что одним из важнейших факторов, определяющих особенности формирования минеральных новообразований, ортогенезисов, про определению, предложенному Н.В. Петровской (цит. по [4]) формирующих структурно-обусловленные прочностные свойства композиционных вяжущих, является фазово-размерная гетерогенность (ФРГ) сырьевых минеральных компонентов.

В связи с введением в понятийный аппарат строительного материаловедения новой терминологии целесообразно дать некоторые определения, связанные с фазово-размерной гетерогенностью минерального сырья. Стоит отметить, что вводимые понятия являются отражением такого фундаментального и генетически обусловленного свойства горных пород, как структура. Размерная гетерогенность в реальных минеральных системах различной генетической принадлежности варьируется от нано- до микромасштабного уровня структурной организации вещества – от первых нанометров у скрытокристаллических до первых микрон у высококристаллических минеральных образований.

Следует отметить, что под фазовой гетерогенностью необходимо понимать не только присутствие в полиминеральном сырье компонентов, принадлежащих к различным минеральным видам, но и наличие в мономинеральном различных полиморфных модификаций одного минерального вида. Под размерной гетерогенностью понимается различная степень кристалличности минеральных компонентов, которая количественно может быть охарактеризована в виде такого фундаментального параметра кристаллического состояния как размер кристаллитов.

Размерный диапазон этого показателя в реальных минеральных системах различной генетической принадлежности варьируется от нано- до микромасштабного уровня структурной организации вещества – от

первых нанометров у скрытокристаллических, до первых микрон у высококристаллических минеральных образований.

Представляется непротиворечивым утверждение, что *отличия параметров ФРГ у однотипного по минеральному и химическому составу сырья различного генезиса определяют его различное энергетическое состояние и, как следствие, реакционную способность.*

Вопросы изучения особенностей ФРГ и проявление фазово-размерного эффекта в природных минеральных системах всегда находились в сфере интересов исследователей геологического профиля [5-6]. Целесообразность введения в понятийно-предметную систему строительного материаловедения теоретических представлений о ФРГ минерального сырья обусловлена возможностью реализации на ее основе основополагающей триады материаловедения: «состав – размер – свойство». Идеологической основой для этого может служить положение, что *функциональные наносистемы в композиционных материалах приводят к расширению области оптимальности структуры* [7].

На этом основании можно сформулировать *концепцию вариативности фазово-размерной гетерогенности минерального сырья как фактора управления синтезом материалов и процессами структурообразования композитов.*

Для обоснования концепции вариативности ФРГ необходимо решение ряда задач фундаментальной направленности. К важнейшей из них следует отнести разработку *минералого-генетических критериев выбора минерального сырья с оптимальными параметрами ФРГ для синтеза вяжущих различного типа твердения.*

Ко второй задаче этого уровня значимости относится разработка *принципов управления ФРГ сырьевых материалов механоактивационным воздействием.*

Природа ФРГ минерального сырья является генетически и кристаллоструктурно обусловленной. Это можно проиллюстрировать на упрощенной феноменологической модели изменения параметров ФРГ минералов кремнезема в процессах литогенеза (рис. 2).

Фазовая гетерогенность отражает увеличение количества фаз в минеральном парагенезисе кремнезема. Величина размерного фактора на приведенной модели адекватна усредненному размеру кристаллитов наиболее высокоразмерной фазы. В частности, он наименьший для аморфной формы кремнезема – А-опала (первые нанометры), возрастает до 15–20 нм для структурированного кристобалит-тридимитового СТ-

опала (трепелоподобные породы) и может достигать первых сотен нанометров для высококристаллических разновидностей кварца.

Исходя из различной, при прочих одинаковых условиях (например, удельной поверхности), реакционной активности в ряду А-опал > СТ-опал > кварц, появляется возможность рационального выбора сырья для его полифункционального применения в качестве компонента композиционных вяжущих.

При этом А- и СТ-опалы будут выполнять функцию реакционного (наногетерогенного), а микрогетерогенный кварц – функцию структурообразующего компонента.

Таким образом, можно непротиворечиво утверждать, что ФРГ минерального сырья является интегральным показателем его структурного состояния и находится в причинно-следственных отношениях с особенностями процессов петро- и техногенезиса.

Введение в понятийный арсенал строительного материаловедения представлений о ФРГ не является «лишней сущностью» - вспомним принцип «Бритвы Оккама», а логически следует из факторов объективной реальности. Кроме этого, параметры ФРГ можно инструментально измерить (в отличие от качественного, зачастую, «словесно-образного» описания структуры пород, материалов и др.).

Подход к выбору минерального сырья с позиций его фазово-размерной гетерогенности тесно связан с получившим широкое развитие в настоящее время наносистемным подходом к синтезу строительных материалов и процессам структурообразования композитов. Наносистемы, по отношению к вяжущему, могут быть представлены прото- и сингенетическими системами. Оба этих типа непосредственно влияют на образование эпигенетических наносистем, которые ответственны за формирование прочностных свойств вяжущих (рис. 3).



Рисунок 2 – Феноменологическая модель изменения параметров ФРГ минералов кремнезема в процессах литогенетического цикла

Комплексный анализ влияния вариативности фазовой и размерной гетерогенности сырья на процессы структурообразования эписистем способен дать эффективный инструмент направленного воздействия на процессы структурообразования минеральных вяжущих различного типа твердения.

Примечательной особенностью предлагаемого подхода является скромность его инструментально-аналитического оформления. По минимальному счету, для количественного определения параметров ФРГ (это весовая концентрация каждой фазы и усредненный размер её кристаллитов) необходим только рентгенодифракционный метод в варианте полнопрофильного рентгеновского фазово-икроструктурного анализа (РФМА) (рис. 4).

Направленное увеличение ФРГ минерального сырья возможно благодаря механоактивации. Так, доказана зависимость изменения ФРГ кварца при механоактивации от генетической принадлежности.

Рис. 5 иллюстрирует проверку предположения о влиянии ФРГ минерального сырья и его низкоразмерной компоненты как протогенетических микро- и наносистем на структурообразование вяжущих гидратационного типа твердения.

Анализ влияния низкоразмерных минеральных протосистем и ФРГ механоактивированного кварцевого сырья на структурообразование цементного вяжущего показал прямую зависимость активности ТМЦ от

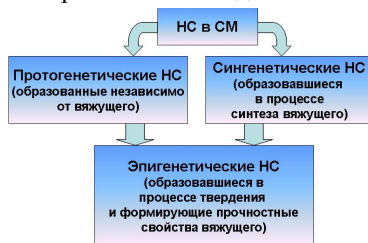


Рисунок 3 – Генетические типы наносистем (НС) в строительных материалах (СМ)

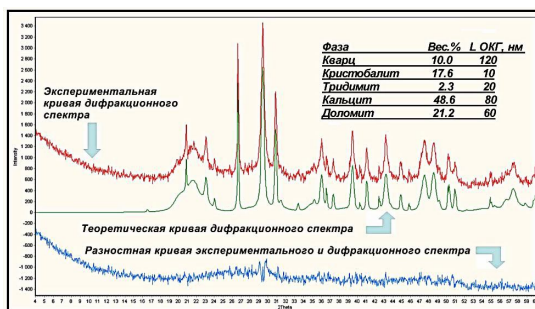


Рисунок 4 – Фазово-размерная гетерогенность минерального сырья с наноструктурированной компонентой.

(Полнопрофильный РФМА фазово-размерно-гетерогенного сырья – трепела)

параметров ФРГ, в частности, от концентрации наноразмерной модификации  $\beta$ -кварца. Кроме этого, обнаружено снижение концентрации свободного портландита в ряду: цемент (контрольный образец)  $\rightarrow$  ТМЦ-50 (на магматогенном песке)  $\rightarrow$  ТМЦ -50 (на метаморфогенном кварцитопесчанике). Это может являться следствием связывания свободного портландита в С-S-H (гидросиликаты кальция) протогенетическими нано- и микроразмерными компонентами кремнеземного материала.

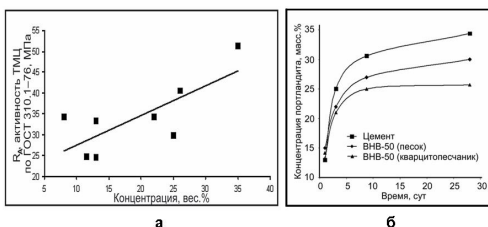
Интересную разновидность ФРГ удалось обнаружить у алюмосиликатного техногенного сырья – низкокальциевых зол-уноса ТЭС, являющихся сырьем для получения такого класса вяжущих атермального синтеза, как геополимеры.

Особенностью фазового состава зол-уноса является существенное содержание алюмосиликатной стеклофазы, которая является основным источником алюмосиликатного

материала в процессе геополимеризационного твердения (табл. 1). Для характеристики ФРГ стеклофазы был введен в рассмотрение параметр  $SiO_2$ -связности, который рассчитывался на основании пересчитанного химического состава стеклофазы по формуле:

$$f_{SiO_2} = \frac{v_{SiO_2}}{v_{Me_2O} + v_{MeO} + 3v_{Me_2O_3} + 2v_{MeO_2} + 5v_{Me_2O_5}} [8-9].$$

Степень  $SiO_2$ -связности структурообразующих элементов в стеклофазе следует понимать как показатель полимеризации в



Экспериментально доказано, что концентрация  $\beta$ -кварца в механоактивированном кварцевом сырье положительно коррелирует с концентрацией аморфного кремнезема, который приводит к связыванию свободного портландита в С-S-H.

Рисунок 5 – Зависимость активности композиционного вяжущего ТМЦ-50 от концентрации  $\beta$ -кварца в кремнеземном компоненте (а) и изменение концентрации свободного портландита в вяжущих различного состава (б)  
Таблица 1 – Количественный минеральный состав (по данным РФА)

Производители ЗУ	Содержание минеральных составляющих, %					
	Кварц	Мулит	Анортит	Магнетит	Гематит	Стекло фаза
Новотроицкая ТЭС (РФ)	23,5	10,7	4,3	1	–	60,5
Lafarge (США)	13,5	6,4	–	7,2	4,5	68,4
Троицкая ГРЭС (РФ)	18,7	9,3	–	1,9	–	70,1
Letabo (ЮАР)	23,8	4,7	–	–	–	71,5
Matla (ЮАР)	22,2	4,9	–	–	–	72,9

различные наноразмерные кластеры структурообразующих элементов – кремнекислородных тетраэдрических радикалов. Проверка зависимости предела прочности при сжатии геополимерных вяжущих (ГПВ) на различных золах-уноса от параметра ФГ (концентрация стеклофазы) и параметра ФРГ (степень SiO<sub>2</sub> – полимеризации) представлена на рис. 6.

Таким образом, вариативность фазово-размерной гетерогенности минерального сырья является количественным параметром оценки эффективности минерального сырья и эффективным фактором управления синтезом минеральных вяжущих и процессами структурообразования композитов.

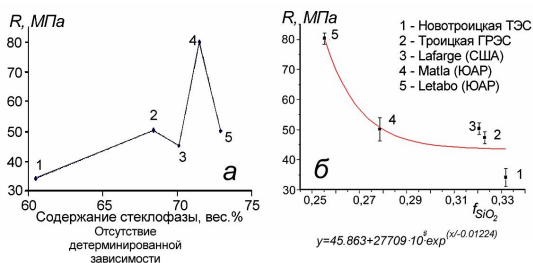


Рисунок 6 – Предел прочности при сжатии ГПВ на различных золах-уноса как функция фазовой (а) и фазово-размерной гетерогенности (б).

Рисунок 6 – Предел прочности при сжатии ГПВ на различных золах-уноса как функция фазовой (а) и фазово-размерной гетерогенности (б).

#### Список литературы:

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд. АСВ, 2006. 526 с.
2. Строкова В.В., Шамшуrow А.В. Влияние типоморфизма минерального сырья на синтез строительных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. 211 с.
3. Верхотуров А.Д., Воронов Б.А. Технологические и методологические аспекты минералогической материологии // Дальний Восток-2: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). М.: Издательство «Горная книга». 2009. № 5. С.19–31.
4. Жариков В.А. Парагенезис минералов, фации и формации // Записки ВМО. 1968. Вып. 4. С. 510–514.
5. Таусон Л.В., Абрамович М.Г. Физико-химические превращения реальных кристаллов в минеральных системах. Новосибирск: Наука, 1988, 271 с.
6. Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества /под ред. Н.П. Юшкина, А.М. Асхабова и В.И. Ракина. С-Пб.: Наука. 2005. 214 с.

7. Строкова В.В., Жерновский И.В. Некоторые актуальные вопросы междисциплинарного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» // Вестник Центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук: сб. науч. ст./ РААСН, ВГАСУ. Воронеж, 2011. С.99–105.
8. Аппен А.А. Химия стекла. Ленинград, СССР: Химия, 1974.
9. Глуховский В.Д., Кривенко П.В., Старчук В.Н., Пашков И.А., Чиркова В.В. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях: Монография / Под ред. Проф. В.Д. Глуховского. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. 224 с.

## **ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКОНА СРОДСТВА СТРУКТУР ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ КОМПОЗИТОВ**

**Загороднюк Л.Х., канд. техн. наук, проф.,  
Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.,  
Попов Д.Ю.,  
Глаголев Е.С.**

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

При строительстве любого здания или сооружения необходимо создавать прочные сочленения элементов конструкций, которые могут быть представлены, либо кладкой из различных материалов: природных камней или плит, керамического и силикатного кирпича, различных блоков из тяжелого, керамзитобетона или поробетона и использованием специальных строительных растворов, применяемых в соответствии с их функциональным назначением. Проведение монтажа крупнопанельных, крупноблочных и монолитных зданий и сооружений, выполнение наружной отделки зданий, создание защитных материалов и покрытий также требует создания прочного и надежного промежуточного слоя раствора, скрепляющего различные материалы, обеспечивающего защитное покрытие и долговечность конструкции в целом. Особые проблемы возникают при создании растворов на сочленениях нескольких различных материалов, особенно если конструкция работает в экстремальных условиях.

Для создания прочного и надежного контакта между элементами конструкции необходимо создать внутреннюю устойчивую связь, призванную обеспечить определенные физико-механические и эксплуатационные требования конструкции в целом. Такая контактная зона должна иметь сходство, близость, а точнее сродство по основным свойствам и общности генетического происхождения с матрицей материала [1-4].

В связи с постановкой новых задач перед материаловедцами в современных условиях и в связи с созданием новых эффективных материалов разработка структуры строительных материалов требует новых взглядов, подходов, особенно при создании тонких слоев растворов, широко востребованных в настоящее время.

Прежде всего, для создания надежного и прочного контактного слоя между основным и вспомогательным материалами, к примеру,



между каким либо стеновым материалом и штукатурным раствором, необходимо учитывать химическое сродство применяемых материалов, их сочетаемость, их предпосылки к созданию надежного контакта, отсутствие антагонистических причин между ними. Выполнение всех этих условий обеспечит гарантированную длительную службу этого контактного слоя, надежность и сохранность конструкции в целом. Следует учитывать, что мы достаточно часто имеем сложные структуры, которые могут состоять из множества химических элементов, но тем не менее, необходимо учитывать их совместимость, несовместимость, а, возможно, и синергетизм.

Существенное влияние на создание контактного слоя оказывают генетические особенности основного и вспомогательного материала, а также и сырьевых компонентов контактного слоя, в связи с этим следует учитывать и подбирать сырье с учетом их генезиса, вследствие чего и реакционную способность составляющих элементов в системе можно будет регулировать с учетом поставленных задач [5-8].

При создании контактного слоя большое значение имеет структура основного (базового) и отделочного материалов, которые в свою очередь, имеют свои особенности макро-, микро- и наноструктур. Задачей создания контактного слоя является формирование такой структуры, чтобы она прорастала в эти структуры и создала единый монолитный слой и сформировавшаяся структура обеспечила устойчивые взаимные связи с определенным порядком сцепления их между собой. В понятие структуры входят размер и расположение пор, капилляров, поверхностей раздела фаз, микротрещин. Как раз эти элементы структуры и играют наиважнейшую роль в создании прочной устойчивой структуры контактного слоя.

Особого внимания заслуживает сродство по фазовым составам основного, вспомогательного материала и контактной зоны и фазовым переходам воды, находящейся в их порах, которое оказывает наиболее существенное влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации.

Сродство основного (базового) и отделочного слоев и их контактной зоны должно удовлетворять ряду физических свойств, включающих показатели средней плотности, пористости, гидрофизических и теплофизических свойств. Создание рациональной контактной зоны при учете названных свойств обеспечат высокие и надежные эксплуатационные свойства композита.

Создание надежной контактной зоны между основным и отделочным материалами обеспечивает высокое сродство по

механическим свойствам. При выполнении этих условий может быть достигнута требуемая цель, однако, следует учитывать, что при создании контактных зон следует учитывать рекомендации по ведению строительных работ.

Важным фактором при формировании контактных слоев является состояние основания, следует учитывать структуру поверхностного слоя основного материала для создания первичных структур будущего контакта, так как, в зависимости от состояния поверхности формируется структура поверхностного слоя, создаваемая атомами и молекулами, расположенными по наружной поверхности основного материала и имея избыточную энергию по сравнению с внутренними слоями материала основания поверхностный слой более активно реагирует с окружающей средой и активнее вступают в химические реакции.

К примеру, для создания надежных контактных слоев между основаниями двух принципиально различных материалов, представленных керамическим и силикатным кирпичами и нанесенными на них отделочными растворными слоями на основе цементного вяжущего необходимо знать генезис и химический состав материалов этих оснований. Так, для керамического кирпича главным структурообразующим веществом, создающим при обжиге микро- и макроструктуру, является глина, характеризующаяся содержанием основных оксидов:  $\text{SiO}_2$  – 40...70%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15...35%,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1...15%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0...7%. В результате обжига и отвердевания расплава образуется микроагломерат, в котором кристаллические зерна муллита, кремнезема разных модификаций и других видов веществ, кристаллизуется при охлаждении и цементируется аморфной массой отвердевшего расплава, последний окаймляет отдельные зерна заполнителя и размещается в межзерновых пустотах.

В отличие от керамического кирпича, силикатный кирпич – это искусственный бесцементный материал, получаемый прессованием увлажненной смеси кварцевого песка и извести, с последующим гидротермальным синтезом (в среде насыщенного водяного пара давлением 0,8...1,3 МПа и температурой 175...200°C), и получением в результате его различных гидросиликатов кальция в зависимости от состава исходной смеси: тоберморита  $5\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , слабозакристаллизованных гидросиликатов кальция:  $(0,8 - 1,5)\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $(1,5 - 2,0)\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ . В высокоизвестковых смесях синтезируется гиллебрандит  $2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Таким образом, в рассматриваемых системах основные материалы для нанесения растворного отделочного слоя представлены

бесцементными конгломератами, полученными в результате обжига и гидротермальной обработки и, естественно, имеют различные минеральный и химический составы, а также специфические, присущие им генезисы, предопределяющие создание различных условий для формирования структуры контактного слоя. Вследствие различного происхождения формирование макро-, микро- и наноструктур в керамическом и силикатном кирпичах происходит на разных стадиях обработки в зависимости от их технологических особенностей и имеет свои специфические особенности.

Микрофотографии контактных слоев на керамическом и силикатных кирпичах (рис.1 и 2) отчетливо показывают картину, как формируется структура контактных слоев к возрасту 3 суток и характер зарастания пор, микротрещин, поверхностей раздела продуктами гидратации в единое целое.

Структуры исходных основных материалов для формирования контактных слоев отличны, так структура керамического кирпича (рис.1) неравномерно пористая, представлена стекломассой и кристаллическими фазами муллита, которые цементируют остальную массу частиц изделия и обеспечивают высокие показатели прочности и стабильности свойств, химической стойкости и долговечности керамического кирпича, что обусловлено его высокоокисленным составом. Структура же силикатного кирпича вследствие генетических особенностей имеет микрокристаллическое строение (рис. 2). Кристаллизация происходит вокруг зерен кварца и в межзерновом пространстве, сопровождается срастанием кристаллических новообразований в каркас с дальнейшим его упрочнением и обрастанием. В целом в составе силикатного камня преобладают низкоосновные гидросиликаты кальция, имеющие тонкоигльчатое или чешуйчатое микрокристаллическое строение.

Микроструктура теплоизоляционного раствора на основании силикатного кирпича уже в возрасте 3 суток имеет очень плотную контактную зону, состоящую из цементно-перлитовых зерен и очень мелких пор между ними, крупные поры между основанием подложки силикатного кирпича и теплоизоляционного раствора отсутствуют. При увеличении  $\times 10000$  и  $\times 20000$  (рис. 1) отчетливо видна контактная зона в столь раннем возрасте, на поверхности которой просматривается прорастание игльчатых кристаллов гидросиликатов кальция длиной 4...5 нм и диаметром 0,1 нм, что объясняется высоким сродством минералов силикатного кирпича и теплоизоляционного раствора. Для обеспечения надежной контактной зоны рассматриваемых сочленений

по физическим и механическим свойствам необходимо детально по каждому фактору проанализировать и принять оптимальные решения с учетом условий и особенностей их функционирования. Особое внимание следует уделить особенностям сродства по фазовым составам контактов и фазовым переходам воды в этих зонах, так как, именно, этот фактор во многом определяет условия эксплуатации всего конструктивного решения.

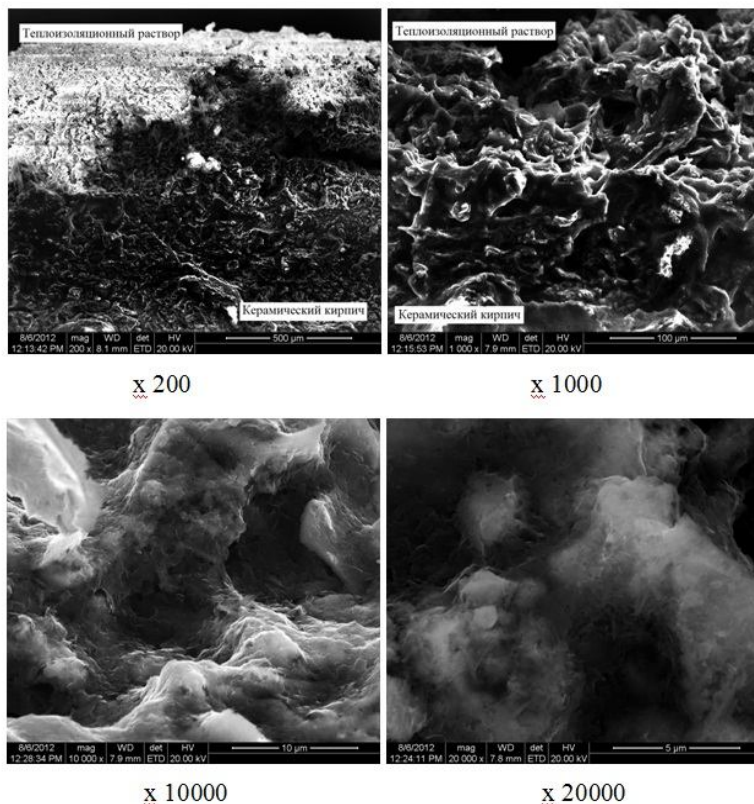


Рисунок 1 – Микрофотографии контактного слоя теплоизоляционный раствор – керамический кирпич в возрасте 3 сут.

Объединив все эти элементы, можно говорить о законе сродства структур для достижения конкретной задачи. Рассматривая практическую реализацию предлагаемого нами закона сродства структур в строительном материаловедении [9-11], можно привести ряд

примеров по созданию целевых структур для строительных композитов различного назначения.

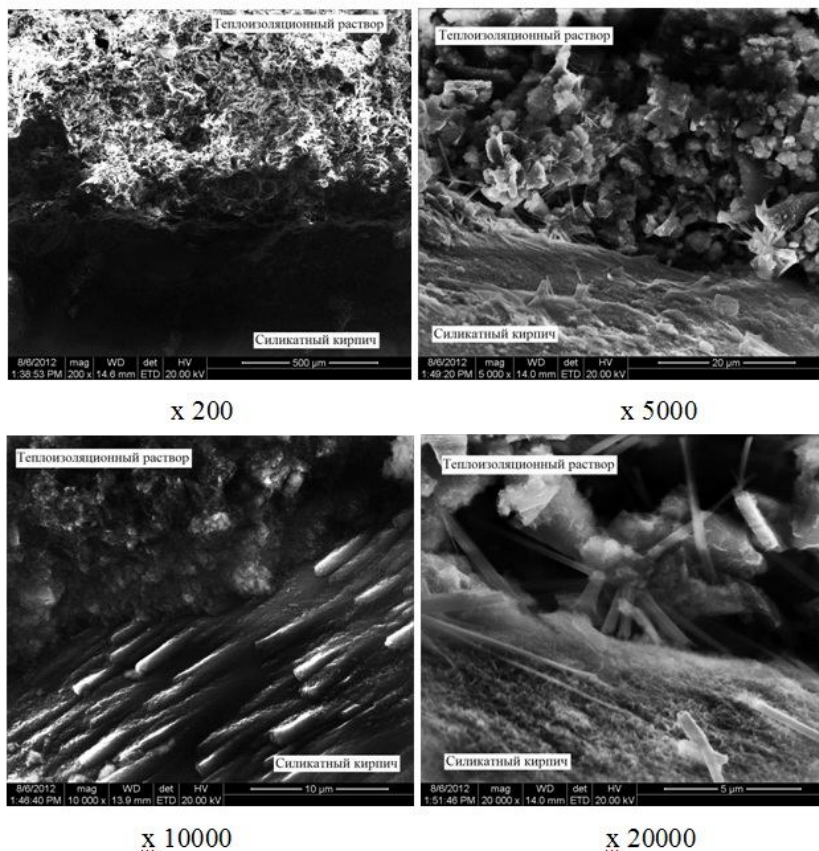


Рисунок 2 – Микрофотографии контактного слоя теплоизоляционный раствор – силикатный кирпич в возрасте 3 сут.

Исследованиями, проведенными авторами [12] с учетом принципов закона сродства структур, доказана возможность направленного изменения капиллярно-пористой структуры и управления влагопереносом в известковом и цементном камне при совместном применении добавок суперпластификаторов и минеральных наполнителей с определенной гранулометрией, что позволяет

проектировать композиты на основе вяжущих веществ для реставрации памятников старины.

Использование закона сродства структур позволило создать новый эффективный теплоизоляционно-конструкционный силикатный материал на основе активных гранулированных заполнителей со стабильно высокими теплоизоляционными свойствами, имеющих повышенную прочность сцепления с кладочными растворами, что особенно актуально в сейсмоопасных регионах и установить механизм формирования контактной зоны гранулированного заполнителя с силикатной матрицей при автоклавной обработке [13,14].

С учетом закона сродства структур созданы эффективные теплоизоляционные растворы на основе сухих строительных смесей, работающих на различных основаниях: тяжелом и легких бетонах, керамическом и силикатном кирпичах [15]. Установлено, что теплоизоляционные растворы, нанесенные на разные основания, имеют различную адгезию к основаниям, так тяжелый и легкий бетоны, керамический кирпич имеют примерно одинаковый показатель адгезии, а силикатный кирпич имеет показатель адгезии выше в 2 раза, что объясняется сродством минералов силикатного кирпича и теплоизоляционного раствора.

Получение высокоэффективных строительных материалов нового поколения сегодня сопровождается использованием сложных, с химической и минеральной точки зрения, составов компонентов с целью получения высококачественных строительных материалов различного функционального назначения с улучшенными, а иногда с принципиально новыми свойствами и определенной заранее заданной структурой. В основу создания таких вяжущих положен принцип целенаправленного управления технологией на всех ее этапах: использование активных компонентов, разработка оптимальных составов, применение химических модификаторов, использование механохимической активации компонентов и некоторых других приемов.

Реализация законов сродства структур предполагает создание системы твердеющего композита, в котором заложены основы реагирования на изменяющиеся условия синтеза и эксплуатации; целенаправленно синтезируются новообразования и создается нано-, микро- и макроструктура, обладающая способностью самозалечивать дефекты, возникающие в определенном диапазоне эксплуатационных нагрузок. Теоретические и практические подходы должны явиться предпосылкой для создания нового класса «интеллектуальных»

строительных материалов с эффективными свойствами. Так, при создании и использовании любого строительного материала существуют определенные требования, нарушения которых приводит к снижению прочности, невыполнению эксплуатационных требований, а порой и к разрушению конструкции, а нарушение законов сродства структур приводят к указанным выше последствиям.

Предлагаемые теоретические подходы к созданию закона сродства структур могли бы послужить серьезной научной базой дальнейшего развития современного строительного материаловедения по созданию малоэнергоёмких, экологически безопасных, конкурентоспособных на отечественном и зарубежном рынках, высокоэффективных материалов с улучшенными свойствами и заранее заданной структурой.

#### **Список литературы:**

1. Lesovik V.S. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials /Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. // *World Applied Sciences Journal*. 2013. Т. 24. №11. С.1496-1502.
2. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // *Фундаментальные исследования*. 2014. №3. Часть 2. С. 267-271.
3. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structureformationof contact layers of composite materials. *Life Sci J* 2014; 11 (12s): 948-953 (ISSN:1097-8135).
4. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 462 с.
5. Лесовик В.С., Мосьпан А.В. Прессованные силикатные изделия на гранулированных заполнителях // *Известия КГАСУ*. 2012. №3. С. 144-150.
6. Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Беленцов Ю.А. Силикатные изделия на гранулированных заполнителях для сейсмостойкого строительства // *Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова*. 2012. № 4. С. 62-65.
7. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // *Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова*. 2012. № 4. С. 53-57.

## **СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ «ЗЕЛЕНОГО» СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Ильинская Г.Г., канд. техн. наук,  
Лесовик Г.А., канд. техн. наук,  
Черкесов М.Ф., магистрант,  
Смальченко М.Ю., магистрант**

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

Одна из важнейших тенденций на сегодняшний день в современной архитектуре – это внедрение стандартов так называемого «зеленого» строительства, что позволит с учетом генезиса сырья и устойчивости системы «человек – материал – среда обитания» обеспечить экологичность жилья и создать архитектурно-художественный образ зданий [1-3].

Сейчас большая часть предпринимателей отходят от мысли, что эффективность здания ограничивается лишь технико-экономическими показателями и смотрят на вопрос намного шире – оно должно быть гармонично для окружающей среды и людей, которые в нем живут и работают.

«Зеленое» строительство – это инновационный подход к проектированию и строительству современных зданий, направленный на снижение потребления природных ресурсов при строительстве и эксплуатации и, одновременно, – на повышение комфорта и качества внутренней среды такого здания.

Современные тенденции развития строительного материаловедения связаны с переходом к созданию многокомпонентных, многослойных, многоуровневых композиционных материалов с заданным набором свойств, их структурной и функциональной организацией, обеспечивающих их поведение, адаптированное к переменным факторам окружающей среды на протяжении всего срока эксплуатации, но и, как минимум, сохранность или повышение качества среды обитания [4-8].

Для того чтобы человеку было комфортно в его жилом доме, необходимо заранее прогнозировать воздействие на организм человека строительного материала из которого планируется строительство.

Одним из перспективных направлений отвечающих таким требованиям, является разработка сухих строительных смесей для «зеленого» строительства, приготовленных из местных материалов.



Широкое применение сухих строительных смесей в России началось в начале 90-х годов. За небольшой период времени сухие смеси завоевали высокий авторитет у строителей, значительно потеснили смеси готовые к употреблению при проведении многих видов строительных работ, таких как облицовочные, штукатурные, ремонтные и т.п. Это способствовало бурному развитию отечественного производства сухих смесей. Увеличиваются объемы производства, растет номенклатура смесей, совершенствуется и укрупняется производственная база, растет количество научно-исследовательских работ и т.п.

На сегодняшний день можно уверенно утверждать, что в России создана новая отрасль строительной индустрии, которая в настоящее время переживает бурный рост.

Сухие строительные смеси представляют собой порошкообразные композиции, состоящие из минерального вяжущего или полимерного связующего, наполнителей и заполнителей, добавок (модификаторов, полимеров противоморозных, красителей и т.п.), приготавливаемые в заводских условиях.

Использование природного кварцевого песка в сухих строительных смесях в качестве заполнителя и наполнителя является нецелесообразным, так как многие карьеры закрываются.

Исследования, проведенные на базе Белгородского государственного технологического университета, показали возможность замены природного кварцевого песка на техногенное сырье, в том числе отходы обогащения Курской Магнитной Аномалии (КМА) [9-12].

По прогнозным оценкам, утилизация отходов позволила бы на 15–20% расширить сырьевую базу горно-металлургической, угольной и горно-химической промышленности.

Во многих видах техногенного минерального сырья содержание ценных компонентов в ряде случаев находится на том же уровне или даже превышает их концентрацию в рудах природных разрабатываемых месторождений.

Для производства различных строительных материалов возможна утилизация до 30% извлекаемых из недр вскрышных и вмещающих пород, а также отходов обогащения. Однако фактическое их использование не превышает 4% [13-15].

Многообразие состава и свойств техногенных ресурсов, сосредоточенных в отвалах и хвостохранилищах, определяет широкий

диапазон возможных направлений их утилизации. Техногенные минеральные отходы используются различными отраслями (рис. 1).



Рисунок 1 – Эффективные области использования техногенных минеральных отходов

Следует подчеркнуть, что использование отходов в строительной индустрии значительно эффективнее с точки зрения охраны окружающей среды. Снижается нагрузка на полигоны и уменьшается риск вторичного загрязнения окружающей среды. Это обусловлено тем, что исключается непосредственный контакт отходов с окружающей средой, а производимые материалы и изделия с использованием отходов соответствуют требованиям эколого-гигиенической безопасности, так как цементный камень и бетон являются детоксикантами для многих вредных ингредиентов, включая даже и золы от мусоросжигания, содержащие диоксины. При таком подходе к использованию отходов в промышленной индустрии будут инвестироваться либо технологии переработки отходов с целью получения вторичного сырья, либо создание наукоёмких технологий производства строительных материалов с использованием отходов. При этом предприятия строительной индустрии выступают участниками рынка экологических работ, товаров и услуг и характеризуются как предприятия, производящие ресурсосберегающую технологию и природосберегающую продукцию.

В связи с этим мы предлагаем использовать сухие строительные смеси для «зеленого» строительства на основе композиционных вяжущих с использованием техногенного сырья (табл. 1), которые гарантируют здоровый комфортный климат в помещениях, снижение

затрат на обогрев или охлаждение, в зависимости от времени года, и защиту самого здания.

Таблица 1 – Основные характеристики

№ п/п	Показатели	Результаты испытаний
1.	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	460
2.	Водоудерживающая способность, %	95,2
3.	Прочность сцепления с основанием, МПа	0,83
4.	Коэффициент паропроницаемости, мг/м·ч·Па	0,05
5.	Предел прочности, МПа – при сжатии – при изгибе	25,70 12,81
6.	Усадка покрытия	трещин не наблюдается
7.	Морозостойкость, циклов, не менее	60

Применение данных отходов в сухих строительных смесях не приводят к снижению показателей конечного продукта, а в некоторых случаях улучшают их. При этом, получаемая готовая продукция, в которой применяется техногенное сырье, будет легализовано, экологически чистой, так как производство её будет осуществляться с учетом требований экологической безопасности на всех этапах технологического процесса, а также будет снижаться нагрузка на окружающую среду и значительный экономический и социальный эффект.

Таким образом, предлагаемый подход к использованию отходов КМА позволит расширить номенклатуру строительных материалов с учетом генезиса сырья и устойчивости системы «человек – материал – среда обитания», а также вывести из тени существующие ресурсосберегающие технологии производства сухих строительных смесей, бетонных и железобетонных изделий с применением промышленных отходов или техногенного минерального сырья.

#### Список литературы:

1. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование России. 2014. № 3. С. 77-83.
2. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 9-12.
3. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.

4. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
5. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
6. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.
7. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
8. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
9. Лесовик Р.В., Жерновский И.В. Выбор кремнеземсодержащего компонента композиционных вяжущих веществ // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 78-79.
10. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
11. Загороднюк Л.Х., Шкарин А.В., Щекина А.Ю., Лугинина И.Г. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 53-57.
12. Лесовик В.С., Вишневская Я.Ю., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 53-56.
13. Строкова В.В. К проблеме оценки качества техногенного сырья промышленности строительных материалов // Горный журнал. 2004. № 1. С. 78-79.
14. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
15. Прокопец В.С., Лесовик В.С. Производство и применение дорожно-строительных материалов на основе сырья, модифицированного механической активацией: Белгород, 2005.

## **РЕОЛОГИЯ ГАЗОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ПЕСКОВ**

**Кара К.А., канд. техн. наук, ст. препод.,  
Шорстов Р.А., студент,  
Сулейманов К.А., студент,  
Воронов В.В.**

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

В процессе изготовления газобетон проходит стадию пастообразного или пластично-вязкого состояния с постепенным переходом в процессе твердения в вязкие тела и набора конечной прочности.

Реологические свойства смесей вяжущего с водой оказывают большое влияние на характер протекания таких технологических процессов, как перемешивание смесей, транспортирование по трубопроводам и т.п. Кроме того, в технологии газобетона реологические свойства формовочной смеси также оказывают влияние на ход процесса поризации материала, поскольку в данном случае минимальное избыточное давление газа в зародышах пузырьков, при котором начнется вспучивание массива, связано с пределом текучести, а вязкость определит скорость вспучивания. При этом физико-механические свойства в значительной степени зависят от прочностных характеристик межпоровой перегородки [1...16]. Пористая структура материала формируется на этапе вспучивания газобетонных смесей, а решающим условием создания оптимальной структуры является правильное сочетание кинетики реологических свойств межпорового материала и процесса выделения газа газообразователями. Если скорость вспучивания превышает скорость релаксации напряжения, то это может вызвать деструкцию материала.

Особенностью технологии газобетона является изменение в процессе формирования по мере насыщения газом реологических свойств смеси. Основными факторами, влияющими на реологию газоцементных суспензий, являются гранулометрия, форма частиц композиционного вяжущего, характер динамического воздействия на смесь, режим движения частиц, степень проявления тиксотропных свойств, фактор времени и другие параметры.

Процесс вспучивания газобетонной смеси должен протекать таким образом, чтобы в момент интенсивного газообразования смесь обладала оптимальными для вспучивания характеристиками, а к концу газообразования и формирования пористой структуры последняя должна фиксироваться за счет сравнительно быстрого возрастания вязкости смеси и предельного напряжения сдвига.

Для изучения процессов вспучивания газобетонных смесей особый интерес представляет начальный период структурообразования вяжущего, период интенсивной гидратации, совпадающий по времени с этапом формирования пористой структуры.

Для оценки кинетики реологических свойств материала межпоровой перегородки газобетонной смеси было изучено изменение его предельного напряжения сдвига ( $\tau_0$ ) во времени, равном периоду вспучивания (0...15 мин) для портландцемента и композиционных вяжущих (КВ) различного состава с использованием кварцевого песка, отсевов дробления кварцитопесчаника (КВП) и отсевов дробления КВП с мелом, физико-механические характеристик которых представлены в табл. [17...20].

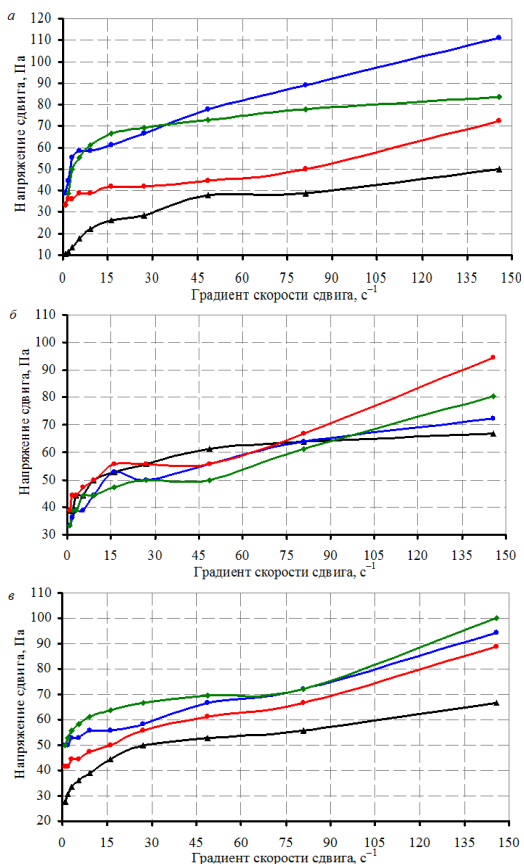
Таблица 1 – Физико-механические характеристики композиционных вяжущих

Вяжущие	Тонкость помола по проходу через сито № 008, %	НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин		Прочность, МПа, в возрасте, сут					
			начало	конец	при изгибе			на сжатие		
					3	7	28	3	7	28
ЦЕМ I 42,5 Н	90,2	25,0	2–25	3–20	5,2	5,9	8,2	32	37,8	52,3
Клинкер + гипс + П-1 + курский песок	95,3	21,6	1–30	2–50	6,9	8,9	10,72	49,3	63,2	74,8
Клинкер + гипс + П-1 + отсеvy дробления КВП	98,7	20,3	1–05	2–35	8,2	9,6	11,55	53,2	64,8	82,4
Клинкер + гипс + П-1 + отсеvy дробления КВП + мел	99,1	20,0	0–50	2–30	8,5	10,6	12,26	62,4	74,0	87,7

Определение реологических характеристик при малых скоростях сдвига позволяет проанализировать вклад структурообразования в межпоровом материале и порообразования во вспучивающихся твердых

средах, т.е. по сути, дать микрореологическую интерпретацию дисперсной системы как совокупности дисперсионной среды и газовой фазы.

Оценивалась скорость изменения параметра  $\tau_0$  во времени. Дифференциальные кривые, отражающие интенсивность процессов структурообразования материала межпоровой перегородки, представлены на рис.



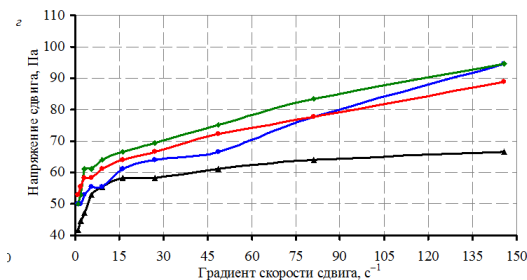


Рисунок 1 – Реологические кривые газцементных смесей: *a* – цемент; *b* – КВ (песок); *в* – КВ (КВП); *г* – КВ (КВП + мел)

▲ – 0 мин; ● – 5 мин; ◆ – 10 мин; ■ – 15 мин

Анализ полученных кривых реологических свойств смеси (рис.) показывает, что в газцементноводной суспензии не наблюдается участков вязкого течения с практически неразрушенной структурой.

В первые минуты после затворения (0...10 мин) происходит резкое увеличение значения напряжения сдвига, что объясняется интенсивными процессами гидратации клинкерных минералов в начальный период структурообразования, появлением на их поверхности гидратных новообразований типа этtringита и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , возникновением коагуляционных связей между частицами твердеющей системы.

Алюминиевый газообразователь взаимодействует с жидкой фазой газобетонной смеси, которая в начальный период претерпевает значительные изменения водородного показателя.

Для цемента максимальное напряжение сдвига наблюдается в первые 5 мин после затворения газобетонной смеси водой. В промежутке 10...15 мин вязкость снижается. В начальный период времени (0 мин) суспензия имеет минимальную вязкость в интервале 0...15  $\text{с}^{-1}$ , с течением времени вязкость в этом интервале возрастает в 3...4 раза.

При использовании КВ наблюдается увеличение напряжения сдвига в начальный период времени в интервале 0...15  $\text{с}^{-1}$  по сравнению с цементом, т.е. в этих системах вязкое течение начинается при больших градиентах скоростей сдвига.

Для КВ с кварцевым песком напряжение сдвига увеличивается в интервале 0...15 мин, но при больших градиентах скорости сдвига 75...150  $\text{с}^{-1}$ .



Для КВ с использованием отсевов дробления КВП максимальная вязкость наблюдается в интервале до 10 мин, а в дальнейшем происходит снижение вязкости, при этом КВ с использованием отсевов дробления КВП и мела по истечении 15 мин имеет минимальную вязкость системы, что положительно влияет на гомогенизацию массы в начальный период формирования пористой структуры, обеспечивая условия для роста пузырьков без их объединения.

По истечении 10...15 мин образуются коллоидные частицы и начинается коагуляция гелевидной массы. Стабилизация значений, объясняется насыщением жидкой фазы межпорового вещества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , мелкозернистыми новообразованиями цемента и появлением на поверхности зерен вяжущего пленки из гидратных новообразований, препятствующей развитию структурообразования цементной системы.

Анализируя данные (рис.), можно сделать вывод, что период выделения основной массы газа при вспучивании соответствует периоду времени, когда вязкость межпорового вещества значительно изменяется, а значение предельного напряжения сдвига резко возрастает, при этом смесь имеет такие пластично-вязкие свойства, при которых полностью обеспечивается газодерживание смеси.

Таким образом, выявлены особенности реологических свойств суспензий от времени и вида вяжущего, заключающиеся в том, что газоцементные системы на КВ с отсевом дробления КВП и мелом имеют эффективную вязкость с оптимальными характеристиками для вспучивания газобетона и формирования пористой структуры за счет сравнительно быстрого возрастания вязкости смеси и предельного напряжения сдвига.

#### **Список литературы:**

1. Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / дис. ... канд. техн. наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2011.
2. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кара К.А. Энергоэффективный газобетон // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительной-технологической утилизации техногенных отходов. Белгород, 2014. С. 218-220.
3. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. С. 10-20.

4. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Оптимизация состава неавтоклавного газобетона на композиционном вяжущем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 28-30.
5. Кара К.А., Сулейманов К.А., Исафилов М.Ш. Энергоэффективный теплоизоляционный материал для монолитного строительства // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительнотехнологической утилизации техногенных отходов. Белгород, 2014. С. 104-106.
6. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород, 2011.
7. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов // В сборнике: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научнопрактической конференции в 3-х частях. 2011. С. 98-102.
8. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Красникова И.Е. ВЫБОР Оптимального водотвердого отношения ячеистобетонных смесей при различных способах изготовления газобетонов // В сборнике: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов сборник докладов (XIX научные чтения). 2010. С. 121-326.
9. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г., Кара К.А. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих для энергоэффективного строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 47-52.
10. Сулейманова Л.А. Динамика расширяющейся газовой полости // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 56-58.
11. Сулейманова Л.А. Алгоритм получения энергоэффективного газобетона с улучшенными показателями качества // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 59-61.
12. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С., Сулейманов А.Г. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих. Белгород, 2010.
13. Сулейманова Л.А. Неавтоклавный пеногазобетон на основе сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 73-80.
14. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Строкова В.В. Сухие строительные смеси для неавтоклавных ячеистых бетонов. Белгород, 2009.
15. Сулейманова Л.А. Вибровакумированный ячеистый бетон. Белгород, 1997.
16. Гладков Д.И., Ерохина Л.А., Загороднюк Л.Х. Вибровакуумная технология ячеистых бетонов // Бетон и железобетон. 1991. № 9. С. 13.
17. Сулейманова Л.А. Композиционное вяжущее с использованием техногенного песка для неавтоклавных газобетонов / Экология: образование, наука, промышленность и здоровье: сб. материалов IV

- Междунар. науч.-практ. конф. // БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. С. 162–165.
18. Сулейманова Л.А., Жерновский И.В., Шамшуров А.В. Специальное композиционное вяжущее для газобетонов неавтоклавного твердения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 1. С. 39–45.
  19. Хархардин А.Н., Сулейманова Л.А., Строкова В.В. Топологические свойства полидисперсных смесей и составляющих их фракций по результатам ситового и лазерного анализов гранулометрии // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 11-12 (647). С. 114-124.
  20. Воронцов В.М., Сулейманова Л.А., Мосьпан В.И. Вяжущие материалы и изделия на их основе: учебник для студентов, обучающихся по направлению 270100 "Строительство"; под общ. ред. В. С. Лесовика ; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. Белгород, 2010.

## ВЯЖУЩИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АНГИДРИТА И СУЛЬФАТА АММОНИЯ

Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.,  
Фишер Хэнс-Бертрам,  
Гасанов С.К., аспирант

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

По данным Т.Х. Велтаури [1] лучшими активаторами гидратации и твердения нерастворимого ангидрита ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ ) являются соли аммония. Причем, активирующая способность их усиливается в ряду:  $\text{NH}_4\text{Cl} < \text{NH}_4\text{NO}_3 < (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Вследствие близости размеров ионов  $\text{NH}_4^+$  ( $r_{\text{NH}_4^+} = 0,143 \text{ нм}$ ) и  $\text{K}^+$  ( $r_{\text{K}^+} = 0,133 \text{ нм}$ ) соли аммония по свойствам сходны с солями калия. Их отличие проявляется при взаимодействии с водой, поскольку ионы  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{OH}^-$  связываются в гидрат аммиака и возникает кислая среда.

Согласно классификации добавок предложенной, В.Б. Ратиновым и Т.Н. Розенберг [2],  $\text{NH}_4\text{OH}$  относится к добавке первого класса, уменьшающей растворимость как гипса, так и  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  и понижающей скорость растворения  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ . В связи с этим  $\text{NH}_4\text{OH}$  значительно замедляет процесс гидратации и твердения  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  [3]. Увеличить концентрацию  $\text{SO}_4^{2-}$  и связать  $\text{NH}_4\text{OH}$  можно введением солей d-элементов, например:  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$  и др. Катионы  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  обладают повышенной способностью к образованию устойчивых аммиачных комплексных солей:  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ;  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ;  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ . Кроме того,  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  растворяется в насыщенном растворе  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  с образованием комплексной соли  $(\text{NH}_4)_2[\text{Ca}(\text{SO}_4)_2]$ . Данная реакция является качественной на ионы  $\text{Ca}^{2+}$ .

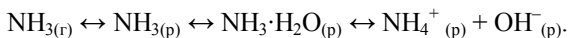
**Рабочая гипотеза работы** заключается в том, что связывая катионы  $\text{NH}_4^+$  в устойчивые комплексные ионы, соли  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$  будут поставлять в систему дополнительное количество ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ . Введение  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в растворы солей  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$  также ослабляет их гидролиз, за счет увеличения концентрации ионов  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Все это будет способствовать усилению гидратации  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  и улучшению физико-механических характеристик материалов на его основе. Кроме того, будет положительно решаться проблема связывания  $\text{NH}_3$ , образующегося при активации  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$   $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в щелочной среде.

**Цель работы** – разработка составов эффективных ангидритовых вяжущих на основе термического ангидрита, активированного двухкомпонентными добавками, состоящими из  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и сульфатов d-элементов.

Для подтверждения рабочей гипотезы была исследована активация  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$   $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и комплексными добавками на основе солей  $\text{CuSO}_4$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Сульфатные активаторы выбраны потому, что независимо от природы катиона, они обладают лучшей активирующей способностью, чем нитратные, хлоридные и др. Причин этого, на наш взгляд, две. Во-первых, они содержат одноименный ион с гипсом и тем самым повышают относительное пересыщение твердеющих суспензий и ускоряют образование центров кристаллизации новообразований. Во-вторых, анионы  $\text{SO}_4^{2-}$  могут участвовать в реакциях полимеризации благодаря образованию донорно-акцепторных связей, проявляя сходство с соединениями кремния и фосфора.

Нерастворимый ангидрит, используемый в работе, получали обжигом природного молотого гипса в муфельной печи при  $650^\circ\text{C}$  в течение 1 часа. Величина pH его суспензий равна 11,93. В качестве активаторов твердения  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  использовали  $\text{CuSO}_4$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  спецификации х.ч., а наполнителя тонкомолотые отходы тарного стеклобоя (ОТС).

На первом этапе работы была исследована активация  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  добавками  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Из полученных данных следует, что добавки  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  понижают величину pH суспензий  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  с сильно щелочной (11,93) до слабо щелочной (8,92) среды. Затворение водой  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ , активированного  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , сопровождается выделением  $\text{NH}_3$ . Причина этого заключается в том, что  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ , полученный термообработкой природного гипса (термический ангидрит), имеет щелочную среду. Величина pH его суспензий, в зависимости от генезиса гипса и количества карбонатных примесей, находится в интервале 10,50–12,20 [4,5]. Щелочная среда создается за счет гидратации карбонатных примесей, содержащихся в гипсе, и поляризации воды продуктами термообработки гипса. В системе, образованной газообразным аммиаком и водой, существуют следующие равновесия:



Понижение температуры и увеличение кислотности смещает приведенную цепочку равновесий вправо, а увеличении температуры и щелочности – влево.

При оптимальном количестве добавки  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (2 мас. %), прочность ангидритового вяжущего достигает 36,7 МПа (рис.1.), а величина pH его суспензий 9,4–9,8. Увеличение количества добавки  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  больше 2 мас. % приводит к снижению прочности вяжущего и образованию на его поверхности высолов. При меньших количествах добавки идет не полная гидратация  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ , что снижает прочностные показатели вяжущего; проявляется усадка образцов. Количество гидратной воды у проб оптимального состава вяжущего равно 19,1 %, что указывает на полную гидратацию  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ .

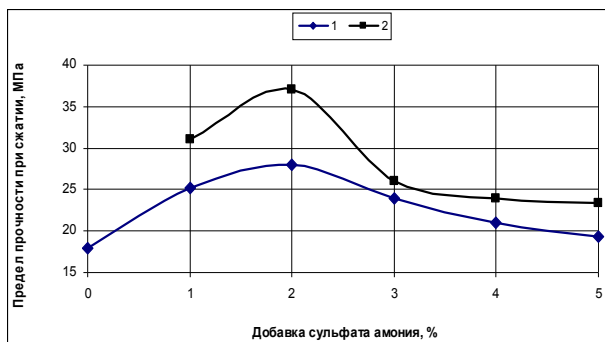


Рисунок 1 – Влияние  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  на прочность гипсовых вяжущих: 1 – состав (70%  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  + 30% СТО); 2 –  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$

Прямой зависимости между количеством гидратной воды и прочностью вяжущих не выявлено. Тоже можно сказать и о влиянии величины pH. Это важный показатель, но действует он, не отдельно, а в связи с остальными показателями. Величина pH гипсовых систем не постоянна и изменяется во времени в зависимости от тех процессов, которые протекают в вяжущей композиции. В связи с этим, важно знать какое значение кислотности среды будут иметь как исходные, так и конечные продукты гидратации. Для этого исследованы величины pH водных вытяжек продуктов гидратации ангидритового вяжущего после 7 сут твердения. Установлено, что с увеличением количества добавки  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  до 2 мас.% наблюдается значительное понижение величины pH водных вытяжек ангидритового вяжущего. В интервале количеств добавки 2-5 мас. % величина pH стабилизируется на уровне 7,5. Необходимо отметить, что начальные значения pH водных суспензий  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  с этими количествами добавок находятся на уровне 9,48-8,92.

Таким образом, 2% – ная добавка  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  позволяет полностью нейтрализовать щелочную среду вяжущего и получить устойчивую структуру материала.

Для нейтрализации выделяющегося аммиака в оптимальном составе вяжущего использовали добавки  $\text{CuSO}_4$ . Количество добавки  $\text{CuSO}_4$  выбрано с таким расчетом, чтобы связать весь выделяющийся аммиак и понизить величину pH. Был выбран следующий состав вяжущего: 96,5 %  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  + 2 %  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 1,5 %  $\text{CuSO}_4$ . Затворение данного состава водой не сопровождается выделением  $\text{NH}_3$ . Этому способствует наличие катионов  $\text{Cu}^{2+}$  и слабокислая реакция среды (табл.1).

Таблица 1 – Характеристики ангидрита, активированного комплексной добавкой на основе  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{CuSO}_4$

№ п/п	Состав вяжущего, г (%)			pH суспензий вяжущего/ водной вытяжки образцов	Rсж, МПа, 7 сут
	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{CuSO}_4$		
1.	86,85	1,80 (2 %)	1,35(1,5%)	6,00/8,38	31,0
2.	88,20	1,35(1,5%)	0,45 (0,5%)	8,95/8,25	34,0

Величина pH суспензий вяжущего (2 г вяжущего + 25 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ) в начальный период гидратации равна 6,0, что более благоприятно для гидратации  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ . Несмотря на это, материал на основе такого вяжущего, имеет более низкую прочность (Rсж. =31 МПа), чем материал базового состава (Rсж. =36,7 МПа). Внешняя поверхность образцов покрыта синими разводами, отсутствующими внутри материала. Снижение прочности вяжущего можно объяснить увеличением суммарного количества добавки до 3,5 мас.%.  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ , содержащий 3,5 мас. %  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , имеет более низкую прочность (Rсж. = 22 МПа).

Об упорядоченности структуры и размерах кристаллов судили по результатам РЭМ проб (рис.2).

Продукты гидратации  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  с добавками  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  состоят из крупных пластинчатых кристаллов гипса, часто сросшихся по граням (рис.2в). Гипс, образующийся при гидратации  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , состоит из тонких удлинённых призматических кристаллов.  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$  с добавками СТО (рис.2г) представлен массой, состоящей из распавшихся

мелких кристаллов  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II}$ , отдельных кристаллов гипса и частиц СТО.

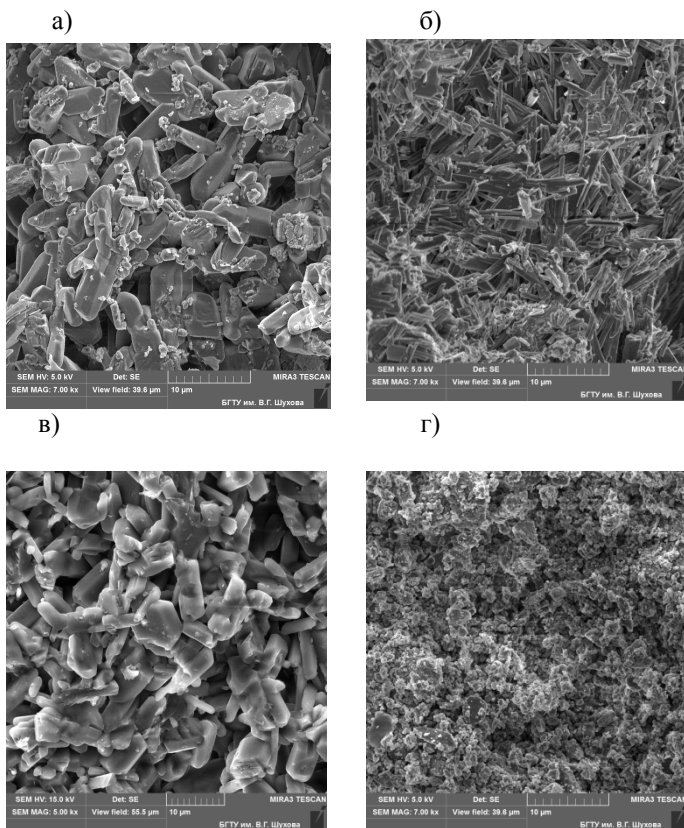


Рисунок 2 – Микрофотографии продуктов гидратации вяжущих:

а)  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II} + 30\% \text{ СТО} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; б)  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ;

в)  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; г)  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{II} + 30\% \text{ СТО}$

Полученные результаты еще раз показывают, что количество сульфатной добавки независимо от величины pH является важным параметром при выборе состава вяжущего и в большинстве случаев не должно превышать 2 мас. %. В подтверждение этого нами исследован состав вяжущего, в котором суммарное количество добавки  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{CuSO}_4$  составляло 2 мас. % (состав 2, табл.1). А в самой комплексной



добавке на 1 моль  $\text{CuSO}_4$  приходилось 2 моль  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , что позволяет полностью связать выделяющийся  $\text{NH}_3$  в прочный комплекс. Величина рН состава 8,95. Материал, полученный на основе такого состава, имеет прочность на сжатие 34 МПа, что практически соизмеримо с прочностью ангидрита, активированного 2 мас. %  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

Таким образом, предложен метод подбора и разработан состав двухкомпонентной добавки на основе  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{CuSO}_4$ , для активации термического  $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$ , позволяющий нейтрализовать выделение  $\text{NH}_3$ , подавить гидролиз  $\text{CuSO}_4$  и получить эффективные ангидритовые вяжущие. Показано, что количество сульфатной добавки, используемое для активации  $\text{CaSO}_4\cdot\text{II}$ , не зависимо от природы сульфата, не должно быть больше 2 мас. %.

#### Список литературы:

1. Велтаури Т.Х., Ратинов В.Б. О влиянии добавок на гидратацию ангидрита // Гипсовые материалы и изделия: сб. трудов ВНИИСТРОМ. 1989. № 67 (95). С. 59–66.
2. Волженский А.В., Ферронская А.В. Гипсовые вяжущие и изделия. М.: Стройиздат, 1974. 328 с.
3. Жвиронайте Я.А. Исследование механизма действия добавок на процессы гидратации и твердения ангидрита: Автореф. дис. канд. техн. наук. Каунас, 1977. 23 с.
4. Клименко В.Г. Многофазовые гипсовые вяжущие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 198с.
5. Клименко В.Г. Гипсоангидритовые вяжущие вещества // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С.19–23.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОРИЗАЦИИ ЯЧЕИСТОБЕТОННОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВЯЖУЩЕГО**

**Кобзев В.А., аспирант,**

**Нецвет Д.Д., аспирант**

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

Повышение требований к теплозащите зданий ставит перед промышленностью строительных материалов задачи по выпуску высокоэффективных экологических теплоизоляционных материалов. Одним из примеров таких материалов является пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего [1–5].

Однако, для применения в технологии ячеистых бетонов новых видов вяжущих необходимо проведение ряда экспериментов по подбору оптимальных типов и концентрации порообразующих добавок и технологических режимов производства композитов.

Наноструктурированное вяжущее (НВ) – бесцементное вяжущее негидратационного типа твердения, которое применимо при производстве строительных материалов. Основные достоинства НВ – низкая себестоимость и высокая технологичность.

В настоящее время порообразующие добавки разрабатываются и применяются с учетом характеристик традиционного вяжущего – цемента. При применении нового типа вяжущего, отличного по составу и типу твердения от цементного, необходимо проводить подбор пенообразующих добавок с учетом характеристик, фазово-размерной гетерогенности вяжущего.

В рамках проведения исследования были изучены пенообразующие добавки двух типов: протеиновые (Biofoam, Addiment) и синтетические (ПБ-2000, Esapon). На рис. 1–4 представлены основные характеристики пенообразователей и полученной пены: реологические характеристики, кратность, стойкость, плотность.

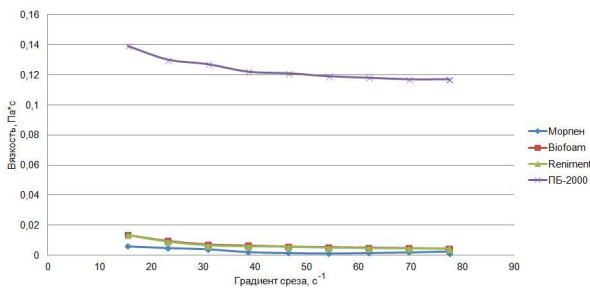


Рисунок 1 – Реологические кривые применяемых пенообразователей

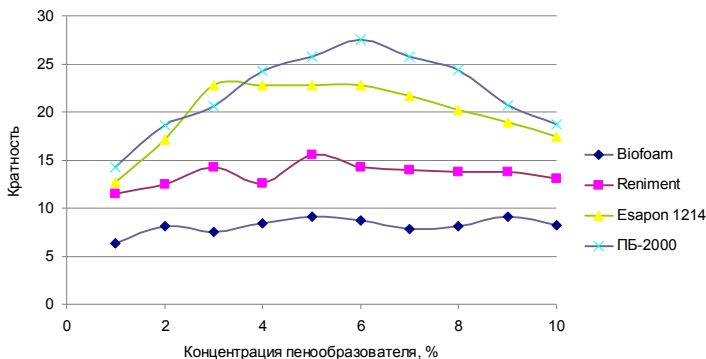


Рисунок 2 – Кратность пены в зависимости от типа пенообразователя и концентрации раствора

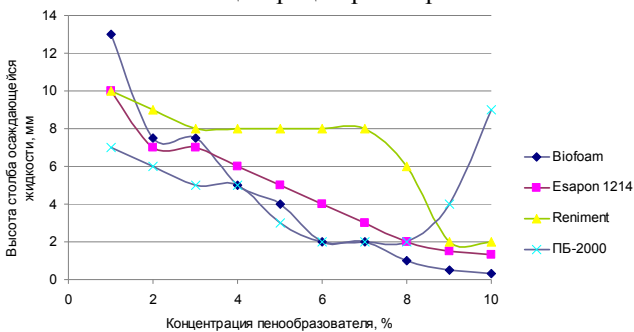


Рисунок 3 – Стойкость пены в зависимости от типа пенообразователя и концентрации раствора

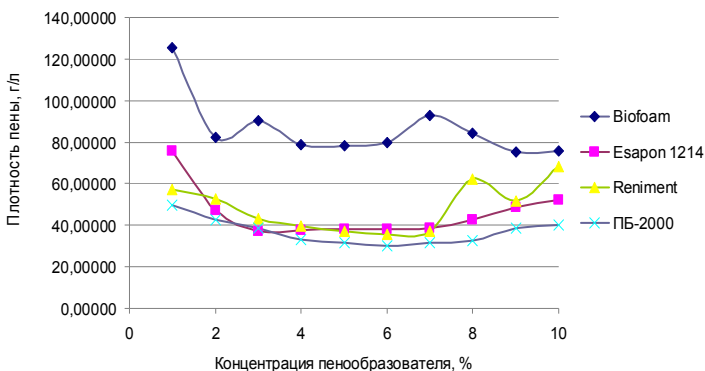


Рисунок 4 – Плотность пены в зависимости от типа пенообразователя и концентрации раствора

Реологические свойства пенообразователей определялись на вискозиметре ротационного типа Rheotest RN4.1. Исследования характеристик пены велось по стандартным методикам [2, 6–8].

Наиболее простой метод определения кратности пен заключается в определении отношения объема водного раствора пенообразователя ( $V_P$ ) к объему активированной пены ( $V_{II}$ ) (1):

$$K = V_{II} / V_P \quad (1)$$

Стойкость пены определялась изменением высоты столба пены во времени. Плотность пены определяли как массу одного литра пены. (2):

$$\rho = m / V_{II} \quad (2)$$

Пеномассу возможно получить двумя способами.

Первый способ – классическая технология.

В цилиндрическую емкость заливался водный раствор пенообразователя требуемой концентрации. После приготовления пены путем активирования при использовании смесителя миксерного типа в течение 5 минут при скорости вращения вала 1000 об/мин происходит минерализация пен за счет введения наноструктурированного вяжущего и перемешивания при скорости вращения вала 500 об/мин.

Второй способ – одностадийное получение пеномассы.

В рамках выполнения работы проведен эксперимент по определению перспективности применения данных методов при получении пенобетона на основе НВ. Все компоненты в необходимом количестве загружались в цилиндр и на скорости 900 об/мин в течение 7 минут перемешивались до получения однородной массы. В качестве

пенообразующей добавки использовался протеиновый пенообразователь Biofoam. Он позволяет получать плотную пену, свойства которой не зависят от pH среды. В качестве вяжущего – наноструктурированное вяжущее (НВ) на основе кварцевого песка с влажностью 22%.

Кратность пеномассы в дальнейшем напрямую влияет на среднюю плотность пенобетона [9].

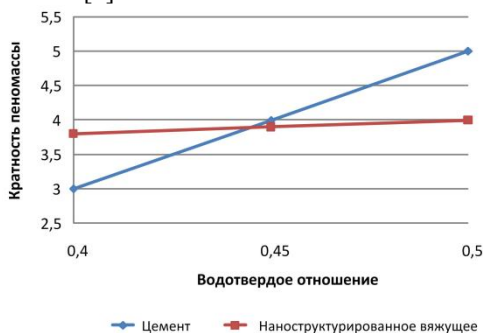


Рисунок 5 – Зависимость кратности пеномассы от водотвердого отношения в системе (классический способ)

Как видно из данных, приведенных на рис. 5, пеномасса с применением в качестве минерализатора НВ, обладает более стабильными свойствами и почти не зависит от водотвердого соотношения в системе. Но плотность пенобетона на основе НВ выше, чем пенобетона на основе цемента.

На интенсивность пенообразования, кратность пеномассы значительное влияние оказывает водотвердое отношение (В/Т) системы. Чем выше В/Т, тем больше кратность. На кратность пеномассы также оказывает влияние тип применяемого вяжущего.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод: наиболее эффективным является применение пенообразователя Biofoam, что обосновано получением пеномассы с высокой кратностью и стойкостью. Оптимальным В/Т при получении пенобетона на основе НВ является 0,4, что ниже, чем для получения пенобетона на основе цементного вяжущего. Следовательно, данный факт оказывает положительное влияние на сокращение сроков твердения пенобетона и улучшение его физико-механических характеристик.

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках: государственного задания; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.*

#### **Список литературы:**

1. Павленко Н.В., Череватова А.В., Строкова В.В. Особенности получения рациональной поровой структуры пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего // Строительные материалы. 2009. № 10. С. 33–36.
2. Павленко Н.В. Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего: дис. ... канд. техн. наук. / Н.В. Павленко. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. 200 с.
3. Череватова А.В., Павленко Н.В. Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 115–119.
4. Павленко Н.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Нелюбова В.В., Капуста М.Н. Эффективность применения наноструктурированного вяжущего при получении ячеистых композитов // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 10–12.
5. Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В., Мирошников Е.В., Шаповалов Н.А. Оценка эффективности применения наноструктурированного вяжущего при получении легковесных ячеистых композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 48-51.
6. Балясников В.В. Пенобетон на модифицированных синтетических пенообразователях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В.В. Балясников. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2003. 235 с.
7. Черноситова Е.С. Теплоизоляционный пенобетон на модифицированных пеноцементных смесях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Е. С. Черноситова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. 215 с.
8. Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. Монография. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. 248 с.
9. Хархардин А.Н., Строкова В.В. Структурная топология дисперсных систем: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 132 с.

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ГИДРОФОБНОЙ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

**Кожухова М.И., аспирант,  
Огурцова Ю.Н., аспирант,  
Соболев К.Г., д-р фил., доц.,  
Лабузова М.В., студент,  
Ищенко А.В., аспирант**

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

Проблемы долговечности строительных материалов и сооружений, работающих в условиях естественной среды определяются во многом стойкостью к агрессивным водным средам, био-и сульфатной коррозии, эрозийных процессов, возникающих в результате наноса с водой материала, вызывающего истирание бетона, порывы ветра, кавитация, удары пльвущего льда или других предметов, а также водостойкостью и сохранением целостности структуры при попеременном замораживании и оттаивании в зимний сезон.

К эксплуатируемым в таких условиях можно отнести материалы, применяемые для фасадной отделки – облицовочный кирпич, природный отделочный камень, фасадная плитка, штукатурка и т.д.; материалы и конструкции дорожно–строительного назначения, такие как плиты тротуарные, паребрики, плиты дорожные, мостовые опоры; ответственные бетонные конструкции и сооружения специального назначения, в ряду которых рассматривается гидротехническое, промышленное, мелиоративное строительство; элементы малых архитектурных форм – заборные ограждения, садово-парковые скульптуры, вазоны, парковые скамьи (рис. 1).

Гидрофобной защите, с целью повышения долговечности подвергаются плотные и ячеистые материалы на основе цемента, гипса, известняка, а также силикатные изделия.

На сегодняшний день для придания неорганическим материалам защитных водоотталкивающих и гидрофобных свойств существует три вида гидрофобизации: объемная, отсечная и поверхностная.

Объемная гидрофобизация, в свою очередь, характеризуется двумя подходами. Первый подход заключается во введении гидрофобизирующих веществ вместе с водой затворения на стадии производства изделия или при использовании гидрофобного цемента. Другой способ представляет собой принудительную пропитку уже

готовых изделий. Пропитку осуществляют под давлением, закачивая гидрофобный раствор в специальные отверстия, просверленные в изделии или конструкции. Данный способ весьма эффективен, который позволяет равномерно распределять гидрофобизирующую жидкость по всему объему изготавливаемого изделия и повышает характеристики конечного продукта.



Рисунок 1 – Классификация материалов, подвергаемых защитной гидрофобной обработке

Однако следует отметить недостатки данного метода. Так, строительные растворы на водной основе не будут удерживаться на гидрофобизированной поверхности, ввиду отсутствия адгезионных сил взаимодействия между поверхностями.

Еще одним видом является отсечная гидрофобизация, которая используется при необходимости прекращения подъема грунтовых вод по капиллярам стен сооружений, где возможен подъем воды более чем на 2 м (например, в кирпичной кладке).

При принудительной пропитке стен с использованием данного метода в их толще под углом от 30 до 45° сверлят отверстия (шпury), глубина которых может достигать 85% толщины. Шпур должен пересекать не менее одного горизонтального шва. Диаметр отверстия (5–40 мм) зависит от материала кладки. После бурения отверстия продувают. Инъекции гидрофобизирующего раствора вводят под давлением, достигающим 0,5 МПа, либо самотеком. В эти отверстия



нагнетают гидрофобизирующее вещество, после чего производят заделку цементом [1].

При поверхностной гидрофобизации на обрабатываемую поверхность наносят требуемый раствор гидрофобизирующего вещества. Нужно отметить, что существует ряд технологий нанесения гидрофобного состава, которые подбирают исходя из характеристик обрабатываемого материала. К таким технологиям относят:

- полив;
- окунание;
- распыление;
- нанесение кистью.

Перед началом работы поверхность очищают от пыли и грязи и высушивают. Нанесение должно проходить при температуре не ниже 7°C. Гидрофобный состав следует наносить равномерно, сверху вниз при обработке вертикальных поверхностей. После дождя гидрофобизацию проводить не рекомендуют. Более предпочтительно гидрофобное вещество наносить на сухую поверхность.

Также необходимо отметить, что при поверхностной гидрофобизации изделие необходимо высушивать после обработки.

При использовании такого вида гидрофобизации необходимо учитывать тот факт, что верхний гидрофобизированный слой можно повредить при транспортировке или монтаже.

С целью гидрофобизации на поверхности изделия также могут наноситься вододисперсионные и органорастворимые краски, которые обладают способностью к адгезии из-за входящих в их состав поверхностно-активных веществ. Поверхностную гидрофобизацию широко используют для обработки фасадов, реставрации памятников, а также для придания водооталкивающих характеристик материалам дорожного назначения [1,2].

В успешном решении комплекса вопросов, связанных с созданием сооружений и конструкций высокой долговечности, наряду с получением мелкой, равномерно распределенной пористости цементного камня в бетоне существенную роль играет гидрофобизация внутренней поверхности пор и капилляров. Особо важна она для повышения стойкости бетона в условиях капиллярного подсоса и испарения растворов солей, а также периодического увлажнения и высушивания, замораживания и оттаивания. В связи с этим, объемная гидрофобизация в большей степени актуальна для конструкций и сооружений, подверженных постоянному воздействию агрессивных сред под давлением и в условиях постоянной высокой влажности (при

зональном бетонировании в приморских зонах; при гидротехническом и мелиоративном строительстве) [3].

В тоже время, поверхностная гидрофобизация достаточно широко используется при обработке элементов фасадной отделки, а также может быть применена для гидрофобной модификации материалов дорожно-строительного назначения, таких как плит тротуарных.

Следует отметить, что в качестве гидрофобных защитных покрытий и пропиточных материалов используются органические полимерные материалы, такие как нейлон, полиамиды, кевлар, арамидные, полиэфирные и эпоксидные смолы, которые нашли широкое применение в текстильной, деревообрабатывающей промышленности, а также в строительной индустрии для придания водоотталкивающих и гидрофобных характеристик материалам минерального происхождения.

В большинстве своем данные полимеры используются в качестве лаков и красок для поверхностной гидрофобизации, создавая прочный защитный слой на поверхности материала за счет действия адгезионных сил [4].

В случае объемной либо отсечной методов гидрофобной модификации жидкие полимеры проникают в толщу материала, покрывая поверхность пор и пустот, создавая водоотталкивающий плотный утолщенный слой внутри материала, который обеспечивает водоотталкивающую защиту при капиллярном подсосе, а также просачивании водных растворов под давлением [5].

В тоже время, адгезия в системе «гидрофобизирующий компонент – обрабатываемая поверхность» создается только лишь за счет процессов диффузии полимерной жидкости вглубь минеральной матрицы.

В качестве гидрофобизирующих компаундов также широко используются кремнийорганические соединения. В данном случае, в процессе гидрофобизации имеет место не только диффузионные, но и хемосорбционные процессы, где кремнийорганический модификатор образует химическую связь со свободным кальцием (продуктом гидратации цементных и силикатных систем), создавая тонкую газопроницаемую пленку на поверхности и в объеме изделий [6–9].

Таким образом, необходимо отметить, что придание гидрофобной защиты материалам и конструкций позволяет повысить такие эксплуатационные характеристики как стойкость к сульфатной коррозии, эрозионным процессам, водостойкости, повышению показателей морозостойкости и улучшение других характеристик,

которые в свою очередь являются индикатором к повышению срока службы материалов общего, дорожно-строительного, специального, а также архитектурно-декоративного назначения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ: в рамках государственного задания; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

#### **Список литературы:**

1. Сураев В. Гидрофобизация. Теория и практика // Технологии строительства. 2002. № 1. С. 120–121.
2. Кунцевич О.В., Миссюль Н.В. Поверхностная гидрофобизация цементного камня полимерными кремнийорганическими соединениями. Роль структурной механики в повышении прочности и подвижности транспортных сооружений. Санкт-Петербург: Сб.тр. Изд. ПГУПС, 1995. С. 50–54.
3. Кожухова М.И., Строкова В.В., Соболев К.Г. Особенности гидрофобизации мелкозернистых бетонных поверхностей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 33–35.
4. Сутягин В.М., Кукурина О.С., Бондалетов В.Г. Основные свойства полимеров: учебное пособие. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 96 с.
5. Кулезнев В.Н., Шершнев В.А. Химия и физика полимеров: Учеб. для хим.-технол. вузов. М.: Высш. шк., 1988. 312 с.
6. Self-assembling particle-siloxane coatings for superhydrophobic concrete / I Flores-Vivian, V Hejazi, MI Kozhukhova, M Nosonovsky, K Sobolev // ACS applied materials & interfaces, 5 (24), 2013, pp.13284–13294.
7. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. Изд-е 2-е перераб. и дополн. М., 1998. 768 с.
8. Алентьев А.А., Клетченков А.А., Пашенко И.И. Кремний органические гидрофобизаторы. Киев: Государственное издательство технической литературы УССР, 1962. 285 с.
9. Кожухова М.И., Флорес-Вивиан И., Рао С., Строкова В.В., Соболев К.Г. Комплексное силоксановое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 26–30.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОСТОЙКИХ ДОЛГОВЕЧНЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ**

**Коровяков В.Ф., д-р техн. наук, проф.**

*ГУП «Научно-исследовательский институт московского  
строительства «НИИМосстрой»*

Композиционные материалы создаются с определенными целями, которые достигаются приданием соответствующих свойств этим материалам.

При разработке технологии новых вяжущих и бетонов выбор и подготовка материала, проектирование состава в соответствии с требованиями, приготовление смеси и формование изделий, первоначальная выдержка и схватывание, последующее твердение, затем эксплуатация и утилизация после выполнения своих функций – все эти этапы объединяются в единый комплекс, называемый жизненный цикл, в котором все этапы взаимосвязаны, а каждый этап имеет свое особое значение. Для достижения большей эффективности вяжущих нового поколения необходим переход на более сложные многокомпонентные комплексы, что позволяет получить высококачественные строительные бетоны самого различного назначения с ранее недостижимыми свойствами и разнообразной структурой.

Теоретическими предпосылками синтеза прочности, плотности и долговечности вяжущих и бетонов нового поколения являются более полное использование энергии портландцемента или других вяжущих веществ, создание оптимальной микроструктуры материала, уменьшение макропористости и повышение трещиностойкости, упрочнение контактных зон цементного камня и заполнителей за счет направленного применения эффективных химических модификаторов и высококачественного сырья для твердой фазы, подбора оптимальной структуры твердой фазы на основе соответствующих технологических решений, использования высокодисперсных кремнеземсодержащих материалов с аномальной гидравлической активностью и новых добавок с регулируемой энергией расширения.

В основу создания технологии композиционных вяжущих положено активное управление технологическими переделами за счет применения комплексов химических модификаторов и активных минеральных компонентов, оптимизации составов, механохимической активации и интенсификации технологических процессов.

В последние годы всё большее применение в бетонах и растворах находят ультрадисперсные минеральные добавки. Введение их в растворные и бетонные смеси способствует не только снижению усадки, объёмных деформаций, расслаиваемости, повышению жизнеспособности смеси, но и оказывает другое положительное влияние, связанное с их способностью возбуждать интенсивные капиллярные явления. Они адсорбируют воду из цементного теста, в последующем отдавая ее по мере затвердевания и высыхания раствора, обеспечивая тем самым оптимальный режим гидратации клинкерных минералов и кристаллизации гидратных новообразований.

Модифицирование различных вяжущих введением дисперсных минеральных наполнителей также способствует улучшению их свойств. Эффективность введения минерального наполнителя тем выше, чем выше его поверхностная энергия.

Повышения поверхностной энергии можно добиться совместным помолом наполнителя с ПАВ, т.е. механохимической активацией наполнителя. Это повышает активность минерального наполнителя и однородность его свойств. Присутствие ПАВ на поверхности частиц вяжущего и наполнителя предотвращает агрегацию высокодисперсных частиц и обеспечивает стабилизацию их свойств. Наполнитель, в свою очередь, становится носителем ПАВ. Таким образом, использование основных принципов физико-химической механики привело к созданию органоминеральных добавок (ОМД) для строительных растворов и бетонов, что особенно важно при создании многокомпонентных вяжущих, в том числе на основе гипсовых вяжущих [1-3].

Структура и свойства композиционных (многокомпонентных) вяжущих и материалов зависят в первую очередь от соотношения между компонентами и их свойств. Большую роль играет дисперсность компонентов и вяжущих.

Для каждого вяжущего существует оптимальное значение тонкости помола, при котором достигается максимальная прочность. Дальнейшее увеличение тонкости помола не только не способствует повышению прочности, но может привести к ее снижению. Это явление многими авторами объясняется увеличением водопотребности вяжущих вследствие значительного увеличения удельной поверхности зерен. Для устранения этого явления необходимо исключить флокуляцию зерен цемента, чему способствуют различные добавки ПАВ, обладающие диспергирующими свойствами.

Благодаря адсорбции молекул ПАВ на поверхности твердых частиц происходит ее лиофилизация и увеличивается средство межфазного

слоя с дисперсионной (водной) средой. В результате происходит более активное смачивание частиц водой, что может способствовать ускорению гидратации. Если размер молекул ПАВ соизмерим с размером пор, микротрещин на поверхности частиц или капилляров в агрегатах, то согласно эффекту Ребиндера, молекулы ПАВ, адсорбируясь на внутренних микроповерхностях, вызывают ускорение диспергирования и пептизации агрегатов при механическом воздействии и способствуют образованию высокодисперсной фракции, устойчивой к седиментации.

Создание материалов с заданными свойствами является очень важной проблемой материаловедения, которая решается только путем разработки технологий в комплексе с физико-химическими процессами и физико-механическими воздействиями.

Формирование структуры гипсоцементных и гипсоцементно-кремнеземистых вяжущих имеет свои особенности и по разному трактуются исследователями [4-6].

На основании анализа достижений физико-химической механики [5 и др.] и исследований гипсоцементно-кремнеземистых композиций принята следующая научная концепция создания водостойких композиционных гипсовых вяжущих (КГВ).

КГВ представляет собой гомогенную смесь дисперсных компонентов, один из которых, должен выполнять функцию регулируемого раннего схватывания и быстрого набора прочности (это может быть одна или сочетание модификаций гипсовых вяжущих). Другой или другие – обеспечивать гидравличность вяжущего и дальнейший рост прочности за счет формирования нового типа структуры, способствуя повышению долговечности и других свойств образующегося камня (в их качестве могут использоваться активированные портландцемент или известь совместно с кремнеземистыми минеральными компонентами оптимальной дисперсности). Третьи – модифицирующие добавки – предназначены для резкого снижения водопотребности вяжущего и диспергирования образующихся флоккул зерен вяжущего, способствуя его более полной и быстрой гидратации, обеспечения сближения дислокаций, увеличивая тем самым количество контактов между частицами, регулирования других свойств в нужном направлении (для этого могут использоваться пластифицирующие добавки, регуляторы схватывания и твердения, полимерные добавки).

Модифицирующие добавки предназначены для резкого снижения водопотребности вяжущего и диспергирования образующихся флоккул

зерен, способствуя его более полной и быстрой гидратации, обеспечения сближения дислокаций, увеличивая тем самым количество контактов между частицами, регулирования других свойств в нужном направлении (для этого могут использоваться пластифицирующие добавки, регуляторы схватывания и твердения, полимерные и др. добавки).

Исходя из этой концепции, для создания более высокой плотности камня нужно, чтобы зерновой состав вводимых в ГВ модифицирующих минеральных компонентов характеризовался наличием зерен различной дисперсности, в том числе, и зерен с дисперсностью выше, чем дисперсность исходного ГВ, а зерновой состав КГВ должен характеризоваться непрерывной гранулометрией. Поэтому предложено предварительно готовить органоминеральный модификатор (ОММ) путем механохимической активации цемента или извести в сочетании с кремнеземистыми компонентами различной активности, в том числе, являющихся отходами различных производств, в присутствии пластифицирующих и других модифицирующих добавок. Это способствует в дальнейшем диспергированию частиц вяжущего при затворении водой, снижению его водопотребности, приданию новых свойств, повышающих эффективность вяжущих.

Механохимическая активация (МХА) при производстве ОММ способствует повышению реакционной способности трехкальциевого алюмината и других минералов, благодаря чему образование основного количества этtringита происходит в начальный период твердения КГВ, а в дальнейшем, устраняются условия его образования и накопления за счет связывания гидроксида кальция активированным кремнеземом и уменьшения количества алюминатных составляющих за счет ускоренной гидратации портландцемента, что обуславливает повышение прочности и долговечности сформировавшейся структуры затвердевших вяжущих и бетонов на их основе.

Разработанные теоретические положения создания композиционных гипсосодержащих вяжущих и бетонов на их основе были подвергнуты экспериментальным исследованиям. В результате получены композиционные гипсовые вяжущие низкой водопотребности со следующими основными характеристиками, соответственно, на основе гипсовых вяжущих марок Г-4...Г-5 (бета-полугидрата сульфата кальция) и высокопрочного гипсового вяжущего (альфа-полугидрата сульфата кальция): прочность при сжатии – от 15 до 35 и от 30 до 45 МПа, коэффициент размягчения от 0,74 до 0,87 и от 0,77 до 0,88 при водопотребности 27...38 и 24...30%. Разработаны

методы испытания гидравлических композиционных гипсовых вяжущих, необходимые для оценки их свойств.

Получены различные бетоны на основе разработанных вяжущих: тяжелые классы по прочности на сжатие В7,5...В35, мелкозернистые, в том числе золобетон, классов В5...В35 (в зависимости от состава и способа уплотнения), легкие на пористых заполнителях - В2,5...В10 и средней плотности от 700 до 1300 кг/м<sup>3</sup>, опилкобетон – В 2...В5 и средней плотности 600...900 кг/м<sup>3</sup>, пенобетон – В0,5...В3,5 и средней плотности 400...800 кг/м<sup>3</sup>. Следует особо отметить, что морозостойкость бетонов слитной структуры составляет 25 – 150 циклов, ячеистой структуры – 15...50 циклов. Такие свойства полученных бетонов позволяют их применять не только для внутренних конструкций зданий, но и в наружных.

Разработаны технологии стеновых изделий из бетонов, изготавливаемых без тепловой обработки, сухих смесей для штукатурных, отделочных и реставрационных работ, для саморазравнивающихся стяжек под полы, проведена производственная апробация технологий при производстве сухих строительных смесей, самонивелирующихся стяжек полов [9-11], армированных перекрытий (КГВ использовалось вместо портландцемента), стеновых блоков и др.

Практика использования результатов теоретических и лабораторных исследований КГВ в производственных и построечных условиях полностью подтверждают разработанные теоретические положения.

#### **Список литературы:**

1. Баженов Ю.М. Повышение эффективности и экономичности технологии бетона // Бетон и железобетон. 1988. № 8. С.7-9.
2. Особенности технологии и свойств бетонов на основе вяжущих низкой водопотребности // Пром-сть строит.материалов. Сер. 3. Промышленность сборного железобетона. Аналитический обзор. 1992. вып. 2. С. 1-108.
3. Гипс в малоэтажном строительстве / Под общей редакцией А.В. Ферронской. 2008. 240 с.
4. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1980. № 8. С. 61-70.
5. Урьев Л.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. М.: Химия, 1980.
6. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф. Бетоны на многокомпонентных гипсовых вяжущих // В сб. Материалы 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона. Москва, 2001.



## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОГРУНТОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

**Коротаев Д.Н., д-р техн. наук, доц.,  
Голубева Е.А., канд. техн. наук, доц.**

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

Надежность и долговечность эксплуатации автомобильных дорог зависит от качества дорожного строительства и применяемых материалов в конструктивных слоях дорожных одежд. В настоящее время существует большое количество традиционных и передовых технологий строительства, которые приводят к повышению эксплуатационных свойств автомобильных дорог за счет модифицирования дорожных материалов различными добавками. Тем не менее, проблемы преждевременного появления дефектов в конструктивных слоях дорожных одежд являются актуальными и требующими своевременного решения.

Целью настоящей работы является улучшение качества строительства автомобильных дорог на основе причинно-следственной диаграммы и экспериментальных исследований структурообразования дорожных материалов, изготовленных из местных грунтов, модифицированных полимерными добавками отечественного и импортного производства.

При рассмотрении вопросов преждевременных «отказов» дорожных одежд (под «отказом» понимаются дефекты конструктивных слоев: трещины, снижение прочностных характеристик) и изучения взаимосвязей между данным результатом и причинами построена причинно-следственная диаграмма Исикавы (рис. 1). Диаграмма Исикавы (рыбий скелет) – это широко распространенный инструмент управления качеством процессов, который предназначен для идентификации возможных причин рассматриваемой проблемы, выделения самых существенных и последующего эффективного решения проблемы [1].

Главные причины, влияющие на окончательный результат, указанный на диаграмме: материалы, методы (технология), внешняя среда, персонал и применяемое оборудование.

Категория «Материалы» обусловлена качеством применяемых материалов и включает химический состав и структуру. Под методами понимают причины, связанные с несовершенством технологий

строительства оснований и покрытий дорожных одежд и контролем их параметров. Внешняя среда – это категория, в которой учитываются причины, обусловленные влиянием окружающей среды (климатические факторы, характер местности и т.п.). Категория «Персонал» включает причины, связанные с квалификацией, опытом и мотивацией непосредственных исполнителей работ. В качестве оборудования рассматриваются используемые в технологическом процессе строительства дорог машины, механизмы, инструмент и приспособления.

В результате анализа диаграммы и работ в области дорожного строительства установлено, что одним из основных факторов, влияющими на качество и эксплуатационные свойства дорожного покрытия, является применяемый материал, качество которого зависит, в первую очередь, от химического состава и процессов структурообразования.

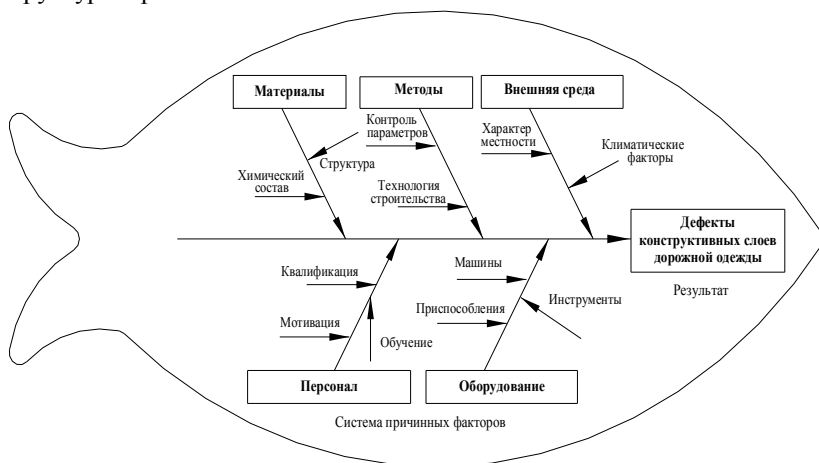


Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы «причина-результат»

Объектом исследования являлся дорожный цементогрунт, модифицированный различными полимерными добавками.

Механизмы формирования структуры полимерцементного бетона хорошо изучены [2] и основываются на том, что гидратация минеральных вяжущих сопровождается рядом сложных физико-химических и физико-механических превращений. Кинетика этих процессов во многом определяет структурно-механические свойства,

плотность и прочность твердеющего цементного камня. Все виды бетонов, в том числе грунтобетонов, можно рассматривать как конгломеративные материалы, т.е. системы, состоящие из разнородно-структурных элементов, объединенных соответствующими связями. Соотношение структурных элементов и их свойства, а также характер связей между ними определяют качественные отличия одного вида полимербетона от другого.

Для изучения влияния полимерных добавок на физико-механические свойства дорожного цементогрунта были проведены лабораторные исследования.

В экспериментах в качестве грунта использовался песок с модулем крупности 1,51, содержащий пылевидных и глинистых частиц 3%, насыпной плотностью – 1,56 г/см<sup>3</sup> и с коэффициентом фильтрации – 0,65 м/сут. В качестве вяжущего использовали портландцемент Искитимского завода ПЦ 400-Д20. Для проведения сравнительного анализа в дорожный цементогрунт вводились различные полимерные добавки «Ренолит» – зарубежного производства, «Латекс» – отечественного производства, марки СКС-65ГП по ГОСТ 10564-75, а также добавка собственного производства «УЦГРос» – упрочнитель цементогрунтовой смеси Российский, в состав которого входил Латекс-СКС-65 ГП и целлюлоза, которую предварительно измельчили двумя разными способами: в дезинтеграторе и в планетарной мельнице.

Образцы полученных полимерных добавок исследовали с помощью электронного микроскопа. Структура исследованных полимерных добавок приведена на рис.2.

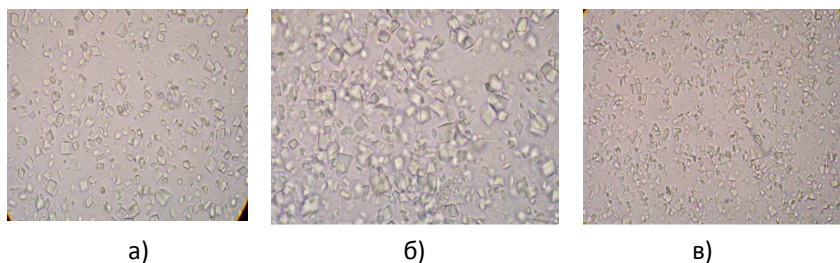


Рисунок 2 – Сравнение структуры латексов, содержащих целлюлозу после различных способов модификации: а – образец № 1 («Ренолит»); б – образец №2 (обработка в дезинтеграторе); в – образец № 3 (обработка в планетарной мельнице)

На рис.2 видно, что целлюлоза, обработанная в планетарной мельнице, имеет более мелкие частицы по сравнению с другими способами обработки. Структура образца №3 более однородна. Известно, что деструкция макромолекул и образование различных нарушений в структуре приводят к изменению свойств полимера, в данном случае целлюлозы. В результате обработки целлюлозы в планетарной мельнице был получен высокодисперсный порошок, имеющий аморфную структуру.

Полученные полимерные добавки вводили в смесь песка и цемента. Формовали образцы-балочки размером 40х40х160 мм. В табл. 1 приведены результаты испытания образцов-балочек размером 40х40х160 мм. Балочки формовались из смесей оптимальной влажности под нагрузкой 15 МПа в течение 3 мин.

Таблица 1 – Физико-механические свойства образцов из исследуемых смесей

№	Состав компонентов смеси, %					Прочность образцов в возрасте 28-ми сут. твердения, МПа		$K_{жст} = R_{сж}/R_{изг}$	$K_{мрз}$ , при $T=20C$	Прим.
	Гр	Ц	Полим. доб.		Рено-лит	$R_{сж}$	$R_{изг}$			
			лат	цел						
1	90	10	-	-	-	3,3	0,7	4,71	0,68	-
2	90	10	5	-	-	3,6	0,9	4,0	0,70	-
3	90	10	5	20	-	3,7	1,2	3,08	0,71	-
4	90	10	5	25	-	3,9	1,6	2,44	0,73	-
5	90	10	5	30	-	4,1	1,8	2,28	0,74	-
6	90	10	5	20	-	4,4	1,6	2,75	0,75	Мех. актив
7	90	10	5	25	-	4,8	2,3	2,1	0,81	Мех. актив
8	90	10	5	30	-	4,8	2,6	1,84	0,87	Мех. актив
9	90	10	5	35	-	4,1	1,8	2,27	0,77	Мех. актив
10	90	10	-	-	5	5,1	2,5	2,04	0,78	-

Результаты, приведённые в табл. 1, показывают следующее. Введение в цементогрунт полимерной добавки, состоящей из латекса и частиц целлюлозы, способствует повышению прочности материала, как при сжатии, так и при изгибе. При этом наблюдается интенсивное уменьшение коэффициента жёсткости, что характеризует снижение усадочного трещинообразования. Поввысилась также и водостойкость материала. Однако наблюдаемое увеличение физико-механических свойств у данных смесей всё же намного ниже по сравнению с образцами из смеси № 9 (см. табл. 1) т.е. с добавкой «Ренолит».

В свою очередь физико-механические свойства цементогрунта с добавкой «Ренолит» и полимерной добавкой, включающей модифицированную механической активацией целлюлозу между собой идентичны (см. табл.1, смеси № 8, № 9). В процессе структурообразования полимерцементогрунтовой смеси испаряющаяся вода с полимерных частиц способствовала зарастанию пор и образованию «тромб», которые препятствуют дальнейшему движению воды в материале. Скорость высыхания смеси заметно снижается, т.е. тонкодисперсный наполнитель из механоактивированной целлюлозы позволяет задержать влагу в цементогрунтовой смеси, а это способствует мягкому протеканию усадочных процессов в дорожном полимерцементогрунте. Наблюдаемые эффекты можно объяснить образованием в структуре цементогрунта разветвлённого арматурного каркаса из целлюлозы благодаря действию полимерной добавки на основе латекса и целлюлозы.

С помощью сканирующего электронного микроскопа были выполнены снимки структур цементогрунта с добавками «Ренолит» и добавкой «УЦГСРос», которые приведены соответственно на рис. 3 и рис. 4.

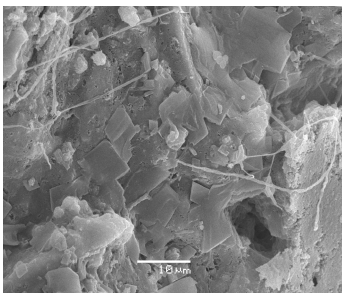


Рисунок 3 – Электронная фотография структуры с добавкой «Ренолит»

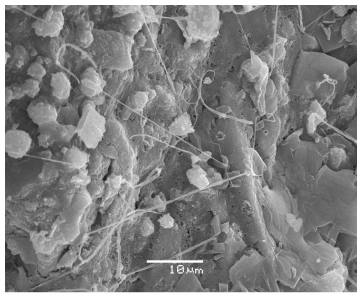


Рисунок 4 – Электронная фотография структуры с добавкой «УЦГСРос»

Из приведённых снимков видно, что механизм действия добавок идентичен, наблюдается образование полимерных армирующих нитей, пронизывающих структуру цементогрунтового камня. Причём, степень армирования цементного камня выше в случае применения добавки «УЦГСРос». Полимерные нити тоньше, а сетка нитей больше. Этим объясняется несколько более высокая прочность на растяжение при изгибе у цементогрунта с добавкой «УЦГСРос» рис. 5.

Механизм структурообразования дорожного цементогрунта, модифицированного полимерной добавкой «УЦГСРос», можно представить следующим образом. На первом этапе структурообразования цемент частично гидратируется и игольчатые кристаллики цемента врастают в сгустки макромолекул. Полимерная добавка «УЦГСРос» коагулируется. Происходит рост новообразований кристаллов цемента с частицами полимера. Возникает жесткий пространственный каркас, укрепленный нитями полимера.

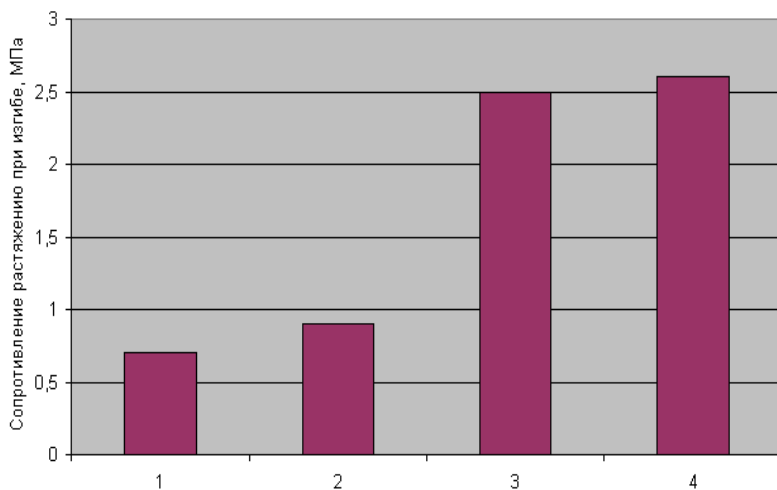


Рисунок 5 – Прочность образцов на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток: 1 – дорожный цементогрунт; 2 – дорожный цементогрунт модифицированный «Латекс»; 3 – дорожный цементогрунт модифицированный «Ренолит»; 4 – дорожный цементогрунт модифицированный «УЦГСРос»

На снимке видно, что сросстки цемента вытянули нити модифицированного полимера в ослабленных точках - «пустотах». Скопившийся в этих точках полимер создал гибкое «шарнирное» соединение в зонах сросшихся кристаллов цемента и грунта на «УЦГСРос». Дорожный цементогрунт стал эластичным и деформативным материалом. Это объясняется тем, что в процессе структурообразования полимерцементогрунта произошло формирование кристаллизационного каркаса (цемент плюс аморфные гидраты) и дополнительного каркаса из полимера, армированного высокоустойчивой растягивающим напряжениям целлюлозой.

#### Список литературы:

1. Логанина В.И., Федосеев А.А. Инструменты качества: учебное пособие. М.: КДУ, 2008. 142 с.
2. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. М.:Стройиздат, 1967. 184 с.

## **ЭФФЕКТИВНАЯ КАМЕННАЯ КЛАДКА ДЛЯ СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНОВ\***

**Куприна А.А., аспирант,  
Мосыпан А.В., канд. техн. наук,  
Потапов В.В.,  
Ряпухин Н.В.**

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

С появлением камня в жизни человека берет свое начало история каменной кладки. Данный прием насчитывает тысячелетнюю историю. Каменные материалы составляют основу строительства. Человек соорудил убежища, гробницы для своих повелителей из природных камней, грандиозные монументальные конструкции – храмы, пирамиды, где за основу брались неотесанные глыбы природного происхождения. Камни неправильной формы накладывались друг на друга, образуя прочный монолит за счет сил сухого трения. От кладки «на сухо» был совершен постепенный переход к кладке на глине. В XVIII-XIX вв для обеспечения монолитности кладки начали применять известковые растворы. Сочетание вышеупомянутых конструктивных элементов кладки позволяло получать мощные, долговечные сооружения.

По мере развития материаловедения камни приобрели правильную в плане форму, а их поверхность стала менее шероховатой, что значительно повлияло на прочность кладки в целом. Учитывая это обстоятельство, на сегодняшний день проблемой является формирование единого композиционного материала с высокой адгезией отдельных слоев друг к другу [1]. Это решается применением высокоэффективных кладочных растворных смесей с хорошей проникающей способностью в каменный материал, что увеличит прочность на срез [2, 3].

Анализ последствий землетрясений [4] показывает – разрушение каменных конструкций происходит большей частью по границе стеновой материал-шов, что характеризуется слабой адгезией цементно-песчаного раствора к основанию. Таким образом, необходимо работать в направлении формирования прочного контактного слоя элементов кладки для эффективного использования ее в условиях динамических и сейсмических воздействий [5].

В соответствии с СНиП II-22-81 прочность сцепления зависит от вида и материала кладочного элемента, а также прочности раствора, а,



согласно требованиям Еврокода 6 на прочность сцепления влияет вид применяемого раствора и материал стенового материала. Прочность сцепления является многофакторным параметром, на ее величину влияет:

- адсорбционные свойства камня;
- состояние поверхности стенового материала (открытая пористость, ее структура и т.д.);
- вид применяемого стенового материала;
- степень удобоукладываемости раствора (подвижность, консистенция);
- водоудерживающая способность;
- однородность массы раствора [6];

В рамках данной статьи рассматривается влияние величины макро- и микрошероховатости поверхности стенового материала на прочность сцепления структурных элементов кладки. Данная характеристика в значительной степени влияет на наступление предельного состояния при сейсмических нагрузках [7]. В сравнение с другими конструкциями, как отмечалось ранее, каменная кладка обладает более низкой сейсмостойкостью. Основная причина – низкий показатель прочности сцепления между раствором и кирпичом в кладке.

Сегодня появляется перспектива совершенствования составов кладочных растворов с точки зрения исследования влияния макро- и микрошероховатости поверхности стенового материала на величину силы сцепления раствора с основанием [8,9]. С. В. Поляков, исследуя вопрос влияния шероховатости камня, установил, что сцепление в кладке из керамического кирпича в 2 раза выше, чем в кладке из силикатного кирпича с этими же растворами. Раствор, входящий во впадины камня – макро- и микрошероховатости, придает дополнительную прочность нормальному сцеплению.

Грубодисперсные композиционные кладочные растворы исключают возможность полного соприкосновения с камнем, в силу шероховатости последнего и наличия крупных частиц в растворе, что и приводит к уменьшению прочности нормального и касательного сцепления.

Подбор гранулометрического состава раствора с учетом параметров шероховатости поверхности основания, способствует заполнению пор и неравномерностей камней частицами вяжущего, обеспечивая образование надежного шва. Грубодисперсные частицы в составе раствора создают препятствие к проникновению частиц

вяжущего в поры и каверны камней, что делает невозможным образование прочной зоны контакта (рис.1).

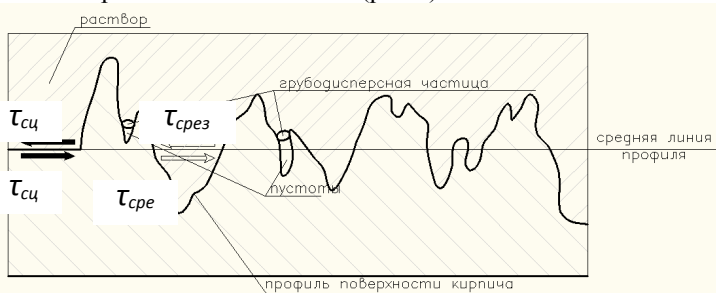


Рисунок 1 – Схема влияния заполнения пор и пустот кирпича раствором

Для индустриализации строительства из кирпича в сейсмоактивных районах предложены [10] инновационные принципы проектирования составов отдельных структурных элементов каменной кладки, повышающих адгезию и прочность при срезе [11-14]. Разработана технология получения конструкционно-теплоизоляционных силикатных композитов строительного назначения, на основе использования активных гранулированных заполнителей. Создание силикатного материала с развитой внешней поверхностью контакта и раствора с высокими адгезионными характеристиками на основе ТМЦ-50, глинистых пород различного генезиса и фибры позволило увеличить прочность на срез кладки в 25-30 раз. Экспериментальные данные показали, что разрушение кладки происходит не по границе раздела структурных элементов, а по самому композиту. Совместная работа разработанных компонентов системы обеспечит высокую сейсмостойкость кладки.

Резюмируя вышеизложенное, для повышения сейсмостойкости каменной кладки возможно как создавать новые стеновые материалы, так и делать рациональный подбор гранулометрического и минерального состава вяжущего, с учетом шероховатости и свойств поверхности стеновых материалов, обеспечивая «омоноличивания» участков контактной зоны раствора с основанием.

*\* Статья подготовлена в рамках выполнения базовой части гос. задания Минобрнауки России г/б НИР №1978 от 31.01.2014 г.*

### Список литературы:

1. Беленцов Ю.А. Моделирование работы композиционных анизотропных материалов в условиях сейсмических воздействий // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 66–68.
2. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
3. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7. С. 96.
4. Махатадзе Л.Н. Повреждения зданий при Ачигварском землетрясении 5-го июня 1958 года // Труды Института строительной механики и сейсмостойкости АН ГССР. 1963. С. 77-82
5. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
6. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7(25). С. 3-10.
7. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25–27.
8. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
9. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials / Lesovik V. S., Zagorodnuk L. H., Shkarin A. V., Belikov D. A., Kuprina A. A // World Applied Sciences Journal. – 2013. – № 24 (11). [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://idosi.org/wasj/wasj24%2811%2913/15.pdf> (дата обращения: 04.06.2014).
10. Лесовик В.С. Мосьпан А.В, Беленцов Ю.А. Силикатные изделия на гранулированных заполнителях для сейсмостойкого строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 62-65.
11. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
12. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковордского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
13. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
14. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.

# МЕТАЛЛОБЕТОНЫ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С УЛУЧШЕННОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Лаптев Г.А., канд. техн. наук, проф.

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева*

Известно, что к материалам, используемым для изготовления изделий и конструкций, работающих в условиях воздействия высоких температур предъявляются специальные требования в части тепло- и температуропроводности. Для работы в таких эксплуатационных условиях перспективными представляются бетоны на металлических связующих и гранулированных заполнителях [1,2]. Для установления показателей температуропроводности нами проведены испытания металлобетонов на чугунной матрице.

Испытания проводились на образцах размерами 40x40x160 мм по схеме, показанной на рис. 1.

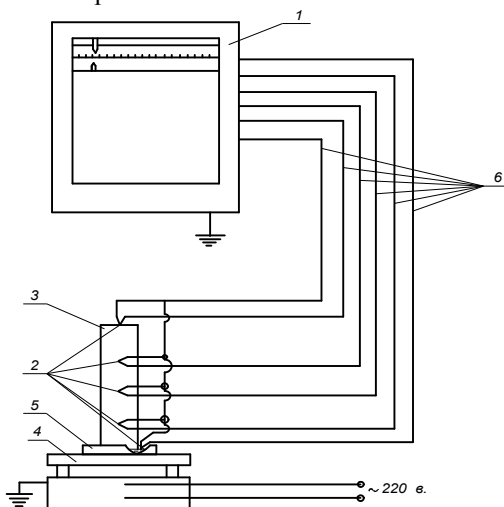


Рисунок 1 – Схема температурных испытаний металлобетонных образцов: 1 – потенциометр КСП-4; 2 – хромель-алюмелевые термопары; 3 – металлобетонный образец; 4 – электронагреватель; 5 – ванна с расплавом олова; 6 – многожильный кабель

В качестве регистрирующего прибора использован шестиканальный самопишущий электронный потенциометр типа КСП-4 (ГОСТ 7164-71) (1). Датчиками температуры служили пять хромель-алюмелевых термопар (2), которые закреплялись на равном расстоянии друг от друга (40 мм) по длине на поверхности образца (3). Источником тепла служил стандартный бытовой электронагреватель (ГОСТ 306-69) (4) с температурным интервалом 20 – 450°C и мощностью 600 Вт. Для уменьшения искажений в показаниях первой от нагревателя термопары и обеспечения надежного теплового контакта всей торцевой поверхности образца с нагревателем использовалась ванна с расплавом олова (5). Термопары были соединены с потенциометром, экранированным многожильным кабелем (6).

Полученные результаты испытаний приведены на графиках (рис. 2 – 6.). На рис. 2 представлена наиболее характерная диаграмма изменения температуры поверхности образца в координатах “температура – время”.

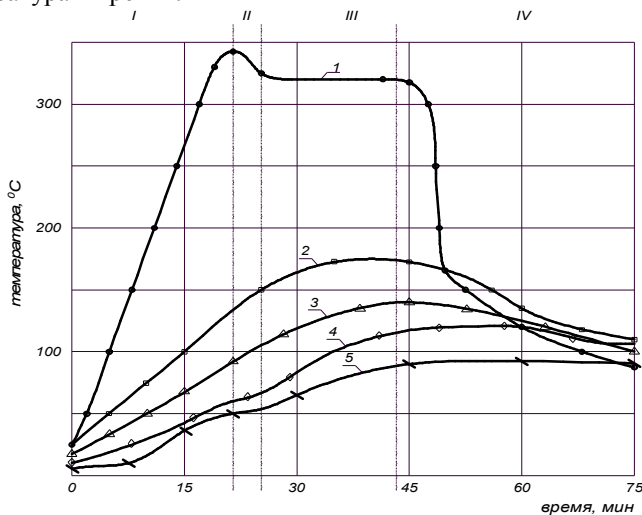


Рисунок 2 – Диаграмма изменения температуры поверхности метонных образцов с матрицей из серого чугуна на термопарах, установленных согласно рис. 3.10. 1 – график показаний термопары I; 2 – то же для II; 3 – то же для III; 4 – то же для IV; 5 – то же для V

Кривые (1 – 5) на графике соответствуют показаниям термопар (I – V) и отображают процесс изменения температуры поверхности образца в течение всего цикла испытания: от начала прогрева до достижения

образцом при охлаждении температур порядка 100°C. Образцы охлаждались равномерно и одновременно, т.к. показания термопар во всех точках практически совпадают (разница в показаниях составляет 3 – 5°C). Каждый цикл испытаний был разделен на три этапа, что нашло свое отражение и на графиках: участок I соответствует этапу равномерного повышения температуры нагревателя; участок III – этапу поддержания температуры на одном уровне; участок IV – этапу охлаждения образца на воздухе (участок II – переходный этап стабилизации температурного режима нагревателя). Значительный интерес представляет рассмотрение диаграммы по участкам:

I участок. На данном этапе эксперимента температура нагревателя возрастала с практически постоянной и сравнительно высокой скоростью, до 16°C/мин (кривая 1). В то же время скорость подъема температуры на следующих участках образца гораздо ниже, особенно – на первом, что говорит о довольно низкой теплопроводности метона, главным образом в районе нагрева; так, в конце участка разность показаний термопар I и II достигает  $(340 - 130) = 210^\circ\text{C}$ . Разность показаний остальных термопар меньше, причем каждая следующая меньше предыдущей, что наглядно показывают расстояния между кривыми 2–3, 3–4, 4–5. Общая разность температур между термопарами I и V достигает  $(340^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) = 290^\circ\text{C}$ .

Для выявления закономерности распространения температуры по длине образца на данном этапе циклов испытаний был построен график температурных полей по длине образца в фиксированные промежутки времени (рис.3).

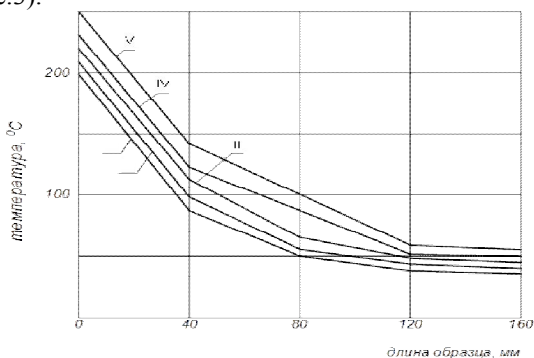


Рисунок 3 – Изменение температуры по длине образца во времени в местах установки термопар (I, II, III, IV, V – номера термопар) при возрастании температуры нагревателя ( $\tau = 2,1$  мин.)

В координатах «температура-расстояние от источника нагрева (длина образца)» были построены кривые, все точки которых были зафиксированы практически одновременно (температурные изохроны). Интервал времени между кривыми составляет 2,1 мин. Форма кривых (особенно – I, II, III) приближается к экспоненциальной. Кроме того, на участке 1 графика (рис. 2) отчетливо прослеживается большая инерционность в распространении температуры; особенно – на кривой V, достигающая в начале участка 8 мин.

Участок II из рассмотрения исключается ввиду его нехарактерности (в некоторых циклах он имел плавный переход, без пика) и кратковременности (не более 2 – 3 мин.). На участке III также наблюдается резкий спад температуры между термопарами I и II (170°C в начале и 145°C в конце участка). Общая разность температур (между термопарами I и V) составляет соответственно 275°C и 230°C. Как и для участка I, был построен изохронный график температурных полей по длине образца (рис. 4), который подтвердил экспоненциальный характер распространения температуры в метоне на основе чугуна.

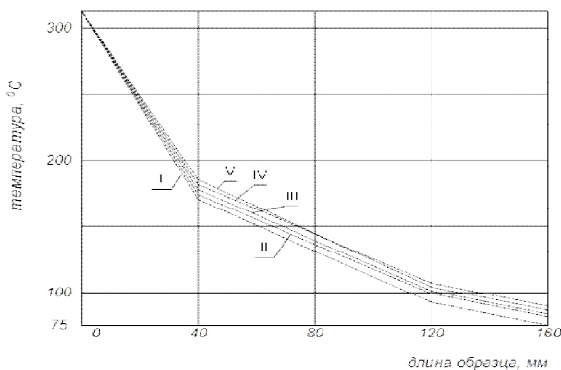


Рисунок 4 – Изменение температуры по длине образца во времени в местах установки термопар (I, II, III, IV, V – номера термопар) при постоянной температуре нагревателя

Из графиков видно, что инерционность в распространении температуры также подтверждается: максимум показаний термопары II достигается лишь к концу участка; а более удаленных термопар III, IV, V – на участке IV.

Участок IV диаграммы соответствует этапам охлаждения образца на воздухе и характеризуется резким снижением показаний термопары I в начале участка и более пологим после приближения к показаниям остальных термопар. Скорость охлаждения на остальных участках образца – более равномерная и к концу участка показания всех термопар почти выравниваются. Изохронные поля температур (график на рис. 5) также имеют сходящуюся форму.

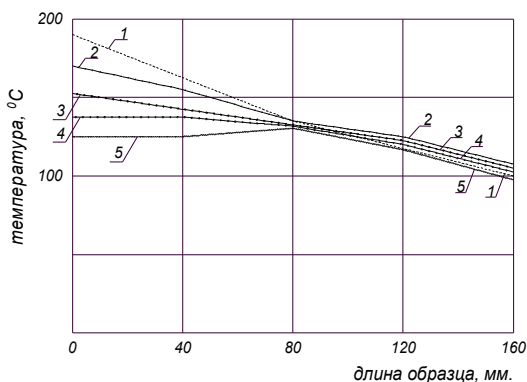


Рисунок 5 – Изменение температуры по длине образца во времени в местах установки термопар (I, II, III, IV, V – номера термопар) при снижении температуры нагревателя

Для получения сравнительных данных температуропроводности чугунных метонов были проведены температурные испытания на образцах таких же размеров с другими материалами – метона с матрицей из АЛ-2, а также ненаполненных материалов.

На основе полученных данных была вычислена скорость распространения температуры в испытуемых образцах ( $\Delta T/\Delta t$ ). Полученные результаты отражены на графике (рис. 6).



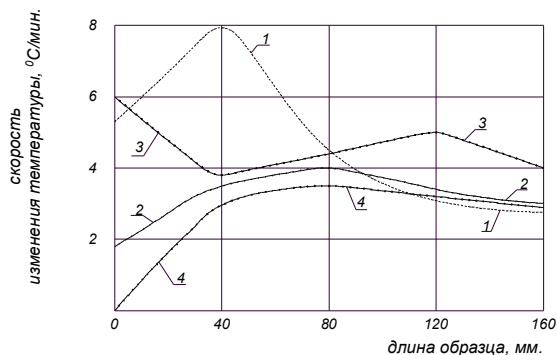


Рисунок 6 – Скорость изменения температуры по длине в образцах из различных материалов: 1 – метон на чугунной матрице; 2 – чугун СЧ-20; 3 – сплав АЛ2; 4 – метон с матрицей из сплава АЛ2.

Из графиков видно, что скорость распространения температуры в метоне на основе чугуна, в отличие от других материалов, носит спадающий характер при удалении от источника нагрева (кривая 1).

#### Список литературы.

1. Соломатов В.И., Погапов Ю.Б., Люпаев Б.М., Лаптев Г.А. [и др.] Метон – новый строительный материал // Строительные материалы и конструкции. 1980. № 2. С. 17.
2. Лаптев Г.А. Металлобетоны (Структурообразование, технология, свойства): монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2011. 144 с.

## ЗАВОДСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОБЕТОНОВ

Лаптев Г.А., канд. техн. наук, проф.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Покрытия полов в цехах производственных предприятий, как правило, эксплуатируются в тяжелых условиях. Они воспринимают значительные статические и ударные нагрузки, к ним предъявляются повышенные требования в части износо- и коррозионной стойкости. Традиционные строительные материалы в недостаточной мере отвечают указанным требованиям. Они оказываются либо металлоемкими и дорогостоящими, либо долговечными.

На Саранском приборостроительном заводе было изготовлено несколько партий половой плитки из металлобетона. К металлобетонам (метонам) относят композитные материалы, составленные на металлических связующих и гранулированных заполнителях [1,2]. Изготовление плиток осуществлялось с применением машины литья, разработанной в Мордовском госуниверситете с применением машины литья марки 71107 с усилием запирания пресс-формы 160 тс, удельным давлением 40-197 МПа и специальной, разработанной в лаборатории композитов Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, пресс-формы, имеющей загрузочное отверстие для заполнителя и перекрывающего его клина (рис. 1).

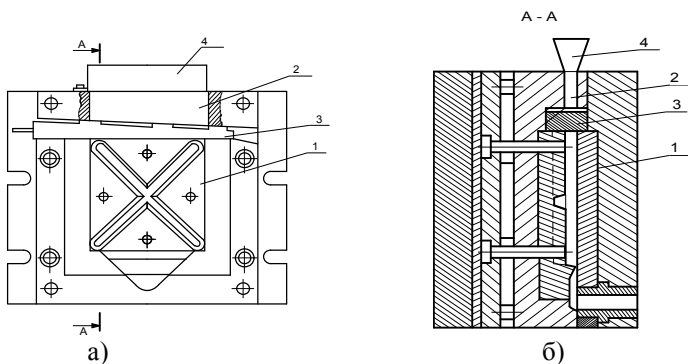


Рисунок 1 – а) Конструкция пресс-формы: 1 – рабочая полость; 2 – загрузочное отверстие; 3 – запирающий клин; 4 – направляющая воронка б) Сечение А-А

Технология изготовления плиток заключалась в следующем. После установки пресс-формы и регулировки машины пресс-форму прогревали путем двух-трех запрессовок чистого металла (без заполнителя) с выдержкой после каждой запрессовки в течение 2-3 минут. В прогретую пресс-форму через загрузочное отверстие в верхней ее части подавался заполнитель, после чего отверстие перекрывалось клином. Дальнейшие операции те же, что и при обычном литье под давлением: мерным ковшом металл заливался в камеру прессования, подавалось давление, и металл запрессовывался в пресс-форму. По окончании запрессовки пресс-форма раскрывалась, и плитка извлекалась из полости при помощи толкателей. После очистки и смазки пресс-формы рабочий цикл повторялся. В среднем на изготовление одного изделия затрачивалась 1 мин., т.е. приблизительно столько же, сколько и на обычные отливки с вкладышами, получаемые литьем под давлением.

Были изготовлены плиты на основе различных материалов с размерами 200×200×15 мм с ребрами жесткости по диагоналям трапецидальной формы с основаниями 20 и 10 мм, и высотой 15 мм следующих составов:

1) из полимербетона состава, в % по объему: эпоксидная смола марки ЭД-20 – 14,9, полиэтиленполиамин -1.64, бутанол – 1,49, маршалит – 14,9, кварцевый песок – 22,35, щебень диабазовый (фракции 7–5 мм) – 44,72;

2) из метона состава, в % по объему: АЛ 2 – 48, щебень базальтовый (фракции 10–7, 7–5 мм), обработанный 3%-ным раствором НЗРО<sub>4</sub> – 52;

3) из алюминиевого сплава АЛ 2;

4) из метона состава, в % по объему: чугун серый (СЧ-20) – 40, фарфоровые шарики (диаметром 6 мм) – 60;

5) из метона состава, (в % по объему): чугун серый марки СЧ-20 – 40, фарфоровые шарики (диаметром 10 мм) – 60;

6) из чугуна марки СЧ-20.

Путем испытания на изгиб были определены прочностные и деформативные свойства плит. Результаты испытания плит представлены на рис. 2.

Из результатов видно, что нагрузка разрушения метонных плит на основе алюминиевых сплавов в 1,4 раза меньше, при этом модуль упругости в 1,2 раза больше по сравнению с плитами из алюминиевого сплава. Нагрузка разрушения у плит на основе чугуна в 2,2 раза выше, чем у плит с заполнителем из керамических, фарфоровых шариков

диаметром 6 мм и в 4,4 раза выше плит с заполнителем диаметром 10 мм. Модуль упругости у металлобетонных плит с заполнителем в 1,25 раза выше по сравнению с чугунными плитами. При этом участка текучести у плит на основе серого чугуна не наблюдается.

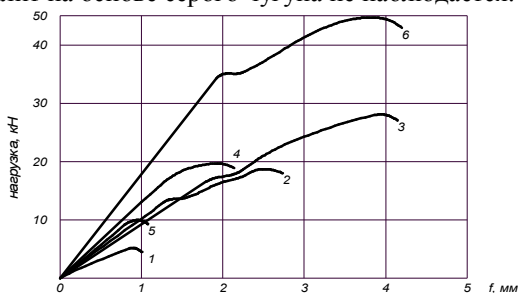


Рисунок 2 – Зависимость прогибов центра плит от нагрузки

Технология изготовления покрытий полов производственных помещений предусматривает укладку металлобетонных плит на цементном растворе. Уложенное покрытие отличается от металлического высокой износостойкостью и пониженной скользкостью.

При изготовлении плит были опробованы металло-земляные формы, отличие которых состояло в том, что формообразующая полость (поддон размером  $500 \times 500 \times 30$  мм) изготавливалась из жаропрочного стального листа или чугуна с необходимыми литейными уклонами для извлечения готового изделия (рис. 3).

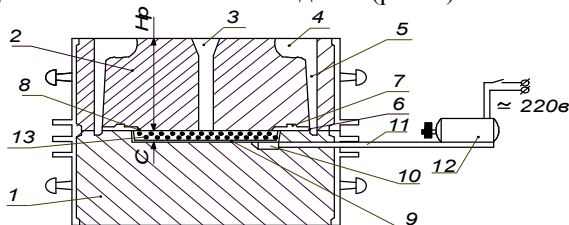


Рисунок 3 – Установка для получения большеформатных метонных плит: 1 – нижняя полуформа; 2 – верхняя полуформа; 3 – выпор; 4 – литниковая чаша; 5 – стояк; 6 – литниковая система; 7 – шлакоуловители; 8 – питатели; 9 – металлическая полуформа; 10 – втулка; 11 – стержень вибратора; 12 – электровибратор; 13 – заполнитель

Наименьшая суммарная площадь сечения питателей определяется по формуле:

$$\sum F_{\Pi} = \frac{Q \cdot 1000}{Z \cdot \mu \cdot \gamma \cdot \sqrt{2gH_p}}, \quad (1)$$

где  $\sum F_{\Pi}$  – суммарная площадь поперечного сечения питателей, см<sup>2</sup>; Q – масса жидкого металла, залитого в форму, кг; g – ускорение силы тяжести, см/с<sup>2</sup>; Z – продолжительность заполнения формы жидким металлом, сек;  $\mu$  – коэффициент сопротивления литниковой системы и формы, принимаемый равным для крупного толстостенного литья 0,7-0,8 и для тонкостенного сложного литья 0,3-0,4;  $H_p$  – средний расчетный напор, см;  $\gamma$  – плотность жидкого металла, г/см<sup>3</sup>.

Средний расчетный напор при заливке форм зависит от расположения отливки в форме и определяется по формуле:

$$H_p = H - 2 \cdot \frac{P}{C}, \quad (2)$$

где H – расстояние от места подвода металла в полость формы до его уровня в литниковой чаше, см; P – расстояние от места уровня подвода металла до самой верхней точки отливки, см; C – высота отливки, см.

По расчету были приняты два питателя диаметром 30 мм с расчетной площадью 14 см<sup>2</sup>. Площади сечения шлакоуловителя и стояка определяем из принятого соотношения:

$$F_{\min} : F_{\text{ш}} : F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,1 : 1,5, \quad (3)$$

где  $F_{\min}$ ,  $F_{\text{ш}}$ ,  $F_{\text{ст}}$  – соответственно площади сечения питателей, шлакоуловителя и стояка.

С учетом соотношения (3)  $F_{\text{ш}} = 14,0 \cdot 1,1 = 15,4$  см<sup>2</sup> и  $F_{\text{ст}} = 14,0 \cdot 1,5 = 21,0$  см<sup>2</sup>.

В комплект модельно-опочной оснастки входили опоки (верхняя и нижняя), подмодельная плита, модели, металлические полуформы по размерам плиты 500 × 500 × 30 мм. Опоки (обычно металлические) служат для удержания формовочной смеси и образования литейной песчаной формы. Подмодельная плита (деревянная или металлическая) служит для установки на них моделей и опок при формовке.

Разработана технология изготовления металлобетонных плит на основе алюминиевого сплава АЛ-2 с наполнителем из фарфоровых гранул диаметром 10 мм.

Изготовление метало-земляных форм состояло из следующих технологических операций:

1. На подмодельную плиту устанавливают металлическую полуформу (поддон), нижнюю опоку и производят формовку.

2. Нижнюю опоку переворачивают и вынимают металлический поддон.

3. На подмодельную плиту устанавливают верхнюю опоку, производят все операции формовки с устройством литников и выпоров.

После формовочных работ производят следующие операции:

1) предварительно обработанный хромофосфатной связкой (состава: 60г хромового ангидрида на 100 г 60-ти процентной ортофосфорной кислоты), наполнитель засыпается в металлический поддон, окрашенный теплоизоляционной краской;

2) поддон с наполнителем устанавливается в термическую печь ЭТ-2 и нагревается до 600°C;

3) после нагрева поддон извлекают из печи и устанавливают в полость нижней опоки (рис. 7.8);

4) через отверстие в нижней опоке пропускают стержень вибратора, который крепится с втулкой, приваренной снизу к поддону;

5) устанавливают верхнюю полуформу;

6) расплавленный металл (АЛ2), нагретый до 720-740°C, заливают в форму двумя ковшами при включенном вибраторе с частотой 50-75 Гц и амплитудой 0,2 мм;

7) после кристаллизации расплава под действием вибрации и остывания изделия до 200-250°C его извлекают из формы, производят обрубку литников, прибылей и зачищают.

#### **Список литературы:**

1. Соломатов В.И., Потапов Ю.Б., Люпаев Б.М., Лаптев Г.А. [и др.] Метон – новый строительный материал // Строительные материалы и конструкции. 1980. № 2. С. 17.
2. Лаптев Г.А. Металлобетоны (Структурообразование, технология, свойства): монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2011. 144 с.

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛ-УНОСА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНАХ**

**Лебедев М.С., канд. техн. наук**

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

**Шиман А.А., исследователь,**

**Коррева Авежо Д.В., зав. лабораторией**

*Корпорация по исследованию и развитию в области  
дорожного строительства и транспорта, Корасфальтос, Колумбия*

**Потапова И.Ю., аспирант,**

**Марков А.Ю., магистрант**

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

Россия – страна огромных пространств и возможностей, обладающая мощным промышленным потенциалом. При такой площади территории необходима высокая развитость транспортной сети и всей внутренней инфраструктуры. Однако как в прошлом, так и в настоящем протяженность и состояние путей сообщения, особенно автомобильных дорог, не способны в полной мере обеспечить потребности государства. Одними из основных причин этого являются отсутствие или ограниченность собственной сырьевой базы строительства во многих регионах, высокая себестоимость строительства, низкое качество применяемых материалов. Реализуемая в настоящее время «Транспортная стратегия», являющаяся одной из приоритетных задач государственной деятельности, призвана модернизировать национальную транспортную сеть согласно современным требованиям для стимулирования социально-экономического развития страны. Одной из первоочередных задач программы является строительство новых и реконструкция существующих объектов (дорог, мостов, тоннелей и др.) с целью адаптации к современным условиям (интенсивности движения, грузонапряженности транспортного потока, нагрузкам на ось и т.д.) и прогнозным оценкам. Для этого дорожная отрасль должна обладать доступной и недорогой сырьевой базой строительных материалов, способной обеспечить потребности строительства.

В настоящее время наиболее распространенным материалом для покрытий автомобильных дорог остается асфальтобетон. Его качество

во многом определяется структурно-механическими характеристиками асфальтовязущего – бинарной системы органического вяжущего (битума) и минерального порошка. Традиционно наиболее применимыми материалами являются нефтяные битумы и минеральные порошки карбонатного состава, однако они имеются не во всех регионах страны, используются в других отраслях промышленности и достаточно дорогостоящи. В связи с этим актуальной является разработка ресурсосберегающих технологий, направленных на применение доступного и дешевого сырья, способного заменить традиционные минеральные составляющие и снизить содержание органического вяжущего. В настоящее время имеется значительный научный задел по применению в качестве наполнителей различных кремнеземсодержащих пород, являющихся наиболее распространенными на нашей планете [1–4]. Представляется важной постановка исследований по повышению эффективности дорожных асфальтовых композиций за счет использования нетрадиционных дисперсных материалов, в том числе техногенного происхождения. К таким альтернативным образованиям относятся золы-уноса тепловых электростанций (ТЭС), представляющие собой высокодисперсные порошки с присущими им особенностями, которые зависят от состава.

Вопросами использования этих отходов производства в асфальтобетонных смесях у нас в стране и за рубежом начали заниматься в 70–80 гг. прошлого века, и к настоящему моменту накоплен достаточно большой опыт их применения [5–9]. Однако при всем этом, имеются весьма противоречивые данные о характере влияния такого дисперсного сырья на свойства получаемых асфальтобетонов.

В частности, при использовании гидравлически активной золы Назаровской ТЭС благодаря развитой поверхности пленка органического вяжущего имеет упорядоченную надмолекулярную структуру и большую площадь межмолекулярного сцепления с поверхностью частиц минерального порошка [10]. Отмечается также, что пленка битума более плотная и меньше подвергается старению, чем на поверхности известняковых зерен. Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов с применением данной золы свидетельствуют о высокой тепло- и водоустойчивости. Кроме того, высокие показатели ударной вязкости в диапазоне температур  $+20^{\circ}\text{C}$  и  $-15^{\circ}\text{C}$  говорят о высокой вязкости и прочности бетона при положительной и отрицательной температурах.



Однако имеются и другие данные относительно применения отходов топливно-энергетической промышленности – зол-уноса и золошлаковых смесей ТЭС в асфальтобетоне. В частности отмечается, что золы, как правило, требуют большего расхода битума, а асфальтобетоны отличаются повышенным водонасыщением, пониженной водостойкостью и прочностью при сжатии при 50°C [6,11]. Причинами этих недостатков данных наполнителей считают меньшую по сравнению с известняковым минеральным порошком структурообразующую способность зол из-за кислой природы поверхности. В связи с этим находят различные методы улучшения молекулярно-поверхностных свойств.

Отмеченные противоречивые данные можно объяснить отсутствием четко сформированных представлений о составе, структуре и свойствах зол-уноса, а также выполняемой ими роли в структурообразовании асфальтовых композиций, и, самое главное, с отсутствием системного подхода при анализе свойств зол-уноса, с учетом их эволюции в системе: минералого-петрологические характеристики угленосной толщи и вмещающих пород; технология сжигания топлива; технология улавливания, складирования и хранения отходов; состав и фазово-структурное состояние вещества и др.

В связи с этим представляется важным рассмотрение вопросов влияния фазовых и размерных характеристик исходного дисперсного сырья на свойства композиционного материала и систематизация получаемых закономерностей с целью разработки принципов проектирования строительных материалов с заданными свойствами.

Представляет интерес при этом использование зол-уноса в качестве модифицирующей добавки к битуму в количестве нескольких процентов (до 15–20%), улучшающей реологические характеристики органического вяжущего, физико-механические характеристики асфальтобетонов и снижающих стоимость последних. В зарубежной практике уже существует подобный опыт [12,13]. Исследования по предлагаемой тематике представляют интерес еще и потому, что золы-уноса по вносимому в систему эффекту можно рассматривать как альтернативу полимерам, резиновой крошке и другим дорогостоящим модификаторам органических вяжущих, способствующих улучшению структуры и эксплуатационных свойств композитов.

В свете вышеизложенного, в ходе исследований по возможности оптимизации структуры асфальтовых композиций за счет применения тонкодисперсных зол-уноса тепловых электростанций с учетом их фазово-размерной гетерогенности необходимо осуществить

комплексное исследование состава, свойств и состояния поверхности зол-уноса ТЭС с целью установления механизмов взаимодействия между минеральными и органическими компонентами в смеси и роли применяемого сырья в процессах структурообразования битумо-минеральных композиций с учетом фазово-размерной гетерогенности дисперсного техногенного сырья. На основании установленных закономерностей в составе и свойствах сырьевых и композиционных материалов возможно разработать принципы повышения эффективности асфальтовых композиций и принципы проектирования дорожных композиций на основе нетрадиционного дисперсного сырья, исходя из сопоставления полученных результатов с требованиями нормативных документов и современного научно-технического уровня.

Применение дешевого сырья из отходов промышленности весьма актуально, учитывая значительную стоимость дорожно-строительных материалов, среди которых одним из наиболее дорогостоящих является асфальтобетон. Использование техногенного сырья в совокупности с правильным их применением в соответствии с принципами модифицирования и проектирования позволит снизить стоимость строительства автомобильных дорог и улучшить их качество. Внедрение техногенного сырья топливно-энергетического комплекса в практику дорожного строительства также будет способствовать положительному экологическому эффекту, связанному с утилизацией отходов промышленности, что также имеет немаловажное значение.

*Работа выполнена при финансовой поддержке: Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; РФФИ, №14-33-50402.*

#### **Список литературы:**

1. Гридчин А.М., Ядыкина В.В., Кузнецов Д.А., Высоцкая М.А., Кузнецов А.В. Особенности свойств поверхности кислых минеральных материалов для асфальтобетонных смесей // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 56–57.
2. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Повышение реакционной способности наполнителей в результате помола // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 81–83.
3. Высоцкая М.А., Федоров М.Ю. Разработка наномодифицированного наполнителя для асфальтобетонных смесей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 61–65.

4. Лебедев М.С., Строкова В.В., Жерновский И.В., Потапова И.Ю. Изменение свойств минеральных порошков из алюмосиликатного сырья под влиянием термической модификации // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 68–70.
5. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. М.: Союздорнии. 2003, 60 с.
6. Ярмолинская Н.И., Цупикова Л.С. Повышение коррозионной стойкости асфальтобетона на основе отходов ТЭС // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 46–47.
7. Zimmer, F.V. "Fly Ash as a Bituminous Filler", Proceedings of the Second Ash. Utilization Symposium", 1970, pp. 49–76.
8. Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière / Organisation de coopération et de développement économiques, Groupe de recherche routière, 1977, 179 p.
9. Simms, Scott A. Use of coal fly ash in asphalt concrete mixes. DalTech-Dalhousie University, 1998. 148 p.
10. Расстегаева Г.А. Активные и активированные минеральные порошки из отходов промышленности: монография; Воронеж. гос. архит.-строит. ун-т. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. 192 с.
11. Ярмолинская Н.И., Закурдаев И.Е., Латкин А.С. Использование золошлаков гидроудаления дальневосточных ТЭС // *Автомобильные дороги*. 1988. №9. С. 17–19.
12. Sobolev, K., Ismael, F., Bohler, J., Faheem, A., & Covi, A. Application of Fly Ash in ASHphalt Concrete: from Challenges to Opportunities. World of Coal Ash Conference, Session: Cement & Concrete VI (April 22, 2013).
13. Sobolev, K., Ismael, F., Saha R., Wasiuddin N.M., Saltibus N.E. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials. *Fuel* (116), 2014. Pp. 471–477.

## **ГЕОНИКА (ГЕОМИМЕТИКА) И ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

**Лесовик В.С., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Вид Homo Sapiens (существа разумные) с самого начала своего эволюционного пути занимался познанием, стремился изучить окружающий мир, предметы, явления и др. В VI-V веке до нашей эры появляется философия. Первые философы (Пифагор, Гераклит, Платон, Аристотель и др.) направляли свои мысли на решение проблемы взаимоотношения мира и человека, разумном устройстве и целях человеческой жизни, значение мудрости заключалось в том, чтобы уравновесить сложные отношения человека и мира, привести в согласие знание и действие [1].

Со временем дифференцировались источники познания, методы исследований. Из философии – материя наук, выделились физика, химия, биология, математика и т.д. Направление исследования ученых становились более узким, специфическим. Хотя дифференциация способствует значительному возрастанию точности и глубины знаний об узкой области явлений и процессов, но одновременно приводила к ослаблению связей между отдельными научными дисциплинами. Разобщенность наук особенно негативно отражается на данном, можно сказать критическом этапе взаимодействия между органическим и неорганическим миром [1,2].

Если мы рассмотрим эволюцию науки и образования от доиндустриального общества и до наших дней, то обнаружим (это известный фактор), что для доиндустриального общества была характерна доклассическая наука, монодисциплинарность науки и образования. В первобытнообщинном обществе один учитель учил ученика и была общая наука философия. Затем из нее выделились такие науки как математика, физика, биология, химия и т.д., и уже в индустриальном обществе классическая наука предусматривала дисциплинарность основных наук и образования.

Реализация каждого этапа характеризовалась взрывными научными достижениями. Переход на дисциплинарный этап начался в XIX веке – это век промышленной революции, век электричества, век железных дорог. XIX столетие было веком становления и стремительного развития еще одной области науки — астрофизики. Весомый вклад в

развитие химии внесло открытие Д.И. Менделеевым Периодического закона. В соответствии с ним он предположил, что существуют еще неизвестные тогда химические элементы и предугадал их открытие. Бурное развитие науки влияет на все направления, медицина и биология в этом не отстают. Заложены основы эндокринологии, иммунологии и микробиологии. Уже с начала XIX века происходит полный переворот в машиностроении. Развиваются фабрики, происходит замена ручного труда машинным. Все эти и многие другие научные открытия XIX века перевернули жизнь людей того времени.

Итак, для постиндустриального общества характерны междисциплинарность, как в науке, так и в образовании. Но в настоящее время уже речь идет о новой парадигме исследований. XXI век – век трансдисциплинарных исследований [3-5]. Разрабатываются технологии гибридных материалов, в т.ч. в строительном материаловедении, что приводит к созданию новых композитов с гибридной матрицей. Как следствие появляются новые научные направления, которые занимаются трансдисциплинарными исследованиями. В первую очередь кибернетика (рис. 1).

## КИБЕРНЕТИКА

*Норберт Виннер 1948*

– наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в различных системах, будь то машины, живые организмы или общество

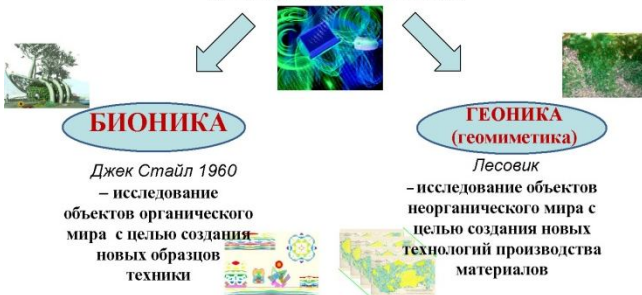


Рисунок 1 – Направления кибернетики

Все это приводит к рождению геоники (геомиметики), которая использует результаты исследования геологических и космохимических процессов для разработки технологий производства материалов.

С учетом положения геоники (геомиметики) сформулирован «Закон сродства структур». Он подразумевает управление процессами структурообразования и синтеза новообразований структуры

аналогичной матрицы основного композита. Например используется этот закон при разработке растворов, штукатурных растворов, реставрационных смесей. Реализовано это направление в результате внедрения результатов докторской диссертации Чулковой Ирины Львовны при реставрации памятников архитектуры: ставка Колчака, ансамбль Царицыно и Великого Ростова, церковь Преображения в Пермской области, памятники в Болгарии и др. [6].

Продолжены исследования в диссертационной работе Беликова Д.А. на соискание ученой степени кандидата технических наук. (Сухие строительные смеси для ремонтных работ на композиционных вяжущих).

Использование принципов закона сродства структур позволит ускорить поиски и разработку составов новых высокоэффективных композитов путем подбора исходных компонентов. Проведение высококачественного ремонта и реставрационных работ основано на создании композита, компоненты которого по физико-механическим свойствам, своему строению и составу были бы аналогичны восстанавливаемой матрице (использование дробленного бетонного лома, боя кирпича, боя штукатурных покрытий и др., возраст которых сопоставим со временем создания матрицы).

Особенно большое значение имеет соблюдение принципа сродства структур при использовании бетонов и растворов гидратационного твердения в реставрационных работах.

Разработанные технологии с использованием техногенного сырья апробированы и внедрены на предприятиях стройиндустрии Сибирского региона: в Омске, Сургуте и Новосибирске, а также в Воронеже и Санкт-Петербурге.

Реализуя теоретические положения геоники (геомиметики) разработаны эффективные стеновые теплоизоляционно-конструкционные композиты нового поколения, обладающие защитно-декоративными свойствами и высокими теплоизоляционными, прочностными и эксплуатационными характеристиками. Результаты исследований позволили применить выявленные принципы и закономерности для разработки новой технологии тепло-изоляционно-конструкционного стеклокомпозита с защитно-декоративным покрытием.

Но создавая строительные материалы мы не можем пока добиться качества и свойств природных аналогов. Например, пеностекло с плотностью  $250-300 \text{ кг/м}^3$  имеет предел прочности при сжатии максимум в  $1,5 \text{ МПа}$ , а вулканические поризованные породы с такой же

плотностью имеют прочность в 5-6 раз больше. То же самое можно сказать и по ячеистому бетону гидратационного твердения или, например, кладочные растворы – это такая анизотропная текстура, которая полностью копирует (напоминает) полосчатые горные породы. Но если кладочные растворы в конструкциях имеют предел прочности на разрыв примерно 1 МПа, то полосчатые породы имеют предел прочности на разрыв до 70 МПа. Именно исследования микроструктуры горных пород дало нам возможность существенно улучшить качество аналогичных материалов.

Созданы новые эффективные стеновые материалы со стабильно высокими теплоизоляционными характеристиками, имеющих повышенную прочность сцепления с кладочными растворами, для строительства в сейсмоопасных регионах.

Стеновые материалы полученные по данной технологии имеют существенно более развитую поверхность чем традиционные стеновые материалы. Образующиеся на месте гранул каверны существенно повышают прочность кладки, а с учетом применения специально разработанного кладочного раствора позволяет увеличить прочность кладки на срез в 25 – 30 раз, что особенно актуально для строительства в сейсмоопасных зонах.

Второй пример использования подобных подходов это разработка систем внутреннего ухода, которая позволит создать более высокоорганизованную структуру цементного камня на макро-, микро- и наноуровне и бетона в целом на всех стадиях: этапе перемешивания, твердения и эксплуатации материала [7]. За основу использована идея самозалечивания трещин академика Глико А.О. [8].

Предлагается системы внутреннего ухода за счет использования вулканических туфов. Эти горные породы представляют собой гетеропористую систему за счет нанопористости, капиллярной и гелевой пористости. Вяжущее полученное совместным помолом цемента и туфа положительно влияет на процесс структурообразования бетона в условиях жаркого климата и дает возможность оптимизировать традиционные методы ухода за бетоном, которые используются сегодня во многих странах мира. Предлагаемый новый подход заключается в использовании композиционных вяжущих на основе туфа, создающих наиболее благоприятные условия на ранних стадиях структурообразования и твердения системы. Это приводит к снижению напряжений в твердеющем композите и, как следствие, к уменьшению количества и размеров микротрещин.

В условиях эксплуатации при различных нагрузках микротрещины, самоликвидируются за счет взаимодействия влаги, содержащейся в частицах туфа, с непрореагировавшими клинкерными минералами. Частицы туфа в процессе эксплуатации отдают запасенную ими капиллярно-удержанную воду, а это приведет к активизации процессов структурообразования и синтезу более плотной однородной структуры материалов в процессе твердения и эксплуатации бетонов, это так называемые интеллектуальные композиты.

Проведение таких мероприятий позволило повысить предел прочности при сжатии бетона до 128 МПа, предел прочности на растяжение при изгибе 35 МПа, модуль упругости до  $83 \times 10^{-3}$  МПа.

Наилучшими физико-механическими характеристиками обладают вяжущие с удельной поверхностью цемента  $350 \text{ м}^2/\text{кг}$  и туфа  $700 \text{ м}^2/\text{кг}$  при соотношении цемента и туфа, соответственно, 90% : 10%.

Таким образом, в условиях жаркого климата, когда наблюдается дефицит жидкой фазы в самом бетоне, частички туфа, входящие в состав вяжущего, в процессе твердения отдают капиллярно-удержанную воду, а это приведет к активизации процессов структурообразования и синтезу более плотной однородной структуры материалов в процессе твердения и эксплуатации бетонов.

Реализация концепции проектирования строительных композитов будущего позволило создать высокопрочные бетоны с пределом прочности при сжатии до 170 МПа. Предложить системы внутреннего ухода в условиях жаркого климата, которые позволяют повысить эффективность строительных композитов в условиях жаркого климата

Наиболее актуален подход трансдисциплинарных исследований к сложным системам, к которым в полной мере относится система «человек-материал-среда обитания», для оптимизации которой необходимо использование последних научных достижений в области генетики, биологии, геохимии, бионики и других наук.

Теоретические положения геоники (геомиметки) с успехом были апробированы при разработке эффективных технологий производства широкой номенклатуры строительных материалов на сырьевых ресурсах Курской магнитной аномалии Архангельской алмазонасной провинции, а также на сырьевых ресурсах многих регионов РФ, государств Латинской Америки, Арабских стран, Европы, Южной Африки.



### Список литературы:

1. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 213 с.
2. Geonics. Subject and objectives / V.S. Lesovik. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 100 p.
3. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. Москва: Изд-во МГУП им. Ивана Федорова, 2014. С. 77–83.4
4. Ковальчук М.В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее / М.В. Ковальчук // Российские нанотехнологии. Москва: Изд-во: ООО «Парк-медиа», 2011. С. 13–23.
5. Князева Е.Л. Трансдисциплинарные стратегии исследований // Вестник Томского государственного педагогического университета. Томск: Изд-во ТГПУ, 2011. № 10. С. 193–201.
6. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов: монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2011. 462 с.
7. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов / В.С.Лесовик, В.В.Потапов, Н.И.Алфимова, О.В. Ивашова // Строительные материалы. 2011. № 12. С. 60– 62.
8. Глико А.О. Влияние процесса осаждения твердой фазы из гидротермального раствора на залечивание трещин и эволюцию проницаемости системы // Физика Земли. 2002. № 1. С. 53-59.

## **К ВОПРОСУ О ДОЛГОВЕЧНОСТИ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Лесовик В.С., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Гриджина А.А., руководитель службы менеджмента качества**  
*ООО «СтройБетон» г. Москва*

Обеспечение долговечности бетонных конструкций одно из основных направлений работ многих исследователей материаловедов. Долговечность бетона определяется целым рядом факторов, таким как: прочность, коррозионная стойкость, выносливость, трещиностойкость и др. В условиях темпов современного строительства перед производителями монолитного бетона стоит задача в обеспечении не только качественных показателей бетонных смесей, но и повышению специальных свойств: водонепроницаемости, удобоукладываемости, стойкости к агрессивным средам и т.д. В последнее десятилетие наряду с постоянным совершенствованием существующих материалов, обуславливающих существенный технический и экономический эффект благодаря уникальному сочетанию свойств, наметились тенденции создания новых материалов, способных к активному взаимодействию с внешними факторами. Такие материалы получили названия «интеллектуальных». Они способны «ощущать» свое физическое состояние, внешние воздействия и особым образом реагировать на эти «ощущения», т.е. способны осуществлять самодиагностику по возникновению и развитию дефекта, его устранение и стабилизировать свое состояние в критических зонах [1-3]. Разработка новых технологий бетонирования и составов «интеллектуальных» бетонов позволит не только увеличить темпы строительства, но и влечет за собой ощутимый экономический эффект.

Анализ причин разрушения бетонных конструкций, широко описанный в отечественной и зарубежной литературе, показывает, что основной причиной разрушения является несоответствие качества материала конструкций условиям их службы [4-6]. В настоящее время известными показателями, характеризующими долговечность бетона, являются марка по водонепроницаемости и марка по морозостойкости. При проектировании композитов по морозостойкости и водонепроницаемости учитывают условия эксплуатации конструкции: переменное замораживание и оттаивание, агрессивные воздействия,

статические и динамические нагрузки. В европейском стандарте DIN 206 – 1 долговечность бетонов определяется классами экспозиции. В соответствии со стандартом [7] требования по обеспечению долговечности бетона для каждого класса среды эксплуатации должны включать:

- разрешенные виды и марки (классы) составляющих бетона;
- максимально допустимую величину В/Ц;
- минимально необходимое содержание цемента;
- минимальный класс бетона по прочности на сжатие;
- минимальное воздуховлечение.

В свою очередь в российских нормах в соответствии с [8] к трещиностойкости конструкций (или их частей) предъявляются требования соответствующих категорий в зависимости от условий, в которых они работают, и от вида применяемой арматуры:

- а) *1-я категория* - не допускается образование трещин;
- б) *2-я категория* - допускается ограниченное по ширине непродолжительное раскрытие трещин  $a_{crc1}$  при условии обеспечения их последующего надежного закрытия (зажатия);
- в) *3-я категория* - допускается ограниченное по ширине непродолжительное  $a_{crc1}$  и продолжительное  $a_{crc2}$  раскрытие трещин.

Бетон – это сложный, неоднородный гетерофазный материал, который образуется в результате затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего, щебня, песка и воды [9-11]. Твердение цементного камня – это самый сложный процесс, связанный с комплексом явлений физического и химического характера. Он включает химические реакции минералов и стеклофазы цементного клинкера с водой с образованием новых соединений, их физическое и химическое взаимодействие между собой и заполнителями. Создается определенная пространственная структура и текстура, причем прочность и долговечность бетона во многом определяется количеством и качеством контактов цементного камня и заполнителей (контактной зоной). Согласно теории Пауерса [12] бетон рассматривается на трех уровнях:

- 1) макроуровне – бетон рассматривается как однородное вещество с характеристиками, измеряемыми при помощи стандартных методов;
- 2) микроуровень – объясняет характеристики цементного камня и заполнителей;
- 3) наноуровень – исследует воздействие поверхностной энергии адсорбированной воды на гидрогель, взаимодействие между частицами геля в продуктах гидратации и нанопорами. Причем на долговечность бетона нанопоры, находящиеся в продуктах гидратации, не оказывают

существенного влияния. Главную роль имеют размер и распределение пор, имеющих капиллярную форму.

Проектирование заданной структуры материала на нано-уровне осуществляется с помощью кватеронного подхода, а также методом кристаллической затравки; на микро- уровне за счет создания центров кристаллизации и регулирования свойств вводимыми добавками; на макро- уровне необходим рациональный подбор компонентов, заполнение пор и пустот, а также за счет создания плотнейших упаковок (рис 1.) [9].

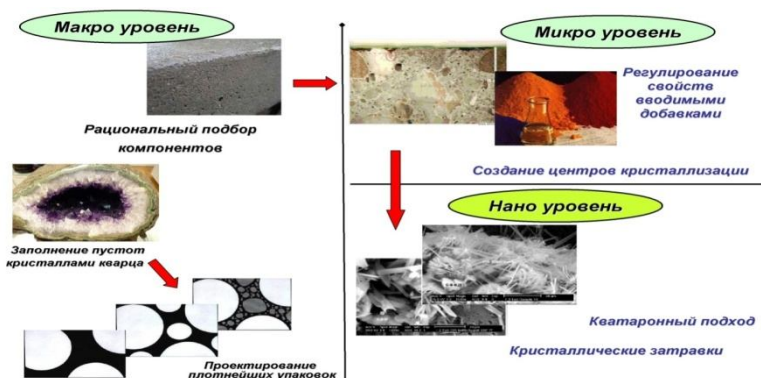


Рисунок 1 – Проектирование заданной структуры материала

Известно, что процесс разрушения бетона происходит в случае образования трещин. В соответствии с [13] трещина – это полость, образованная без удаления материала двумя соединенными внутри тела поверхностями, которые при отсутствии в нем напряжений удалены друг от друга на расстояния, во много раз меньше протяженности самой полости. В свою очередь магистральная трещина – это трещина, протяженность которой превосходит размеры структурных составляющих материалов и областей самоуравновешенных напряжений и по поверхностям которой произойдет деление образца на части.

Основными характеристиками трещиностойкости являются:

- ширина раскрытия трещины;
- продолжительность раскрытия трещины;
- расположение (направление) трещины;

Причинами возникновения трещин в бетоне являются температурные воздействия, усадка поверхностного слоя бетона в

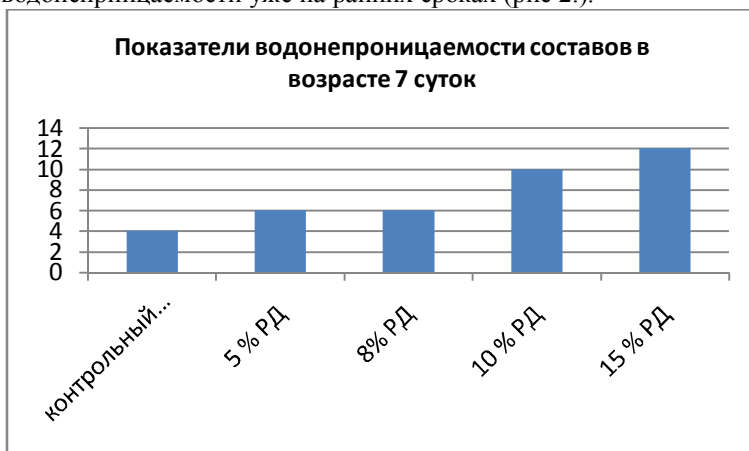
случае резкого испарения воды, а также деформации, возникающие от различных нагрузок, в том числе и деформации от внутренних напряжений. Надежность конструкции в целом определяется не только зарождением микротрещин, но и кинетикой их роста. По одной из теорий механики разрушения бетон разрушается по одному из трех механизмов: при раскалывании заполнителей, на границе заполнитель – раствор или по самому цементному клею. При этом все три процесса могут протекать одновременно.

В бетоне, как в неоднородном материале, трещины имеют тенденцию легко проникать из более жесткого в менее жесткий материал. Обратное явление затруднено, то есть возможна остановка роста трещин на границе раздела компонентов. Необходимым и остаточным условием разрушения образца материала является образование одной или нескольких магистральных, то есть сквозных трещин, вызывающих деление образца пополам или на большое число частей [14]. Старт микротрещины при хрупком разрушении реализуется по процессу: зарождение, рост и объединение с макротрещиной. Некоторые исследователи придерживаются мнения, что при нагрузке до 30% от разрушающей трещины в бетоне не образуются и бетон ведет себя как упругое тело, при нагрузке 30-75% от разрушающей в бетоне образуются трещины в начале на границе цементный камень – заполнитель, а затем в самом цементном камне, при нагрузке более 75% от разрушающей трещины в теле бетона образуют систему и происходит разрушение.

Однако трещины в бетоне образуются не только от механических нагрузок, но и от внутренних деформаций. Напряжения в бетоне возникают от различных факторов: температурные перепады, дифференциальная усадка, резкая потеря влаги с поверхностного слоя бетона, влияние химических добавок. Одним из путей решения проблемы образования усадочных трещин может быть создание «интеллектуальных» бетонов на основе расширяющих добавок. Расширяющие добавки – это минеральные добавки, создающие в бетоне плотную структуру, что не только повышает водонепроницаемость, но и уменьшает усадочные деформации, например на основе сульфалоюмината кальция и извести. Механизм расширения напрямую связан с образованием этtringита, который образуется в условиях высокой концентрации извести и приводит к расширению структуры. Высокое пересыщение по извести способствует быстрому образованию плотных гидроалюминатных пленок на зернах алюминатов кальция. В дальнейшем процесс структурообразования в таких системах протекает

при низких пересыщениях, что создает условия для роста гидросульфоалюмината кальция и интенсивного расширения системы. Расширение в системах на основе извести происходит вследствие роста кристаллов и давления, возникающего при гидратации  $\text{CaO}$  с образованием  $\text{Ca(OH)}_2$ . Скорость и степень расширения зависят от вида частиц, дисперсности и температурно-влажностных условий твердения. В зависимости от % содержания в составе бетона расширяющей добавки можно получить не только бетоны с компенсированной усадкой, но и напрягающие бетоны (по усилию самонапряжения). За счет регулируемого расширения в процессе твердения нейтрализуется проявление усадки, в конструкции создается предварительное напряжение всей находящейся в ней и растягиваемой при этом (за счет сцепления с бетоном) арматуры и получение собственного обжатия (самонапряжения) бетона. Механизм твердения напрягающего бетона основан на создании направленного кристаллообразования в твердеющем цементном камне и обеспечении тем самым регулируемого объема расширения, которое происходит в пластической структуре материала, при этом в условиях ограничения расширения развивается самонапряжение, компенсирующее растягивающее напряжение.

Как было сказано ранее, одним из показателей обеспечения долговечности бетона является создание плотной структуры, для снижения проницаемости. Проведенные эксперименты показали, что составы с применением расширяющих добавок имели высокую марку по водонепроницаемости уже на ранних сроках (рис 2.).



Однако, с введением расширяющей добавки 15% от массы вяжущего и более наблюдалось снижение прочностных характеристик, при этом марка по водонепроницаемости не повышалась. Достаточно интересным является тот факт, что при введении в состав с оптимальным расходом расширяющей добавки воздуховолекающих добавок, можно получить высокие показатели по морозостойкости в солях F<sub>2</sub>. Подобные бетоны могут найти широкое применение в условиях эксплуатации в агрессивных средах.

Таким образом, применение бетонов на основе расширяющих добавок (напрягающих и бетонов с компенсированной усадкой) позволит не только исключить деформации, но и избежать образования трещин в процессе изготовления бесшовных монолитных конструкций большой протяженности, что позволяет не только сократить сроки строительства, но и снизить экономические затраты.

#### **Список литературы:**

1. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 196 с.
2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 219 с.
3. Лотов В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 5-7.
4. Овчинникова А.И. Новые материалы и изделия мостостроения. Учебное пособие. Саратов, 2004. 163с.
5. Stark I, Wicht B. Dauerhaftigkeit von Beton, VerlagBirkhuser, 2000.
6. Taylor H.F.W. Cement Chemistry, 2nd. edition, Thomas Telford Publishing, 1997.
7. Европейский стандарт EN 206-1 «Бетон Часть 1: Общие технические требования и контроль качества» 2000. 69 с.
8. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции. 1986.
9. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород: монография. Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 525 с.
10. Под.ред. П.Г. Комохова Бетоны / Справочник// НПО «Профессионал» Санкт-Петербург, 2010. 1211 с.
11. Баженов Ю.М., Муртазаев С-А.Ю. Эффективные бетоны и растворы для строительных и восстановительных работ с использованием бетонного лома и отвалных зол ТЭС // Научно-технический журнал. Вестник МГСУ. 2008. №3. С. 124-128

12. Powers T.S.; Brownyard T.L.; Studies of the physical Properties of Hardened Portland Cement Past, Portland Cement Association, Builletion 1948. No. 22.
13. ГОСТ 29167-91 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости». 1992. 15 с.
14. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.



## ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ МОМЕНТОВ В СОЗДАНИИ ТЕКСТИЛЬ-БЕТОНА

**Лесовик В.С., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,  
Попов Д.Ю., аспирант,  
Danilo Nicke, cand. ing.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Технический университет Дрездена (Германия)*

Последние годы научно-исследовательские лаборатории ряда университетов занимаются изучением нового композиционного материала – текстиль-бетона. Это многофункциональный материал на основе цементного вяжущего, мелкого заполнителя и текстильной армирующей сетки из щелочестойкого волокна.

В ходе исследований установлено, что данный материал обладает высокими физико-механическими свойствами, такие как предел прочности при сжатии и при изгибе, достаточными трещиностойкостью, водонепроницаемостью и морозостойкостью, характеризуется низкой электропроводностью и устойчивостью к воздействию окружающей среды [1-3].

Сочетание данных свойств при использовании в качестве армирующего материала текстильную сетку из щелочестойкого волокна позволяет создавать изделия малой толщины, даже до 20 мм, в зависимости от поставленной задачи и роли композита в конструкции, что определяется предварительными расчетами на прочность и устойчивость конструкции. Данные свойства и технические характеристики определяют большую область использования текстиль-бетона.

Данный материал целесообразно использовать при проведении реставрационных работ, при реконструкции старых массивных зданий и сооружений, а также малых архитектурных форм. К примеру, толстый слой стены, нуждающейся в ремонте, можно укрепить тонким слоем текстиль-бетона. Реставраторы и строители привыкли использовать традиционные методы реконструкции с использованием стальной арматуры, которая нуждается в значительном защитном слое. Современными возможностями для проектирования новых зданий и их ремонта, нельзя пренебрегать. Данный материал обладает превосходной драпируемостью, поэтому позволяет использовать его для придания различных форм и требуемых конфигураций.

При создании текстиль-бетона серьезное внимание следует уделить взаимодействию текстильной сетки с бетонной матрицей. Что бы материал был достаточно прочным, нужно добиться наилучшего сцепления волокон сетки с затвердевшим бетоном.

С целью изучения взаимодействия волокон текстильной сетки с бетонной матрицей были проведены совместные исследования кафедрами Строительного материаловедения Технологического университета Дрездена (Германия) и Строительного материаловедения, изделий и конструкций БГТУ им. В.Г. Шухова, в лабораториях кафедры СММК.

Основная идея данных исследований заключается в определении оптимального состава пропитывающего раствора и технологии его нанесения. Установление оптимального состава раствора обеспечивает высокое сцепление армирующих текстильных волокон с бетонной матрицей. Технологические приемы нанесения пропитывающего раствора на армирующие волокна оказывают существенное влияние на равномерное распределение пропитывающего раствора, его проникновение в пружу волокон и обеспечения их совместной работы.

Для создания прочных контактов между элементами композита, представленными армирующей текстильной сеткой и бетоном, необходимо создать внутреннюю устойчивую связь, призванную обеспечить требуемые физико-механические и эксплуатационные свойства к конструкциям в целом. Такая контактная зона должна иметь сродство, близость по основным свойствам и общность генетического происхождения с матрицей материала. Подобное сродство требует создания такой структуры на нано-, микро- и макроуровне, которая бы обеспечила взаиморасположение и соответствующую связь составных частей и, в итоге, гарантировала совместную работу этой зоны с элементами смежных материалов [4-8].

Представляет интерес создание таких контактных зон путем пропитки армирующих текстильных сеток эмульсиями, на основе различных минеральных компонентов. Пропитка волокон суспензиями с соответствующим минеральным наполнителем, безусловно положительно повлияет на повышение физико-механических и эксплуатационных свойств композита, в следствии сродства минеральных компонентов пропитки и бетонной матрицы.

Нами были приготовлены пропиточные растворы трех видов: на основе микрокремнезема (Mikrosilika), алюмокремнезема (CentrilitNC) и вулканического туфа. Данные виды растворов выбраны не случайно, именно они вызывают большой интерес немецких исследователей в

изучении этой проблемы. В качестве армирующего элемента были использованы карбоновые волокна, обладающие высокими физико-механическими показателями, такими как предел прочности при разрыве и представляют большой интерес для исследований, так как к настоящему времени использование волокон из щелочестойкого стекла хорошо изучены в текстиль-бетонах.

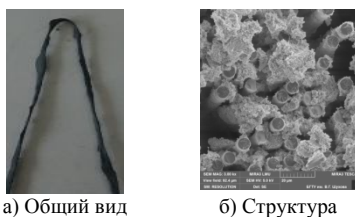
Для изучения данного вопроса были применены четыре метода нанесения пропиточного слоя.

Первый метод заключался в простой пропитки, путем погружения пучков волокон с выдержкой 10 и последующей сушкой при комнатной температуре в течение 24 часов.

Второй, третий и четвертый методы отличаются от первого тем, что после пропитки пучки волокон уплотняли на машине с прорезиненными валками, при различном силовом воздействии на жгуты. Полагается, что такое воздействие на систему волоконно-сuspension приведет к равномерному распределению пропитывающего раствора и уплотнению волокон между собой. Во втором методе сила воздействия на жгуты максимальная, в третьем средняя и в четвертом минимальная, что характеризуется расстоянием между валками уплотняющей машины.

Исследования по подбору оптимального состава и методики нанесения пропитывающего раствора проводились для двух типов пучков волокон различной толщиной пряжи: 800 г/км и 3300 г/км.

Установлено, что простая пропитка пучков волокон, по первому методу, приводит к неравномерному распределению пропитывающего раствора. Визуальный осмотр образцов показал, образование комков и сгущение суспензии в местах сбора волокон (рис. 1).



а) Общий вид  
б) Структура  
Рисунок 1 – Волокна толщиной пряжи 800 г/км, покрытые микрокремнеземом по первой методике



Рисунок 2. Общий вид волокон, покрытых микрокремнеземом, толщиной пряжи 800 г/км (а) и 3300 г/км (б), по третьей

Методы второй и третий не подходят для пучков волокон тонкостью пряжи 3300 г/км, так как расстояние между валками уплотняющей машины слишком мало и приводит к отжиманию пропиточного раствора из жгутов, кроме того, волокна трутся между собой в процессе уплотнения и разрушаются (рис. 2). Тем не менее, данные режимы уплотняющей машины

целесообразно применять для волокон тонкостью пряжи 800 г/км. На основании выше изложенного можно сделать вывод, что различная плотность волокон требует определенную прижимную силу валков.

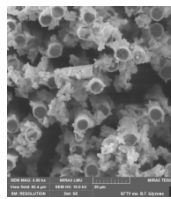
Второй метод обеспечивает плотное прижатие волокон пряжи, но приводит к отжиму пропитывающего раствора (рис.3). Данная методика не позволяет обеспечить хорошее сцепление пропитанных жгутов с бетонной матрицей.

По третьей методике волокна находятся близко друг к другу и пропиточный слой равномерно покрывает их, но структура пряжи не плотная, это связано с распушкой волокон, стремящихся прийти в состояние покоя после оказания на них сил воздействия со стороны валков уплотняющей машины (рис. 4).

Четвертая методика является наилучшей из опробованных. Она обеспечивает хорошее проникновение пропиточного слоя в волокна пряжи, это необходимо для срастания жгутов с цементным камнем, а



а) Общий вид

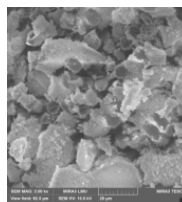


б) Структура

Рисунок 3 – Волокна тонкостью пряжи 800 г/км, покрытые микрокремнеземом по второй методике



а) Общий вид

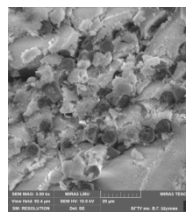


б) Структура

Рисунок 4 – Волокна тонкостью пряжи 800 г/км, покрытые микрокремнеземом по третьей методике



а) Общий вид



б) Структура

Рисунок 5 – Волокна тонкостью пряжи 800 г/км, покрытые микрокремнеземом по четвертой методике

также, обеспечивает плотное прилегание нитей друг к другу, для обеспечения совместной работы между собой (рис. 5).

Таким образом, проведенные исследования показывают значимость изучения взаимодействия армирующего текстильного компонента с бетонной матрицей и средства структур смежных материалов.

#### **Список литературы:**

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны: научное издание. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
2. Столяров О.Н., Горшков А.С. Применение высокопрочных текстильных материалов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2009. №4. С. 21-25.
3. Hanisch V., Kolkman A., Roze A., Gries T. Yarn and textile structure for concrete reinforcements in proceedings: FERRO8, Bangkok, 2006.
4. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. №3. Часть 2. С. 267-271.
5. Lesovik V.S., Creating Effective Insulation Solution, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials / Lesovik V.S., Zagorodnik L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №11. с. 1496-1502.
6. Lesovik V.S., Zagorodnik L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure formation of contact layers of composite materials. Life Sci J 2014; 11 (12s): 948-953 (ISSN: 1097-8135).
7. Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Беленцов Ю.А. Силикатные изделия на гранулированных заполнителях для сейсмостойкого строительства // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2012. №4. С. 62-65.
8. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2012. №4. С. 53-57.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАКОНА СРОДСТВА СТРУКТУР ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Лесовик В.С., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,**

**Чулкова И.Л., д-р техн. наук, проф.,**

**Загороднюк Л.Х., канд. техн. наук, проф.**

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

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

Сохранение исторических объектов представляется возможным лишь после проведения реставрационных работ. Одним из главных требований, предъявляемых к реставрации, является максимальное сохранение подлинности объекта. Замена поврежденных элементов является исключительно крайней мерой, преимущество отдается специальным методам укрепления. Для каждого исторического памятника выбирается наиболее приемлемый метод реставрации, основанный на знании строительной технологии прошлого и умении, при необходимости, воспроизвести ее с той или иной степенью приближения.

Реставрационные материалы, имеющие непосредственный контакт с подлинными материалами памятника, должны соответствовать им по ряду параметров. Они должны быть близкими к авторскому материалу по фактуре, микро- и макроструктуре, не изменять цвета материала памятника, иметь сопоставимые параметры по прочности и долговечности, должны обладать стойкостью к воздействиям атмосферы, биостойкостью, быть стабильными при длительной эксплуатации. Важным моментом является совместимость нового и старого материалов, препятствующая возникновению на стыке механических напряжений при накоплении влаги и водорастворимых солей в контактной зоне. Это ослабляет разрушительные процессы и отторжение новых включений, что обычно сопровождается деструкцией подлинного материала памятника.

Для создания прочного и надежного контакта между «материнским» и реставрационным материалом необходимо создать внутреннюю устойчивую связь, призванную обеспечить определенные физико-механические и эксплуатационные требования конструкции в целом. Такая контактная зона должна иметь сходство, близость, а точнее сродство по основным свойствам и общности генетического происхождения с матрицей материала. В связи с постановкой новых

задач перед материаловедами и реставраторами в современных условиях и в связи с необходимостью создания новых эффективных материалов возникли новые взгляды, подходы, особенно при создании тонких слоев растворов, широко востребованных в настоящее время.

С учетом предложенного нами закона сродства структур в строительном материаловедении [1-7] разработаны эффективные реставрационные составы с требуемыми свойствами и доказана возможность направленного изменения капиллярно-пористой структуры материала и управления влагопереносом в известковом и цементном камне при совместном применении органо-минеральных добавок с определенной гранулометрией. Применение закона сродства структур позволило минимизировать физико-химические и структурные различия между регулируемой матрицей и неизменяемой структурой реставрируемого элемента старого сооружения с тем, чтобы поровая структура полученного композита стала в идеале единой и однородной, что позволит воде мигрировать по капиллярам всего композита, способствуя равномерному уплотнению и упрочнению его новообразованиями.

Согласно закону сродства структур все структуры строительных композитов разделяются на 3 уровня по размерам пор: наноструктура; микроструктура; макроструктура. Формирование капиллярно-пористой структуры с получением материалов трех уровней было достигнуто с использованием технологических приемов фракционирования, совместного помола, модифицирования добавками, использования техногенного сырья и т.д., и применением компонентов, создающих определенную пористость материалов. Получены высококачественные реставрационные составы с минимальной пористостью за счет использования прочных и плотных сырьевых компонентов и применения нанодисперсных наполнителей и химических добавок – суперпластификаторов, гиперпластификаторов, тяжелых солей для формирования пористой структуры на наноуровне.

Для реставрационных работ наибольшую значимость имеет адгезионная прочность, т.е. сцепление создаваемого реставрационного материала со старым матричным основанием. Результаты испытаний показали, что прочность сцепления разработанных докомпоновочных составов, содержащих добавки СП, выше, чем с бездобавочным составом. Более высокую адгезионную прочность показали составы с добавками пластификаторов Н-1 и С-3. Фазовых изменений в докомпоновочных составах, содержащих добавки СП и минеральный наполнитель не обнаружено. С помощью электронной микроскопии и

петрографии выявлено, что предлагаемые докомпоновочные составы близки по фактуре к реставрируемому материалу. Зона контакта между ними не имеет резкой границы, в зоне контакта образуется плотная, однородная структура с равномерным распределением твердой фазы, практически не отличающаяся от основного матричного материала.

Введение суперпластификаторов в цементное тесто приводит к снижению общей пористости цементного камня и перераспределению объемов пор по радиусам. Так, в составах с добавками СП общая пористость снижается по сравнению с контрольными составами на 40...30% и сопровождается резким перераспределением объемов пор по их размерам. Значительно снижается доля крупных пор (радиусом более 103 нм) и увеличивается содержание пор геля (радиусом менее 10 нм). Создается более плотная и менее проницаемая структура цементного камня. При сохранении В/Ц в составах с добавками СП также снижается общая пористость, но здесь уже большую роль играет дезагрегирующее воздействие СП. Более равномерное распределение частиц в материале сопровождается повышением однородности его структуры. Кроме того введение СП в реставрационные составы позволяет предотвратить начальную флокуляцию цемента за счет адсорбции и перезарядки поверхности его частиц. Адсорбируясь на поверхности частиц цемента, молекулы добавок СП экранируют силы межмолекулярного взаимодействия твердых частиц, придают цементно-водной суспензии состояние устойчивого коллоида. Имобилизованная из флокул, в результате их распада вода увеличивает долю дисперсионной среды, что приводит к разжижению суспензии и снижению ее вязкости. Таким образом, добавки СП приводят к уменьшению размера и увеличению количества частиц твердой фазы, характеризующейся большей удельной поверхностью. Это при прочих равных условиях сопровождается увеличением однородности распределения частиц твердой фазы в структуре материала, увеличением числа контактов срастания между ними и соответственно ускорением структурообразования гетерогенных дисперсных систем, что способствует созданию прочных и долговечных композитов.

Разработанные реставрационные составы на основе рядовых цементов успешно прошли опытно экспериментальную апробацию на памятнике архитектуры и культуры XVIII века – здании ставки Колчака в Омске. Здание находится в превосходном состоянии уже 14 лет после реставрации (рисунок). Акты опытно-реставрационных испытаний разработанных ремонтно-реставрационных составов подтвердили их



высокую эффективность. Разработаны методические рекомендации по подбору реставрационных составов и методам их применения.



Рисунок – Здание ставки Колчака в Омске

Использование закона сродства структур позволило создать новый эффективный реставрационный материал. Применение СП в смесях докомпоновочных составов на основе цемента позволило направленно изменять их реологические, структурные и физико-механические свойства вследствие их пластифицирующего, водоредуцирующего, дезагрегирующего и адсорбционно-модифицирующего воздействия. Докомпоновочные составы, содержащие добавки СП, характеризуются повышенной плотностью, меньшими усадочными деформациями, более высокими значениями прочности при изгибе, сжатии и адгезии к различным по фактуре подложкам. Минеральные наполнители, наряду с имитацией авторского материала по цвету, через повышение водопотребности, а также благодаря собственным особенностям изменяют структурные и прочностные свойства докомпоновочных реставрационных составов и, по существу, являются средством достижения их соответствия авторскому материалу. Вместе с тем они позволяют улучшить или сохранить на достаточном уровне и такие их свойства, как адгезия к авторскому материалу, деформации усадки, качественную структуру контактной зоны, морозостойкость, коэффициент размягчения и т.д.

Применение СП в смесях докомпоновочных составов на основе цемента повышает долговечность новых материалов в условиях атмосферной агрессии. При этом значительно изменяются кинетика и величина капиллярного поглощения влаги затвердевшим материалом,

что может служить средством оптимизации влажностного режима в толще материала реставрируемого объекта, а при необходимости и средством удаления солей проникающих в него с грунтовыми водами и кислотными атмосферными осадками. Сочетание добавок СП с минеральным наполнителем в докомпоновочных составах обеспечило приемлемые значения усадочных деформаций (до 1мм/м), высокую адгезионную прочность (до 3,6 МПа для докомпоновок по кирпичу, до 2,8 МПа – для белого камня), достаточную морозостойкость материала и низкий коэффициент размягчения.

Таким образом реализация закона сродства структур позволила создать композит, в котором заложены основы реагирования на изменяющиеся условия синтеза и эксплуатации; целенаправленно синтезируются новообразования и создается нано-, микро- и макроструктура, обладающая способностью регулировать влажностный режим в толще реставрируемого материала в определенном диапазоне эксплуатационных нагрузок.

#### Список литературы:

1. Lesovik V.S. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials / Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V, Belikov D.A., Kuprina A.A. // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №11. С.1496-1502.
2. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении/ Фундаментальные исследования. 2014. №3. Ч.2. С. 267-271.
3. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure formation of contact layers of composite materials. *Life Sci J* 2014; 11 (12s): 948-953 (ISSN:1097-8135).
4. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 462 с.
5. Lesovik V.S. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса. М.: Изд-во АСВ, 2006. 526 с.
6. Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Беленцов Ю.А. Силикатные изделия на гранулированных заполнителях для сейсмостойкого строительства // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2012. №4. С. 62-65.
7. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 53-57.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ФИБРОЦЕМЕНТА С НАНОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ**

**Лхасаранов С.А.,** канд. техн. наук, ассистент,  
**Урханова Л.А.,** д-р техн. наук, проф.,  
**Розина В.Е.,** ст. преподаватель,  
**Буянтуев С.Л.,** д-р техн. наук, проф.,  
**Хардаев П.К.,** д-р техн. наук, проф.

*Восточно-Сибирский государственный университет  
технологий и управления,*

*Иркутский государственный технический университет*

**Потапов В.В.**

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

Известно, что эффективное улучшение физико-механических, деформационных и эксплуатационных свойств базальтофибробетона возможно при использовании волокна, обладающего стабильными свойствами: средним размером волокон, химическим составом, коррозионной стойкостью, отсутствием «корольков». Наиболее эффективными для дисперсного армирования бетона являются базальтовый ровинг и тонкое штапельное волокно [1,2]. Учитывая повышенные энергозатраты на производство таких волокон, представляет интерес использование для дисперсного армирования фиброцемента базальтового волокна (БВ), полученного центробежно-дутьевым способом при расплавлении сырьевых материалов в электромагнитном технологическом реакторе [3] и обладающего менее однородными и стабильными качественными характеристиками по сравнению с базальтовым ровингом и тонким штапельным волокном.

В проводимых исследованиях для получения мелкозернистого базальтофибробетона были использованы следующие сырьевые материалы: ПЦ ЦЕМ I 32,5 Н ГОСТ 31108-2003 ООО «Гимлюйский цементный завод», кварц-полевошпатовый песок с модулем крупности  $M_{кр}=2,3$ , базальтовое волокно на основе базальта Селендумского месторождения Республики Бурятия, нанодисперсный кремнезем (НК) Таркосил-05<sup>®</sup>. Характеристики базальтового волокна приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики базальтового волокна

Характеристика	Значение
Средний диаметр волокон, мкм	10
Прочность на разрыв, МПа	1350
Температуростойкость, °С	600
Химическая стойкость (потеря массы), % при обработке:	
- HCl	69,3
- KOH	91,5

Нанодисперсный кремнезем Таркосил-05<sup>®</sup> получен на ускорителе электронов по методу [4] в Институтах ядерной физики СО РАН и теоретической и прикладной механики СО РАН. Таркосил-05<sup>®</sup> имеет следующие характеристики: средний размер частиц – 53 нм, удельная поверхность – 50,6 м<sup>2</sup>/г (по данным прибора Сорби-М). Таркосил-05<sup>®</sup> состоит более чем на 99% из аморфного кремнезема, содержание примесей, в мас. %: Al – 0,01, Fe – 0,01, Ti – 0,03.

Ранее авторами проведены исследования по оценке коррозионной стойкости базальтового волокна в щелочной среде при введении нанокремнезема [5]. Полученные результаты показывают, что применение НК за счет связывания портландита уменьшает агрессивное влияние щелочной среды цемента на базальтовое волокно, сохраняя его и повышая тем самым физико-механические характеристики композиций.

При подборе состава базальтофиброцемента (БФЦ) были определены оптимальное содержание БВ, нанокремнезема и эффективный способ распределения БВ в цементной матрице. Оптимальное содержание БВ в составе цемента составило 4 мас. %, НК – 0,5 мас.% при введении БВ путем совместного перемешивания–помола в энергонапряженном аппарате – виброистирателе в течение 30–45 сек (рис. 1, 2).

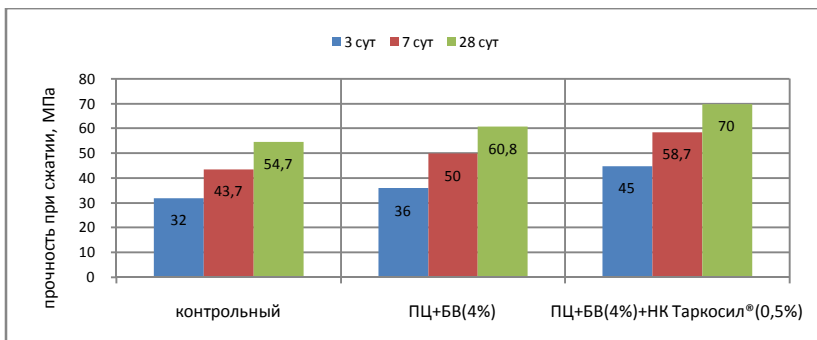


Рисунок 1 – Прочность при сжатии базальтофиброцементных композиций

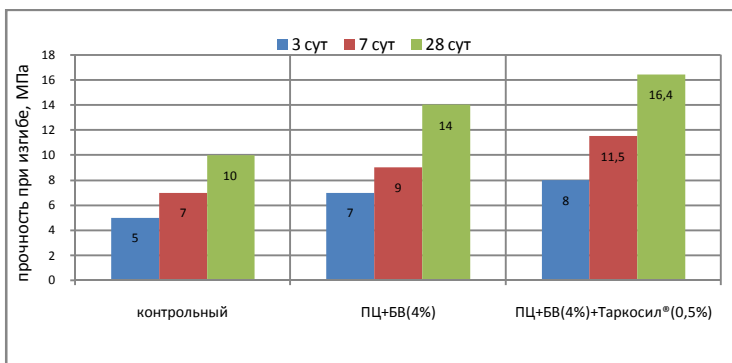


Рисунок 2 – Прочность при изгибе базальтофиброцементных композиций

Анализ прочностных характеристик базальтофиброцементных композиций позволяет сделать вывод, что введение БВ повышает прочность при сжатии в возрасте 28 суток на 11%, прочность при изгибе на 40% по сравнению с контрольным составом. Применение НК дополнительно улучшает физико-механические показатели: на сжатие – 29% и 20%, при изгибе – 64% и 58% соответственно. Заметное увеличение прочности при изгибе связано армирующим действием БВ, полученным центробежно-дутьевым способом, и при введении кремнеземсодержащей добавки достигает максимальных показателей вследствие увеличения коррозионной стойкости БВ.

С использованием математического планирования эксперимента были определены оптимальные вещественные составы БФЦ и температура при распределении добавки Таркосил-05 в объеме воды. Для выявления оптимального количества базальтового волокна, добавки Таркосил-05 и температуры ее распределения, а также установления аналитической зависимости между факторами и физико-механическими характеристиками материала применялось ортогональное центральное композиционное планирование. Для планирования были выбраны следующие факторы: количество базальтового волокна ( $x_1$ ), количество Таркосил-05 ( $x_2$ ), температура нагрева воды ( $x_3$ ), варьируемые в пределах:  $x_1=2-6\%$ ,  $x_2=0,01-0,1\%$ ,  $x_3=40-80^\circ\text{C}$ . В качестве выходного параметра, на которые влияют факторы эксперимента, был выбран предел прочности при сжатии ( $Y$ ) в возрасте 28 сут.

Установление уравнения регрессии и построение графических зависимостей проводили с использованием пакета прикладных программ Maple 9 (рис. 3).

С учетом оценки значимости коэффициентов уравнение регрессии принимает вид:

$$Y = 72.8 - 0.37x_1 + 3.63x_2 - 0.62x_3 - 6.28x_1^2 + 3.21x_2^2 - 24.3x_3^2 - 0.25x_1x_2 - 0.88x_1x_3 - 0.63x_2x_3.$$

Анализ результатов многофакторного планирования показал, что определяющее влияние на изменение физико-механических показателей оказывает вещественный состав вяжущего: содержание базальтового волокна и НК Таркосил-05<sup>®</sup>. Оптимальное содержание базальтового волокна лежит в пределах 4-5%, при котором достигаются максимальные значения по прочности на сжатие. При варьировании количества нанодисперсной добавки от 0,01 до 0,1% прочность на сжатие возрастает на 20-25%. Анализ влияния третьего фактора позволяет сделать вывод, что оптимальная температура, при которой происходит наиболее равномерное распределение наночастиц, лежит в пределах 55-65 С.

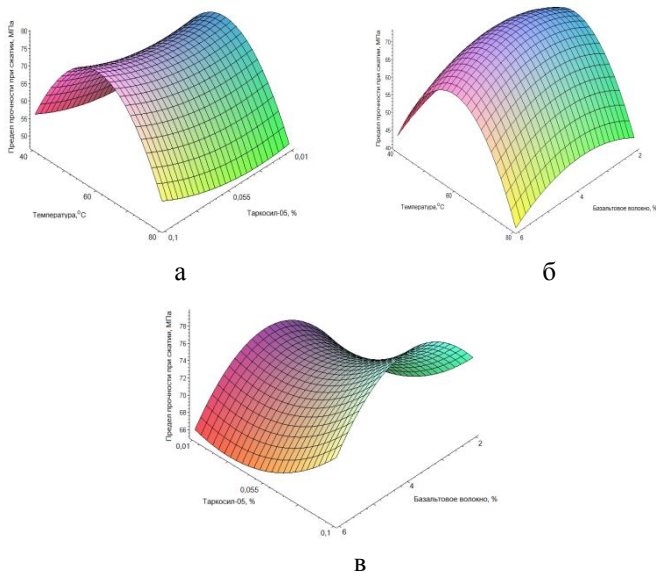


Рисунок 3 – Зависимость прочности при сжатии портландцемента в возрасте 28 сут от варьируемых факторов: а – при содержании базальтового волокна 4%,  
 б – при содержании добавки 0,055%, в – при температуре 60°С

Проведенные исследования показывают, что совместное использование базальтового волокна и НК в составе базальтофибробцемента приводит к синергетическому действию на физико-механические свойства. Нанокремнезем активно действует на процессы гидратации и связывая портландит, обеспечивает сохранность базальтового волокна и увеличение физико-механических характеристик. Ускорение процессов гидратации и управление структурообразованием на микро- и наноуровне позволяют получить материалы с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

#### Список литературы:

1. Боровских И.В., Хозин В.Г. Изменение длин базальтовых волокон при его распределении в композиционном вяжущем высокопрочных базальтофибробетонов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 2 (12). С. 233-237.

2. Степанова В.Ф., Бучкин А.В. Коррозионное поведение базальтового волокна в цементной матрице бетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. № 9. С. 22-26.
3. Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С. Исследование физико-химических свойств минеральных волокон, полученных с помощью электромагнитного технологического реактора // Вестник ВСГУТУ. 2013. № 5 (44). С. 123-129.
4. Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния // Патент РФ № 2067077. 1996.
5. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Розина В.Е., Буянтуев С.Л., Бардаханов С.П. Повышение коррозионной стойкости базальтофиброцементных композиций с нанокремнеземом // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2014. №4. С. 15-29.



## ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ

**Мартынов А.В., аспирант**

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева*

Одной из главных задач в области строительного материаловедения является повышение долговечности строительных материалов, изделий и конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред. Отечественными специалистами проведены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования по изучению стойкости композиционных материалов, в том числе на битумных связующих, в различных условиях эксплуатации [1,2,3,5,6].

Композиционные строительные материалы на основе битумных связующих используют для строительства дорог, гидроизоляций различных сооружений, в качестве кровельных материалов и т.д. [3,5,9,10]. Ухудшение физико-механических свойств и разрушение битумных и других композиционных материалов в большой степени характерно для климатических зон морского побережья [4,7,8]. В этой связи важное значение имеет установление стойкости асфальтобетонов, используемых при строительстве и ремонте строительных изделий и конструкций, которые подвергаются воздействию морской воды. В рамках данного исследования проводились испытания стойкости асфальтобетона в морской воде Черного моря. Для изготовления образцов асфальтобетона использовались следующие материалы: щебень гранитный крупностью 5-20 мм, песок карьерный природный, минеральный порошок из осадочных горных пород, битум БНД марки 60/90, модификатор – «Олазол». На основе выше приведенных компонентов было изготовлено восемь составов асфальтобетона следующих типов: 1 – щебёночный пористый, 2 – щебёночный плотный, 3 – песчаный пористый тип Г, 4 – песчаный плотный тип Г, 5 – песчаный пористый тип Г + 1% олазол, 6 – песчаный плотный тип Г + 1% олазол, 7 – песчаный пористый тип Д, 8 – песчаный плотный тип Д. Процентный состав компонентов каждой асфальтобетонной смеси подбирался в соответствии с ГОСТ 9128–97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Методы испытаний». Составы изготовленных образцов приведены в таблице.

Таблица 1 – Составы асфальтобетонов

Компоненты	Содержание компонентов в составах, масс %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Щебень	63	60	-	-	-	-	-	-
Отсев	33	32	94	94	94	94	34	34
Минеральный порошок	4	8	6	6	6	6	6	6
Природный песок	-	-	-	-	-	-	60	60
БНД (вне 100%)	3,75	5	6	7,5	6	7,5	6	9
Олазол	-	-	-	-	1	1	-	-

В ходе исследования были изучены показатели средней плотности смеси, изменения водонасыщения, предела прочности при сжатии при температурах  $(50\pm 2)^\circ\text{C}$ ,  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ ,  $(0\pm 2)^\circ\text{C}$  и водостойкости. Эти данные были получены в рамках испытания контрольных образцов, а также после их выдерживания образцов в течение 90 и 270 суток в морской воде.

Изменение физико-механических свойств исследуемых составов асфальтобетонов, приводятся на рис 1 – 6.

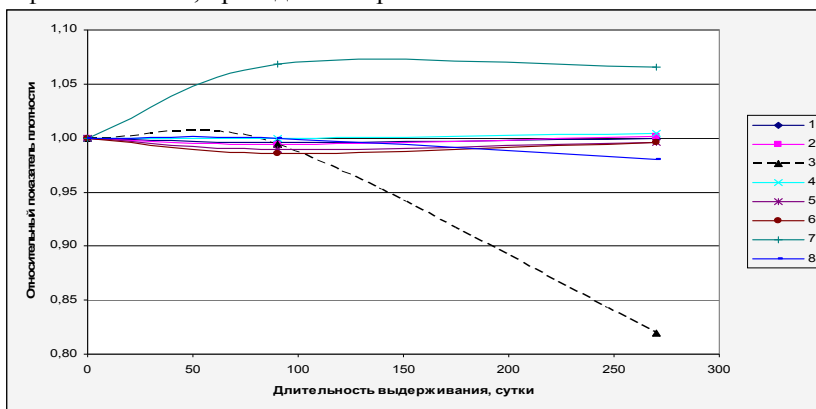


Рисунок 1 – Изменение средней плотности асфальтобетонов в морской воде от длительности выдерживания

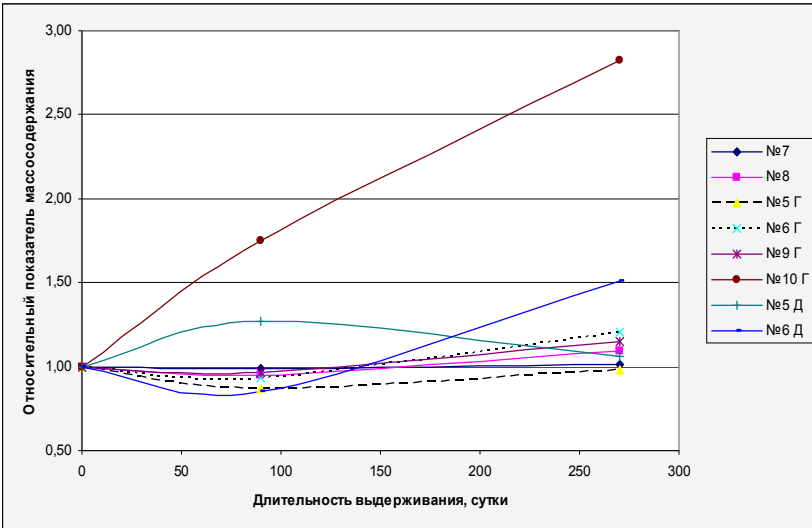


Рисунок 2 – Изменение водонасыщения асфальтобетонов в морской воде от длительности выдерживания

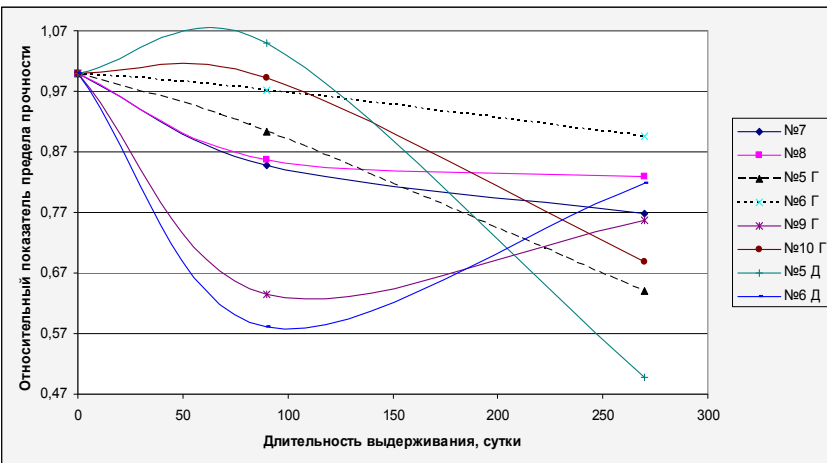


Рисунок 3 – Изменение предела прочности при сжатии при (20±2)°С асфальтобетонов в морской воде от длительности выдерживания

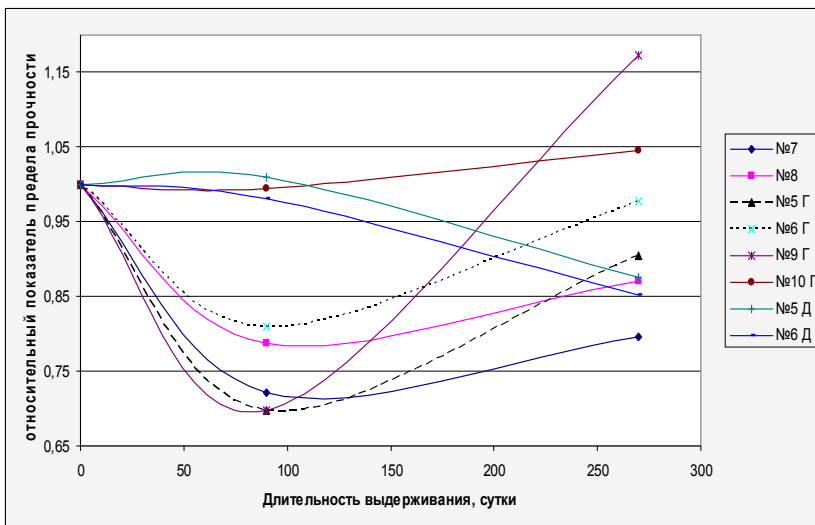


Рисунок 4 – Изменения предела прочности при сжатии при  $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$  асфальтобетонов в морской воде от длительности выдерживания

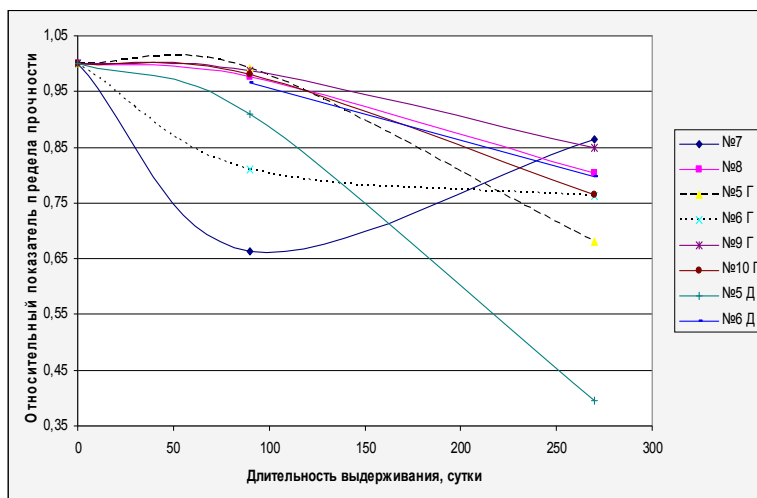


Рисунок 5 – Изменение предела прочности при сжатии при  $(0 \pm 2)^\circ\text{C}$  составов в морской воде от длительности выдерживания

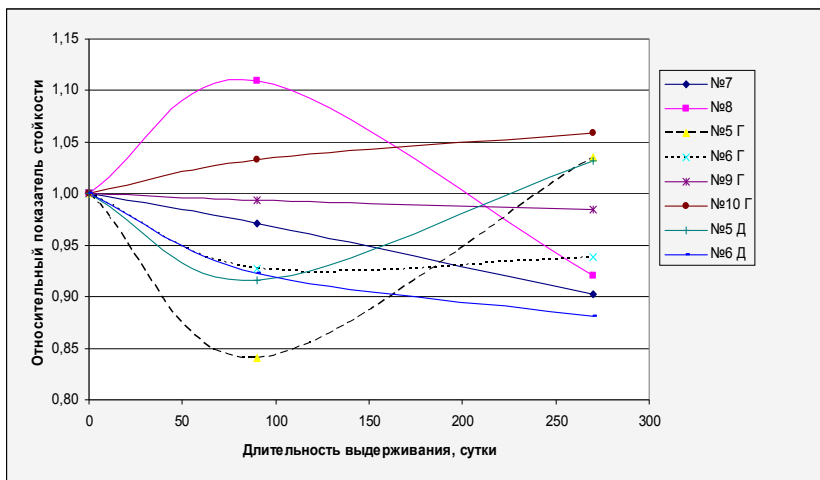


Рисунок 6 – Изменение водостойкости асфальтобетонов в морской воде от длительности выдерживания

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

- отклонения значений средней плотности у большинства составов относительно контрольных после выдерживания в воде незначительные (за исключением состава 3, у которого уменьшилась плотность на 18%, и состава 7, у которого увеличилась плотность на 7%);
- показатели водонасыщения при выдерживании в среде увеличились у большинства составов в пределах от 6,4 до 14,8%. Наибольшую динамику показали составы 8 (+50,8%) и 6 (+282,5%);
- предел прочности при сжатии при температуре  $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$  у асфальтобетона с увеличением времени выдерживания в агрессивной среде снижается, наибольшее отклонение зафиксировано у состава 7 (50,2%);
- предел прочности при сжатии при температуре  $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$  характеризуется общей динамикой снижения показателей для большинства образцов в пределах 2,3-20%, за исключением состава 5 (+17%);
- для предела прочности при сжатии при температуре  $(0\pm 2)^{\circ}\text{C}$  можно отметить такой факт, что с увеличением времени выдерживания в агрессивной среде у всех составов наблюдается снижение

показателей, у большинства составов в пределах 13,6 – 31,9%, а у состава 7 – 60,4%.

• коэффициент водостойкости показывает разнонаправленную динамику, у составов 3, 6, 7 увеличился в пределах от 3 до 6%, а у составов 1, 2, 4, 5, 8 снизился в пределах от 2 до 12%.

#### Список литературы:

1. Биологическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов и др. Саранск: ИМУ, 2001. 196 с.
2. Гезенцвей Л.Б., Горельшев Н.В., Богуславский А.М. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
3. Горельшев Н.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы. М.: Терра, 1995. 176 с.
4. Гохман Л.М., Золотарев В.А., Гезенцвей Л.Б. Исследование деформационной устойчивости асфальтобетона с применением ПБВ на основе ДСТ в статическом и динамическом режимах деформирования. М., 1977.
5. Золотарев В.А. Долговечности дорожных асфальтобетонов. Харьков: Вышш. шк., 1977. 155 с.
6. Калгин Ю.И., Чересельский В.В. Как продлить дорожный век // Автомоб. дороги. 2003. №1. С. 86-87.
7. Лаврухин В.П., Калгин Ю.И., Ерофеев В.Т. Усталостная долговечность асфальтобетонов на модифицированных битумах // Вестн. Мордов. ун-та. 2001. № 3-4. С. 128-135.
8. Лаврухин В.П., Калгин Ю.И., Ерофеев В.Т. Физико-механические свойства и усталостная долговечность асфальтобетонов на модифицированных битумах // Вестн. Волж. Регион. отд-ния РААСН. Н. Новгород, 2003. Вып. 6. С. 89-99.
9. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для строит. вузов. М.: Высш. шк., 2003. 701 с.
10. Эпоксидно-битумные композиты / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, Ю.И. Калгин, Н.И. Мищенко // Промышленное гражданское строительство. 2000. № 11. С. 22-25.
11. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность) / В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов, Ю.И. Калгин ; под общ. ред. Ю.М. Баженова и В.Т. Ерофеева. Саранск: ИМУ, 2009. 276 с.
12. Pavement recycling. Paris: PIARC, 2003. 148 pp.

## ПОВЫШЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОННЫХ КОМПОЗИТОВ

**Морозова М.В., аспирант, магистр,  
Айзенштадт А.М., д-р хим. наук, проф.,  
Махова Т.А., канд. хим. наук, доц.,  
Богусевич В.А.<sup>1</sup>**

*Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М. В. Ломоносова»*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Особые требования предъявляются к бетонам, предназначенным для строительства городов и поселков в условиях крайнего Севера и Арктики. Реализация программы развития территорий арктического региона, связана с использованием высокоэффективных строительных композитов. Для мелкозернистого бетона одним из ключевых свойств в этом плане является морозостойкость. Важным технологическим параметром, определяющим получение бетона с высокой морозостойкостью, является водоцементное (В/Ц) соотношение [1].

В последнее время одним из способов повышения эксплуатационных характеристик строительных материалов является использование наносистем природного и техногенного происхождения. Введение модифицирующих компонентов наноразмерного уровня в состав строительных композитов способствует направленному формированию их структуры и позволяет получать изделия с заранее заданными свойствами.

Поэтому, целью исследований, является разработка состава и технологических приемов получения морозостойких мелкозернистых бетонов с использованием добавки на основе сырьевых ресурсов природного и техногенного происхождения, с целью регулирования водоцементного соотношения.

Особенностью месторождения алмазов имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск) является значительное содержание в породах слагающих трубку глинистого минерала – сапонита (60-70%) [2,3].

Для изучения процесса динамики водопоглощения сапонит-содержащим материалом (ССМ) использовалась методика, описанная в статье [4].

Интенсивность процесса водопоглощения исследуемой твердой фазой должна зависеть от размерных характеристик материала. Вместе с тем ССМ представляет собой структуру с развитой поверхностью, поэтому для него корректнее использовать не размерную характеристику частиц, а удельную поверхность [5,6].

Изучение процесса водопоглощения высокодисперсным ССМ с учетом временного фактора проводили на трех независимо отобранных опытных пробах (три параллельных эксперимента).

Процесс диспергирования исходного материала проводили на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 сухим помолом (420 об/мин). Размер частиц определяли на анализаторе размера субмикронных частиц и дзета – потенциала Delsa Nano Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers методом измерения динамического и электрофоретического светорассеяния. Величина удельной поверхности  $S_{уд}$  высокодисперсного образца определялась методом сорбции азота на анализаторе Autosorb-iQ-MP.

В таблице 1 представлены результаты определения среднего размера частиц полученных пяти фракций ССМ и их удельная поверхность.

Таблица 1 – Параметры диспергирования, размерная и поверхностная характеристики образцов ССМ

№ фракции	Время диспергирования проб, мин.	Средний размер частиц, нм.	Удельная поверхность $S_{уд}$ , $m^2/kg$
1	5	1113±23	18610±10
2	10	827±52	19810±10
3	30	764±43	21210±20
4	60	591±28	35280±30
5	90	445±40	50670±20

Функциональные зависимости вида  $q=f(\tau)$  показывают, что в течение первых 15-20 минут зависимость характеризуется наличием активного, практически прямолинейного участка водопоглощения. После 30 минут от начала эксперимента реакционные смеси перестают проявлять водопоглощающие свойства.

На рисунке 1 приведена функциональная зависимость вида  $q=f(S_{уд})$  высокодисперсных систем при времени выдержки реакционной смеси 30 минут, которая показывает, что фракции ССМ №4 и №5 характеризуются практически одинаковым значением водопоглощения.



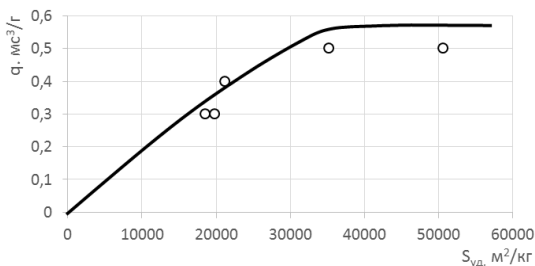


Рисунок 1 – График зависимости водопоглощения ССМ от  $S_{уд}$  при времени выдержки реакционной смеси 30 минут

Таким образом, можно заключить, что размерные и поверхностные характеристики предполагаемой добавки в бетонный композит на основе ССМ должны иметь значения не выше чем 600 нм ( $S_{уд}=35000$  м<sup>2</sup>/кг).

Опытные образцы мелкозернистого бетона основного состава готовились с добавкой ССМ, причем количество добавки в бетонную смесь составило 7% от массы цемента и песка, которое рассчитывалось по результатам кинетических исследований процесса водопоглощения из условия, что сапонит-содержащий материал за 30 минут изменит В/Ц соотношение смеси с 0,7 до 0,5. В качестве добавки использовалась фракция ССМ №5. Для приготовления контрольного образца бетона использовался состав, состоящий из тех же компонентов за исключением ССМ.

Среднее значение плотности мелкозернистого бетона основного и контрольного составов имеют практически одинаковое значение. Так, плотность бетона основного состава имеет значение 2,08 г/см<sup>3</sup>, контрольного – 2,09 г/см<sup>3</sup>

В последующем, для полученных композитов были определены прочностные характеристики при испытании на сжатие, а так же установлена марка по морозостойкости. Испытания проводились согласно методике на испытательном прессе ИП-1250.

Полученных данных при испытании на сжатие показали, что при добавлении в бетонную смесь добавки ССМ в наноразмерном уровне, прочность конечного композита повышается более чем в два раза (таблица 2).

Испытания на морозостойкость проводили ускоренным методом, выдерживая образцы в 5% растворе хлорида натрия (таблица 2).

Таблица 2 – Максимальные разрушающие нагрузки опытных образцов

Количество циклов (марка)	Контрольный состав		Основной состав	
	Максимальная нагрузка, Н/мм <sup>2</sup>	Модуль упругости, МПа	Максимальная нагрузка, Н/мм <sup>2</sup>	Модуль упругости, МПа
0	5,96	8,81	17,40	25,85
75 (F75)	5,11	7,72	23,73	32,43
100 (F100)	6,84	12,59	22,94	30,56
150 (F150)	3,00	4,36	22,20	30,50

На рисунке 2 представлены фотографии бетонных образцов после испытания на морозостойкость.



а



б

Рисунок 2 – Образцы бетонных кубиков после 150 циклов попеременного замораживания и оттаивания: а – образцы с добавкой ССМ; б – образцы без добавки

Результаты испытаний опытных образцов бетона показали, что при добавлении высокодисперсного сапонит-содержащего материала в композиционную смесь достигается марка бетона по морозостойкости F150, в то время как контрольные образцы имеют марку F75. Необходимо отметить, что для образцов бетона основного состава испытания на морозостойкость были завершены после 150 циклов замораживания и оттаивания.

Выводы:

Проведенная апробация опытных образцов с ССМ показала:

1. Добавка на основе ССМ повышает прочность бетонного композита более чем в 2 раза.
2. Достигается марка по морозостойкости бетонных образцов F150.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского  
Министерства образования в рамках базовой части гос. задания.*

**Список литературы:**

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд. АСВ, 2002. 500 с.
2. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / под ред. О.А. Богатикова. М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
3. Коршунов А.А. Геологическое обоснование складирования и использования отходов обогащения, кимберлитовых руд (на примере месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова) // Автореф. дис... канд. тех. наук: 25.00.36 Архангельск: Изд-во АГТУ, 2010. 23 с.
4. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутьгин А.С. Водопоглощение сапонитсодержащих отходов обогащения кимберлитовых руд // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 11. С. 29-31.
5. Смирнов В.А., Королев Е.В., Альбакасов. Размерные эффекты и топологические особенности наномодифицированных композитов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство», 2011. №4 (14). С. 17-26.
6. Тутьгин А.С. Нанодисперсные модификаторы их отходов обогащения алмазодобывающей промышленности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2013, с. 22.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА МОДИФИКАЦИИ ПИГМЕНТОВ

**Нелюбова В.В., канд. техн. наук, доц.,**

**Никулина М.В., магистрант**

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

В настоящее время рынок строительных материалов насыщен разнообразной по свойствам и ценовой категории продукцией, что требует от производителей высокой конкурентоспособности производимой продукции. Важную роль при повышении этого показателя играет не только повышение эксплуатационных и физико-механических свойств, но и повышение эстетического и архитектурного уровня.

На сегодняшний день для окрашивания строительных композитов в основном применяются синтетические железноокисные пигменты, потребительские свойства которых больше подходят для применения в лакокрасочной промышленности, нежели для цементных и известково-кремнеземистых систем. При использовании монофракционных по гранулометрическому составу и пигментов с высокими показателями удельной поверхности и укрупненности для окрашивания таких систем можно наблюдать линейную зависимость снижения прочностных характеристик с повышением количества вводимой добавки [1].

Пигменты на основе отходов, формируемых в процессе гидроскладирования рудной пульпы при СГД богатых железных руд имеют полифракционный гранулометрический состав, что сказывается на красящей способности, однако не вызывает снижения прочностных характеристик готового композита.

Одним из наиболее эффективных способов модификации пигментов и повышения их удельной поверхности, следовательно и красящей способности является диспергирование и модификация поверхности.

Поэтому актуальным является разработка способов модификации для производства готового к использованию продукта.

Диспергирование пигмента на основе техногенных отходов производства руды позволяет получить полифракционные по гранулометрическому составу пигменты, имеющие при этом высокое значение удельной поверхности и хорошую красящую способность.

При эффективном диспергировании необходимо учитывать стабилизацию суспензии, в том числе снижению вероятности

«пигментного шока». Современные выпускные формы пигментов имеют модифицированные поверхности [2].

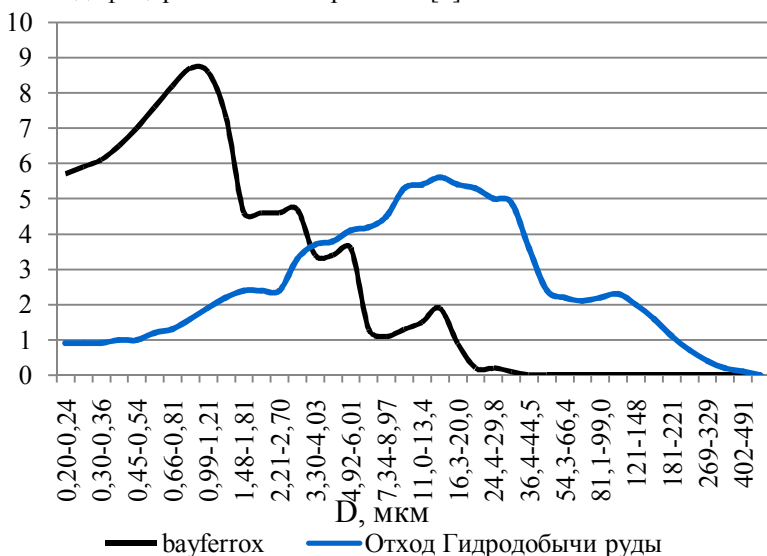


Рисунок 1 – Гранулометрический состав синтетического пигмента Bayferrox и пигмента техногенного происхождения

Смачиватели и диспергаторы ускоряют смачивание вновь образованных поверхностей, повышают эффективность и сокращают время диспергирования. Молекулы добавок адсорбируются на новых межфазных границах, тем самым минимизируют взаимодействие между уменьшающимися частицами пигмента. Происходит стабилизация частиц, что позволяет предотвратить их флокуляцию и повторную агломерацию.

Электростатическое отталкивание является очень важным механизмом стабилизации частиц пигмента во время мокрого помола. В этом случае имеет место кулоновское взаимодействие между одноименно заряженными частицами. Диспергатор, адсорбированный на поверхности пигмента, диссоциирует на полимерный сегмент, который является анионным, и катионные противоионы. Эти противоионы не адсорбируются, а образуют подвижное диффузное облако на внешней границе полимерной оболочки.

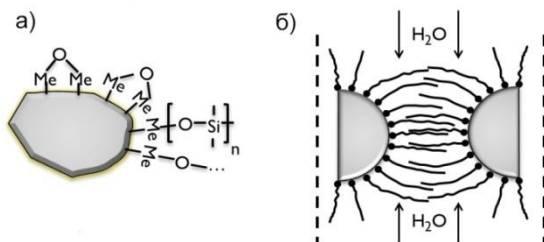


Рисунок 2 – а)Хемосорбция модификатора поверхности;  
б)Схематическое представление стерической стабилизации

Во время стерической стабилизации молекулы адсорбированной добавки образуют полимерную оболочку вокруг частицы пигменты, которая состоит из якорных групп добавки и диффузного слоя полимерных цепей. Для оптимальной стабилизации полимерные цепи должны обладать хорошей растворимостью в окружающей частицы пигмента среде.

В отличие от электростатической стабилизация полимером оказалась более удобной из-за меньшей чувствительности к электролитам. Исходя из литературных данных [3], для эффективной стабилизации частиц менее 10 мкм необходим и достаточен физический абсорбционный слой 10 нм. Таким образом, за счет разработки и применения новых видов пигмента станет возможным расширение сырьевой базы пигментов, пригодных для окрашивания различных строительных композитов и снижение нагрузки на окружающую среду.

#### Список литературы:

1. Стрельцова Т.П. Природные пигменты на основе отходов гидродобычи руд [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук / Т.П. Стрельцова. Белгород: БГТУ им. Шухова, 2010. 25с.
2. Стрельцова Т.П., Лопатко А.И., Никулин Ю.Ю. Отходы КМА для окрашивания цементных систем // Сухие строительные смеси. 2014. № 2. С. 32-33.
3. Нечаев А.Ф., Стрельцова Т.П., Мухачева В.Д., Ломаченко С.М. Некоторые аспекты агрегативной устойчивости пигментных суспензий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 122-124.
4. Гридчин А.М., Строкова В.В., Карацупа С.В. К вопросу утилизации карьерных отходов Лебединского ГОКа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2004. № 8. С. 127.
5. Лесовик В.С., Строкова В.В., Нечаев А.Ф., Стрельцова Т.П. Способ получения железоокисных пигментов // патент на изобретение RUS 2402583 01.07.2009.

## **К ВОПРОСУ О МОДИФИЦИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ БИОЦИДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ**

**Нелюбова В.В., канд. техн. наук, доц.,  
Тумашова М.Ю.**

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

Современные технологии и способы производства материалов строительного назначения позволяют получать качественные изделия с высокими начальными физико-механическими характеристиками даже на основе нетрадиционного и некондиционного сырья [1–3]. Тем не менее, вопросы долговечности строительных композитов в процессе их эксплуатации все еще остается открытым.

Одним из наиболее разрушительных процессов воздействия на структурные особенности и характеристики материалов является коррозия под действием различных агрессивных факторов. При этом все большую актуальность приобретают работы, направленные на снижение воздействия или устранение последствий биокоррозии, которая развивается в результате жизнедеятельности различных микроорганизмов. Наиболее эффективным в данном случае способом борьбы с данным эффектом является использование биоцидных компонентов различного назначения.

Так, авторами для придания фунгицидных свойств тяжелым и легким бетонам предлагается использование полифункциональных модификаторов на основе разработанного в БГТУ им. В.Г. Шухова резорцинформальдегидного суперпластификатора и неорганических ускорителей твердения, обладающих выраженным фунгицидным действием [4]. Установлено, что введение полифункциональных модификаторов в состав бетона в количестве 0,1–0,25% от массы цемента полностью подавляет рост плесневых грибов, выделенных с поверхности аналогичных и незащищенных образцов бетонов. Прочностные характеристики цементного камня сдобавками при заражении спорами плесневых грибов не снижаются, а наоборот, несколько увеличиваются за счет увеличения подвижности цементного теста, снижения В/Ц, уменьшения микротрещин в телебетона и уплотнения его структуры.

На протяжении последних двух десятилетий сложился ряд научных школ, научная деятельность которых направлена на решение проблем, связанных с биокоррозией. Учеными Национального

исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева для повышения стойкости композиционных материалов к биоповреждениям предлагается широкий спектр способов [5]. В частности, установлено, что использование биоцидных добавок на основе гуанидина приводит к повышению стойкости цементных композитов к воздействию агрессивных сред, моделирующих продукты жизнедеятельности микроорганизмов. Выделены самые неблагоприятные сочетания компонентов агрессивной среды [6]. Авторами [7] уделяется особое внимание экономическим и экологическим аспектам биокоррозии композитов строительного назначения. Рассматривается проблема негативного эффекта биоповреждений в строительстве. Раскрыты особенности биоповреждений, их влияние на скорость износа строительных сооружений. Приводится методика расчета экономического и экологического ущерба от биоповреждений строительных конструкций.

Представителями Липецкого государственного технического университета [8] предлагается использование добавок катапин-бактерицидов для повышения биостойкости материалов. Авторами определены оптимальные значения концентрации бактерицидной добавки Инкор-3 в бетоне с учетом рационального применения в гидротехнических сооружениях. Получены биостойкие бетоны для гидротехнических сооружений металлургического производства, имеющие морозостойкость F1000 и водонепроницаемость W10.

Стоит отметить, что повышение биостойкости материалов актуально не только для бетонных/железобетонных изделий. Отдельной областью применения указанных биоцидных компонентов широкого спектра действия являются различные лакокрасочные материалы и покрытия на их основе. Однако, большой объем публикаций по данной тематике не позволяет привести конкретные ссылки на опубликованные работы. Тем не менее, общими для всех публикаций является тот факт, что для увеличения биостойкости лакокрасочных материалов и покрытий используются биоциды на химических основах, отличающихся от традиционно применяемых для бетонных материалов. При этом к биоцидным компонентам предъявляются более жесткие требования по экологичности, стоимости и ряду других параметров.

Анализ публикаций российских авторов позволяет сделать вывод о перспективности разработок строительных композитов различного функционального назначения с повышенными биостойкими характеристиками. Однако, основной проблемой большинства современных биоцидных компонентов, предлагаемых компаниями-



производителями строительной химии, заключается в их нестойкости в процессе эксплуатации, а также снижении эксплуатационных характеристик материалов с их использованием. Кроме того, введение дополнительных компонентов в составы классических бетонов зачастую приводит к увеличению их стоимости. В связи с этим целесообразна разработка экологичных, экономичных и высокоэффективных биоцидов, способных качественно повысить эффективность производства и применения материалов с их использованием.

#### Список литературы:

1. Строкова В.В., Жерновский И.В., Огурцова Ю.Н., Максаков А.В. Особенности проектирования строительных композитов на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 16–19.
2. Фомина Е.В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алюмосиликатной породы в составе композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 31–35.
3. Лютенко А.О., Лебедев М.С., Строкова В.В. Анализ отходов горной добычи как потенциального источника сырья для производства дорожно-строительных материалов // Вестник ВолгГАСУ. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 31 (50). С. 445–449.
4. Косухин М.М., Огрель Л.Ю., Павленко В.И., Шаповалов И.В. Биостойкие цементные бетоны с полифункциональными модификаторами // Строительные материалы. 2003. № 11. С. 48–49.
5. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Семичева А.С., Морозов Е.А. Биологическое сопротивление материалов: монография. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2001. 196 с.
6. Казначеев С.В., Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Спиринов В.А., Светлов Д.А., Богатова С.Н. Влияние добавок на основе гуанидина на стойкость цементных композитов в условиях воздействия модельной бактериальной среды // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. Политехническая. 2012. Вып. 1 (20). С. 30–34.
7. Дергунова А.В., Борискин А.С. Общие принципы определения экономического и экологического ущерба от биоповреждений строительных конструкций // Транспортное строительство. 2010. №1. С. 14–16.
8. Жеребятьева Т.В., Корнеев А.Д. Биостойкие бетоны для гидротехнических сооружений // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 72–75.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ**

**Нелюбова В.В., канд. техн. наук, доц.,**

**Бондаренко А.И., канд. техн. наук,**

**Бондаренко Д.О.,**

**<sup>1</sup>Вешнякова Л.А.**

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

*<sup>1</sup>Северный (Арктический) Федеральный университет*

Модифицирование вяжущих на основе портландцемента системами различного размерного уровня и происхождения стало применяться в отечественной практике несколько десятков лет назад. Получение композиционных (многокомпонентных) вяжущих основано на модифицировании вяжущих в процессе производства минеральными и органическими добавками.

В настоящее время известно множество различных видов многокомпонентных вяжущих. Наиболее распространенными являются тонкомолотые цементы и вяжущие низкой водопотребности. Данный вид вяжущих позволяет решать задачи как снижения расхода самого дорогостоящего компонента – портландцемента, так и значительного увеличения активности композиционных вяжущих по сравнению с исходным цементом.

В настоящее время происходит постепенное замещение традиционных бетонов многокомпонентными. В последних используются химические модификаторы структуры, свойств и технологических характеристик бетона, в том числе комплексные модификаторы, включающие несколько десятков индивидуальных химических добавок, активные минеральные компоненты различной дисперсности и т.д. Вместе с тем, многокомпонентность системы повышает одновременно требования к дозированию материалов и перемешиванию компонентов бетонной смеси.

Идея изучения и разработки многокомпонентных вяжущих веществ, активизированных посредством механической обработки, таких как ВНВ, не нова. В настоящее время в России сформированы научные школы по повышению эффективности и свойств композиционных вяжущих под руководством ведущих отечественных ученых, к числу которых относятся Ю.М. Баженов, Ш.Т. Бабаев, Б.Э. Юдович и др. Однако, принципы проектирования эффективных

композиционных вяжущих с учетом генетических особенностей сырья разработаны учеными научной школы БГТУ им. В.Г. Шухова: В.В. Строковой и В.С. Лесовиком [1–6].

Тем не менее, в настоящее время существует достаточно большое количество работ, посвященных разработке состава и изучению свойств композиционных вяжущих на основе различного сырья. Подбор составов вяжущих в данном случае осуществляется из соображений достижения максимальных физико-механических свойств как самих вяжущих, так и материалов на их основе с привязкой к конкретному месторождению минерального сырья. При этом не уделяется должного внимания составу и свойствам кремнеземистого сырья как компонента вяжущего.

Основным производственным процессом получения композиционного вяжущего является помол, интенсивность и энергоемкость которого зависят от типа помольного агрегата. В связи с этим рядом ученых активно используются различные активаторы-измельчители. Однако, выводы об эффективности того или иного агрегата формируются исключительно на данных о гранулометрии и свойствах вяжущих, что не позволяет в полной мере оценить характеристики материалов. При этом учет генетической природы и исходного запаса внутренней энергии минерального сырья природного и техногенного происхождения позволил бы существенно сократить время и энергозатраты на помол, а также проранжировать дезинтегрирующие устройства в зависимости от типа кремнеземистого компонента.

Исследования по влиянию механоактивационной диспергации сырья и композиционных вяжущих на их свойства проводятся в России более 30 лет. Так, рядом научных школ предложены рациональные способы помола как минерального сырья, так и композиционных вяжущих на их основе с точки зрения максимальных эксплуатационных характеристик последних. Однако, изучение фазовых и структурных преобразований в компонентах в процессе механоактивационного воздействия не производилось, что напрямую зависит от генетических и типоморфных особенностей исходного сырья независимо от его происхождения.

Многочисленные исследования, проводимые отечественными учеными, посвящены изучению свойств строительных композитов на основе композиционных вяжущих, валовая доля которых представлена стеновыми изделиями из мелкозернистого бетона. Однако, высокая эффективность и свойства вяжущих позволяет рекомендовать их для

материалов различного функционального назначения, в том числе работающих в экстремальных условиях (например, в районах Крайнего Севере). При этом прогнозирование свойств вяжущих на стадии подбора сырья позволит проектировать строительные материалы различного функционального назначения с заранее заданными свойствами.

В зарубежной практике исследований имеется существенный объем публикаций о составе и свойства композиционных вяжущих, полученных преимущественно модифицированием исходных вяжущих нано- и микроразмерными системами. Как правило, такое модифицирование используется с целью улучшения отдельных свойств или композитов (введение фуллереноподобных частиц для улучшения реологических характеристик бетонных смесей, углеродных нано- и микроволокон для микроармирования композитов, применение нанодисперсного кремнезема в качестве микронаполнителя и компонента вяжущих с высокой реакционной активностью и т.д.). Необходимо отметить, что в случае зарубежных публикаций речь идет о многокомпонентных системах, зачастую полученных не в совокупности в результате одного производственного процесса, а параллельно, т.е. в отдельности. Такой подход существенно отличается от отечественной идеологии получения композиционных вяжущих совместных измельчением компонентов.

Тем не менее, среди зарубежных исследовательских центров и университетов, занимающихся вопросами получения композиционных вяжущих для повышения эксплуатационных характеристик строительных композитов и снижения экологического давления на окружающую среду, можно отметить Национальный институт стандартов и технологий США (Institute of Standards and Technology, Гейтерсбург, США), Центр современных цементных материалов (Center for Advanced Cement-Based Materials Northwestern University, Эванстон, США), Веймарский университет «Баухаус» (Bauhaus-Universität Weimar, Веймар, Германия), Институт конструкторских исследований национального научно-исследовательского совета Канады (Institute for Research in Construction National Research Council, Канада), Отдел гражданского строительства и механики университета Милоуки (Висконсис) (Department of Civil Engineering and Mechanics University of Wisconsin-Milwaukee, США), и др.

При этом в работах исследователей доминирует «моновариантный» подход к изучению влияния разноразмерных систем на структурообразование и свойства синтезируемых композитов

(отсутствует вариативность размерных параметров минеральных систем). Основная часть современных зарубежных фундаментальных исследований в области создания и использования композиционных (многокомпонентных) вяжущих связана с работой с так называемыми «чистыми», т.е. изолированными, системами. Вследствие этого можно констатировать отсутствие системного подхода и, как результат, системы знаний в области управления процессами структурообразования на различных размерных уровнях организации неорганических вяжущих при участии фазово-размерной гетерогенных минеральных компонентов, входящих в их состав.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках: государственного задания; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.*

#### **Список литературы:**

1. Строкова В.В. Оценка качества техногенного сырья для промышленности строительных материалов // Горный журнал. 2004. №1. С. 78–79.
2. Строкова В.В., Алфимова Н.И., Наваретте Велос Ф.А., Шейченко М.С. Перспективы использования вулканического песка Эквадора для производства мелкозернистых бетонов // Строительные материалы. 2009. № 2. С. 32–33.
3. Строкова В.В., Жерновский И.В., Фоменко Ю.В. О влиянии размерных параметров полиморфных модификаций кварца на его активность в композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2007. №3. С. 72–73.
4. Алфимова Н.И., Жерновский И.В., Яковлев Е.А., Юракова Т.Г., Лесовик Г.А. Влиянии генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 91–94.
5. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Шейченко М.С., Яковлев Е.А. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 30–33.
6. Трунов П.В., Алфимова Н.И., Вишневецкая Я.Ю., Евтушенко Е.И. Влияние способа помола на энергоемкость изготовления и качественные характеристики композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 37–39.

## **К ВОПРОСУ ГИДРОФОБИЗАЦИИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ**

**Огурцова Ю.Н., аспирант**

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

В связи с широким использованием малых архитектурных форм (МАФ) для оформления и благоустройства пешеходных и садово-парковых территорий возникает проблема сохранения их эксплуатационных и декоративных свойств при постоянном атмосферном воздействии. Использование МАФ актуально для повышения комфортности среды жизнедеятельности и соответствует основным принципам архитектурной геоники [1,2]. К МАФ относят: цветочницы, урны, тумбы, заборы, фасадные камни, плиты, скамьи, балясины и другие элементы благоустройства.

Особенностью МАФ является их небольшая толщина, что вызывает интенсивную миграцию влаги в толще бетона, высолообразование и преждевременное разрушение. Изделия МАФ имеют сложный профиль, требуют сохранения высокой геометрической точности в процессе производства и эксплуатации. Для сохранения надлежащего вида изделий нежелательно наличие трещин, сколов, пятен и каких-либо других дефектов на поверхности. Кроме этого основными требованиями, предъявляемыми к бетонам для МАФ являются: атмосферостойкость, возможность получения тонкостенных деталей, легкость шлифовки и полировки [3].

Для производства МАФ, как правило, используется мелкозернистый бетон на основе портландцемента (для покрывающего слоя) и шлакопортландцемента (для основного слоя). Для снижения себестоимости при производстве МАФ используются многокомпонентные вяжущие, например, вяжущее низкой водопотребности, тонкомолотый цемент, а также техногенные пески в качестве заполнителей [4,5]. Для придания декоративных свойств во внешний слой вводятся пигменты.

Применяются две технологии производства МАФ: вибролитье и вибропрессование. Отличие данных технологий заключается в способе формирования. При вибролитьевой технологии форма (пластиковая, металлическая) поэтапно заполняется подвижной бетонной смесью на вибростоле. При использовании вибропрессования полусухая бетонная смесь подвергается одновременно вибрации и давлению.

Изделия, получаемые вибропрессованием, отличаются повышенными эксплуатационными характеристиками за счет высокой плотности бетонной матрицы. Это обеспечивает не только высокие прочностные характеристики, но и морозостойкость, а также низкое водопоглощение. Использование вибролитьевой технологии позволяет получать изделия различной формы с гладкой глянцевой поверхностью, но с пониженными эксплуатационными характеристиками в сравнении с технологией вибропрессования.

Для решения этой проблемы и, в частности, для защиты МАФ от атмосферных воздействий используют окрашивание или пропитку гидрофобизирующими растворами.

Гидрофобизацию можно также осуществлять в процессе производства изделий с использованием гидрофобизирующих добавок.

В зависимости от состава и принципа действия выделяют следующие типы гидрофобизирующих добавок [6, 7]:

1. водоотталкивающие материалы, реагирующие с продуктами гидратации цемента (кальциевые и аммонийные соли жирных кислот, растительные и животные жиры и эмульсии; материалы из кубовых остатков нефти, восковые и битумные эмульсии);

2. тонкоизмельченные инертные твердые вещества, заполняющие поры материала (каолины, тальк, бентонит и кремнеземистые порошки);

3. тонкоизмельченные химически реакционно-способные твердые вещества (силикаты и тонкоизмельченные доменный шлак и пуццоланы – зола-унос и диатомит);

4. водопонижающие, воздухоовлекающие и ускоряющие твердение добавки;

5. смешанные (метилсиликонаты, этилсиликонаты).

При этом добавки из групп 2–4, уменьшают водопроницаемость бетона, т.е. перемещение влаги под давлением, а добавки из группы 1 снижают влагопроницаемость – миграцию влаги по капиллярам. Ранее по ГОСТ 24211–91<sup>1</sup> гидрофобизирующие добавки классифицировали на 3 группы в зависимости от снижения водопоглощения бетона через 28 суток: I группа – в 5 раз и более; II группа – в 2–4,9 раза; III группа – в 1,4–1,9 раз. В действующем документе разделение на группы не производится. Возможными дополнительными эффектами введения данных добавок в бетоны являются: снижение скорости тепловыделения, замедление скорости схватывания и твердения, снижение прочности, повышение морозостойкости и коррозионной

---

<sup>1</sup> Статус документа: заменен. Действующий документ: ГОСТ 24211–2008.

стойкости бетонов и растворов, снижение сцепления с покрытиями (рис. 1).

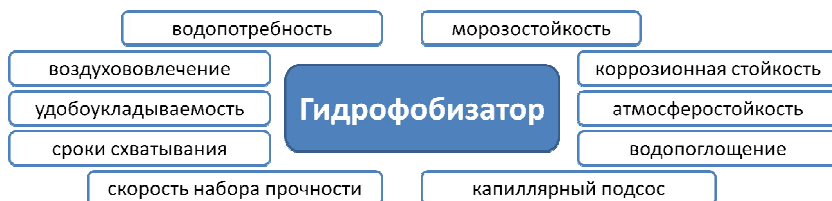


Рисунок 1 – Влияние гидрофобизатора на свойства бетонной смеси и бетона

Имеет место возможность сочетания добавок из разных групп для совмещения водо- и влагопроницаемости, а также для устранения негативного влияния на свойства бетона и бетонной смеси.

Известны следующие способы введения в бетонную смесь гидрофобизаторов:

- осаждение гидрофобизатора на минеральном носителе, путем совместного помола;
- омыление водонерастворимых продуктов;
- сульфирование;
- эмульгирование;
- агломерирование в гранулы, брикеты, таблетки, гранулированные порошки [9].

Доказана возможность использования материалов различного происхождения в качестве минеральных носителей гидрофобизирующих добавок [8,9]. Данный способ применяется с целью отсрочки времени получения гидрофобного эффекта до более поздних стадий гидратации и твердения цементов [8]; для повышения эффективности транспортировки, хранения добавок и использования их при отрицательных температурах [9].

В качестве носителя гидрофобизирующего компонента может быть использован гранулированный наноструктурирующий заполнитель пролонгированного действия (ГНЗ), разработанный в БГТУ им. В.Г. Шухова [10–13].

При тепловлажностной обработке (ТВО) изделий в ядре гранулированного заполнителя (ГЗ) происходит взаимодействие между кремнеземным (опока, диатомит, зола-уноса и др.) и щелочным (NaOH) компонентами с образованием водного раствора полисиликатов натрия.



При введении гидрофобизатора в смесь компонентов ядра ГЗ становится возможным повышение гидрофобизирующей способности данного раствора и снижения водопоглощения до 6 раз при длительном выдерживании в воде. Использование ГЗ с гидрофобизирующим компонентом в его составе позволяет, снизить расход цемента и гидрофобизирующей добавки при сохранении требуемых эксплуатационных характеристик.

Объемы производства малых архитектурных форм ниже, чем бетонных и железобетонных изделий для строительства. Однако, требования к благоустройству и популярность дизайна городской среды растут, что требует использования для производства МАФ современных высококачественных строительных материалов, в том числе, композиционных вяжущих, химических добавок. При этом важно учитывать, что малые объемы производства МАФ, разнообразие форм, а, следовательно, сложность автоматизации и унификации процесса производства приводит к повышению их стоимости. В связи с этим, при разработке бетонов для МАФ должна быть решена задача обеспечения высоких эксплуатационных характеристик изделий при низких материальных затратах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках: государственного задания, программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; в рамках стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам.*

#### **Список литературы:**

1. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 9–12.
2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 213 с.
3. Зверев В.М., Мельков Б.Н., Шерстюков М.С. Бетоны для изделий малых архитектурных форм // Труды Псковского политехнического института. 2011. № 14.2. С. 117–121.
4. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках: дис.... доктора техн. наук. Белгород. 2009. 496 с.
5. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Голиков В.Г., Фоменко Ю.В. Мелкозернистые бетоны для малых архитектурных форм // Строительные материалы. 2005. № 11. С. 66–68.
6. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.

7. Permeability Reducing Admixtures. Miscellaneous Publication. M.P. – 20, Part I. Standarts Association of Australia. 1977.
8. Косинов Е.А. Регулирование свойств цемента модифицированной гидрофобизирующей добавкой: дис.... канд. техн. наук. М. 2010. 162 с.
9. Соловьев В.И. Бетоны с гидрофобизирующими добавками. Алма-Ата: Наука, 1990. 112 с.
10. Патент РФ № 2361834, 15.11.07. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Ходыкин Е.И., Гринев А.П., Сопин Д.М., Мосьпан А.В. Гранулированный заполнитель на основе природных осадочных высококремнеземистых пород для бетонной смеси, состав бетонной смеси для получения бетонных строительных изделий, способ получения бетонных строительных изделий и бетонное строительное изделие // Бюл. № 20.
11. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Мосьпан В.И., Ходыкин Е.И., Гринев А.П. Конструкционные легкие бетоны на основе активных гранулированных заполнителей // Строительные материалы. 2009. №10. С. 23–25.
12. Строкова В.В., Лозовая С.Ю., Соловьева Л.Н., Огурцова Ю.Н. Прогнозирование свойств конструкционно-теплоизоляционного бетона на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 15–19.
13. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Максаков А.В., Огурцова Ю.Н. Механизм структурообразования строительных композитов с гранулированным наноструктурирующим заполнителем // Строительные материалы. 2011. № 9. С. 64–65.

## СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

**Павленко Н.В.,** канд. техн. наук, доц.,

**Боцман Л.Н.,** канд. техн. наук, доц.,

**Хотомченко О.В.,** магистрант,

**Сивальнева М.Н.,** аспирант

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

Ни для кого не секрет, что в последние годы в связи со стабилизацией экономики в нашей стране неуклонно возрастает потребность населения в комфортном, доступном и, что немаловажно, в эксплуатационно-экономичном жилье.

На сегодняшний день в России все большую популярность приобретает малоэтажное строительство. Так, по данным статистики из общего количества реализуемых проектов 65% приходится именно на малоэтажное жилье. Современный рынок строительных материалов предлагает всеобъемлющий ассортимент товара. Но большинство застройщиков реализуют проекты загородных домов с помощью стеновых материалов на основе ячеистых бетонов.

В России после многолетнего перерыва 30 января 2007 г. в НИИЖБ состоялось обсуждение разрабатываемых отечественных стандартов «Бетоны ячеистые автоклавного твердения» и «Изделия из автоклавного ячеистого бетона». На данном обсуждении специалисты с сожалением отмечали тот факт, что практика в стране существенно опередила науку [1]. В конце 50-х годов из Польши в СССР было поставлено несколько предприятий по производству ячеистого бетона производительностью 200 тыс. м<sup>3</sup> каждый. Для создания норм по проектированию и разработке соответствующих стандартов в НИИЖБ, а также в Санкт-Петербурге и Екатеринбурге были созданы специальные лаборатории, которые вели активную работу в этом направлении. Были созданы документы по проектированию, стандарты на испытания, рекомендации по технологии изготовления, монтажу конструкций, отделке, эксплуатации и т.д. Объемы ежегодного изготовления превысили 3 млн. м<sup>3</sup>, причем наибольшее распространение получили крупноразмерные конструкции, в том числе размером с комнату. Однако в 90-е годы производство ячеистого бетона в стране существенно сократилось, большинство лабораторий закрылось, а наука перешла на самообслуживание. Наметившееся в последние годы оживление на строительном рынке не замедлило сказаться и на этой отрасли. Вошли в

действие и строятся новые современные заводы общей производительностью свыше 3,5 млн. м<sup>3</sup>, где применяются передовые зарубежные и отечественные технологии, обеспечивающие получение бетонов с высокими технико-экономическими показателями.

Первые жилые дома из пенобетона отечественного производства были возведены в Санкт-Петербурге и Риге в 1960 году и несмотря на сложные природно-климатические условия Прибалтики успешно используются по сей день. Причем даже на домах не защищенных отделкой нет трещин, отслоения, шелушения кладки.

В Норильске и Ангарске пятиэтажные жилые дома из пенобетона, возведенные по проектам ЛенЗНИИЭПа успешно служат уже более 40 лет. Таким образом ячеистый бетон это надежный и долговечный строительный материал, который легко производится из существующего местного с использованием различных отходов. Наиболее высококачественный ячеистый бетон производится из мелких и очень мелких песков, которые в разведанных месторождениях составляют более 70%.

Проводимые сертификационные испытания этих бетонов в соответствии с отечественными стандартами 1970–80-х гг. выявили несоответствие характеристик современных отечественных бетонов требованиям этих стандартов, что является определенным тормозом в их широком применении. Лабораторией ячеистых бетонов НИИЖБ (Т.А. Ухова) при технической и финансовой поддержке и участии указанных заводов подготовлены проекты стандартов и организовано их обсуждение на секции НТС НИИЖБ. Проекты одобрены в качестве основы и работа над ними будет продолжена с учетом замечаний рецензентов.

Сейчас половина всех частных домов и коттеджей построена именно при помощи ячеистых бетонов, который благодаря своим прекрасным эксплуатационным характеристикам стал достойной альтернативой таким традиционным строительным материалам, как кирпич или дерево [2].

Ячеистый бетон представляет собой легкий, но в то же время прочный и надежный строительный материал. Он имеет гораздо меньший вес, нежели, например, силикатный кирпич. Ячеистый бетон отличается прекрасными теплоизоляционными свойствами. Благодаря наличию в структуре блоков небольших пор, наполненных воздухом, материал аккумулирует тепло, а также обеспечивает хорошую звукоизоляцию.

Кроме того, ячеистый бетон легко подвергается любой обработке даже при помощи пилы или стамески, что позволяет использовать его в качестве самостоятельного отделочного или декоративного материала. С помощью газобетона застройщик может построить коттедж и создать любые архитектурные решения. Благодаря своей ровной поверхности блоки ячеистого бетона обладают прекрасным сцеплением с растворами, поэтому в процессе кладки застройщик получает практически монолитные, и при этом невероятно надежные конструкции.

Используя ячеистые бетоны, застройщик может сэкономить на отделочных материалах. Дело в том, что блоки выпускаются с точным соблюдением размеров. Следовательно, стены не нуждаются в выравнивании.

Ячеистые бетоны занимают лидирующие позиции по показателям огнестойкости и устойчивости к негативному воздействию окружающей среды [3]. Этот материал не подвержен гниению, появлению грибка или плесени. Стоит отметить, что из всех современных строительных материалов ячеистый бетон имеет наиболее высокие показатели огнестойкости. Блоки могут выдерживать односторонне воздействие огненной стихии на протяжении нескольких часов.

Ячеистый бетон используется в малоэтажном строительстве независимо от назначения постройки [4]. Это могут быть проекты загородных домов и коттеджей, здания административного типа или помещения подсобного хозяйства. И это будет надежная, прочная и долговечная постройка, эксплуатационные качества которой соответствуют всем действующим строительным нормативам и европейским стандартам.

Но это еще не все. Одно из главных преимуществ использования ячеистого бетона – оперативность выполнения строительных работ. Возведение небольшого одноэтажного загородного коттеджа отнимет у застройщика 40–50 дней.

Практика показывает, что малоэтажное строительство из газобетона является выгодным для застройщика. Так, стоимость цикла работ с использованием ячеистого бетона на 20-35% ниже стоимости аналогичного цикла работ при использовании кирпича. Это связано не только с доступной ценой материала, но и с возможностью экономии денежных средств в процессе возведения дома.

Также в мировой практике ячеистый бетон также широко используется при реконструкции старых зданий, особенно, когда требуется дополнительное "утепление" ограждающих конструкций и

увеличение этажности зданий с сохранением существующих фундаментов.

Совершенно естественно, что ячеистые бетоны, как и другие строительные материалы, наряду с замечательными свойствами обладают и некоторыми отрицательными, в том числе повышенной отпускной влажностью, что должно учитываться при проектировании и эксплуатации зданий. Поэтому на повестку дня настойчиво просятся для соответствующей проработки, наряду со стандартами по неавтоклавным бетонам, также и рекомендации по монтажу и эксплуатации зданий из ячеистого бетона.

Таким образом, ячеистый бетон это надежный и долговечный строительный материал, который легко производится из существующего местного с использованием различных отходов. Наиболее высококачественный ячеистый бетон производится из мелких и очень мелких песков, которые в разведанных месторождениях составляют более 70%. Техногенные отходы в виде песков, отсеков камнедробления, отходов производства керамзита могут найти широкое применение при производстве ячеистого бетона. Широкое использование таких техногенных отходов позволит получать первоклассный строительный материал и решать проблемы улучшения экологической ситуации в индустриальных зонах.

#### **Список литературы:**

1. Трамбовецкий В.П. Ячеистый бетон в современном строительстве // Технологии бетонов. 2007. № 2. С. 30–31.
2. Трамбовецкий В.П. Новые подходы к технологии бетона и перспективы ее развития // Технологии бетонов. 2013. № 4. С. 37–39.
3. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г., Кара К.А. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих для энергоэффективного строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2010. № 4. С. 47–52.
4. Шаповалов Н.А., Ломаченко В.А., Яшуркаева Л.И., Яшуркаев О.В. Ячеистые бетоны с суперпластификатором СБ-3 // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 33–35.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПОРОД

**Пальшина Ю.В., аспирант,  
Фомина Е.В., канд. техн. наук**

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

На протяжении многих лет автоклавные материалы удерживают лидирующие позиции по объемам потребления в строительной индустрии. Ведущее место в группе автоклавных материалов занимают стеновые изделия из ячеистого бетона. В настоящее время они все более широко используются в гражданском, промышленном, транспортном и других отраслях строительства. Это связано, прежде всего, с хорошими показателями теплопроводности материалов, благодаря чему их относят к категории энергоэффективных [1].

На такие качественные характеристики готового продукта, как прочность при сжатии, теплопроводность, морозостойкость, внешний вид изделий (отколы, трещины) напрямую влияют режимы автоклавной обработки. Это один из самых важных этапов технологического цикла усовершенствование, которого является основным методом повышения эффективности производства [2]. Автоклавная обработка обеспечивает синтез цементирующей связки в искусственном конгломерате. С целью обеспечения данного процесса в состав вводят химически активное сырье. Для решения основной задачи – образования новых соединений, формирующих свойства цементирующей связки, химически активное сырье должно удовлетворять определенным требованиям [3]:

1. Сырье должно отличаться высокой дисперсностью: как правило, размер зерен менее 0,1 мм, желательна преобладание зерен, обеспечивающих удельную поверхность порошка в пределах 2000–4000 см<sup>2</sup>/г. Высокая дисперсность создает условия для улучшения растворимости, большего числа контактов реагирующих масс и обеспечивает сырьевой смеси хорошую удобоукладываемость, что важно с позиции технологии формовки.

2. Более предпочтительны аморфные, стеклообразные и менее закристаллизованные материалы. Получение плотной, а, следовательно, и более прочной цементирующей составляющей связано с плотностью исходного сырья. Поэтому рыхлые аморфные разности, хотя и способствуют полноте химических реакций в короткие сроки, но не

обеспечивают часто необходимой потребителю прочности из-за их малой плотности.

3. Использование сырья, обладающего полиморфными превращениями, способствует ускорению химических реакций в автоклаве, что, однако, иногда может вызвать разрыхление камня и тем самым снизить эксплуатационные характеристики.

4. Наилучшим является сырье, обеспечивающее в процессе автоклавной обработки получение устойчивых при эксплуатации новообразований, что определяет надежность и долговечность зданий и сооружений.

Химически активное сырье обеспечивает не только образование цементирующей связки в автоклавном конгломерате, но и ряд других важных технологических характеристик сырьевой смеси, таких, как транспортабельность, формовка, состояние поверхности изделий, время извлечений из форм, и влияет на выбор способа производства (сухой, пластичный, литой).

В качестве химически активного сырья для автоклавной технологии нашли применение различные извести, цементы, силикаты и алюмосиликаты (природные и искусственные). На повышение качества силикатного кирпича положительное влияние оказывает использование в качестве компонента сырьевой смеси шлаков, зол ТЭЦ [4], вскрышных пород горнодобывающей промышленности [5] и т.д., которые изначально имеют высокую удельную поверхность и не требуют дополнительных затрат на помол. Отмечается эффективность применения алюмосиликатной породы – перлит в составе газобетонов. Установлено, что особенность фазово-размерной гетерогенности алюмосиликатной породы неразрывно связана с активностью, которая отражается на активности получаемого композиционного вяжущего и является доминирующим фактором изменения структурно-фазовых трансформаций при гидратации и твердении с улучшением качества и повышением эффективности производства [6,7]. Применение такого сырья позволяет расширить сырьевую базу и снизить себестоимость производства силикатных строительных материалов, а также улучшить физико-механические характеристики конечного изделия.

При использовании отходов керамзитового гравия в качестве сырья для изготовления силикатного кирпича в конечных изделиях формируется плотная матрица, созданию которой способствует образование прочных сростков из микро- и субмикрорекристаллических гидросиликатов кальция, имеющих высокую дисперсность и большую поверхность соприкосновения, обеспечивающих хорошую адгезию к



зернам заполнителя. Все это способствует увеличению прочности силикатных изделий в 1,5–2 раза в сравнении с изделиями, полученными по традиционной рецептуре [8,9].

В данной работе предлагается использовать цеолитизированный туф (ЦТ) в качестве компонента вяжущего автоклавного твердения для производства газобетона. ЦТ представляют собой группу алюмосиликатных минералов с уникальными свойствами, обусловленными их каркасной структурой, которая обеспечивает им селективные, адсорбционные и ионообменные свойства. Алюмосиликаты имеют неупорядоченную структуру, поэтому нестабильны при воздействии щелочного раствора, что является основой их пуццолановых свойств.

Благодаря своему химическому и минералогическому составу цеолит способен диспергироваться до высокой удельной поверхности. На рисунке 1 представлен график, отображающий кинетику помола материалов. Связь в зоне контактов минералов в породе слабая, вследствие чего ЦТ при помоле достигает удельной поверхности  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$  в среднем более чем в 2,5 раза быстрее, чем кварцевый песок.

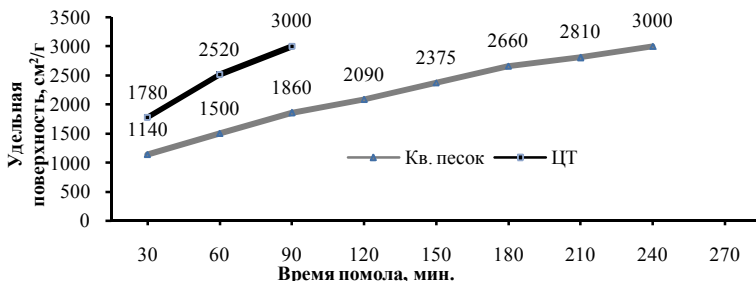


Рисунок 1 – Кинетика помола материалов

Это позволит существенно сократить затраты на энергоемких технологических переделах производства материала в целом.

По результатам проведения рентгенофазового анализа ЦТ месторождений Хонгуруу и Мухор-Талинского в этих породах содержатся цеолитовые минералы, такие как клиноптиллолит и морденит, отмечается так же значительное содержание рентгеноаморфной составляющей (табл. 1). Содержание наноструктурированной аморфной фазы, является положительным фактором взаимодействия компонентов в смеси, что в свою очередь

улучшает технико-эксплуатационные характеристики конечного продукта [10]

Введение ЦТ в состав автоклавных вяжущих способствует интенсификации физико-химических реакций гидратации и твердения композита с образованием более прочной цементирующей связи.

Таблица 1 – Рентгенофазовый анализ цеолитизированных туфов

Минеральный состав	ЦТ месторождения Хонгуруу, вес, %	ЦТ Мухор-Таллинского месторождения, вес, %
Са-клиноптилолит	50,2	40,5
Морденит	15,3	24
Аморфная фаза	34,9	35,5

В результате автоклавной обработки образуются преимущественно гидросиликаты кальция, отличающиеся высокой степенью закристаллизованности (рис. 2). Данные новообразования игольчатого строения армируют матрицу на микроуровне, что в свою очередь придает композиту дополнительную прочность.

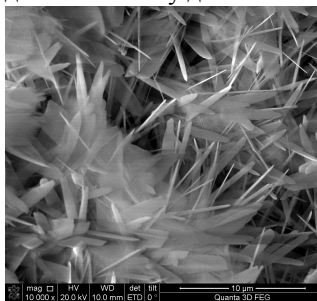


Рисунок 2 –  
Микроструктура композиционного вяжущего автоклавного твердения с применением ЦТ

Применение алюмосиликатного компонента приводит к увеличению прочностных характеристик материала в среднем в 2–2,5 раза. Также возможно уменьшение времени автоклавной выдержки изделия на 30 минут, при сохранении достаточно высоких прочностных показателей.

Таким образом, применение алюмосиликатных материалов в составе вяжущих автоклавного твердения оказывает влияние на фазо- и структурообразование с улучшением качества и повышением эффективности их производства, что создает большую

перспективу использования их в современном строительстве и представляется темой дальнейших исследований.

*Работа выполнена при финансовой поддержке: гранта Президента РФ № МК-6170.2013.8; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

### Список литературы:

1. Вишнеvский А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона России // Строительные материалы. 2013. №6. С. 40–44.
2. Алтынник Н.И., Нелюбова В.В., Фомина Е.В. Методы повышения эффективности производства автоклавного газобетона // Международной научно-практической конференции «Инновационные материалы и технологии» (XX научные чтения), 11–12 октября 2011 г. / Белгор. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. С. 7–10.
3. Баженов П.И. Технология автоклавных материалов. М.: Стройиздат. 1978. 367 с.
4. Воронин В.П., Заровнятных В.А., Шикирянский А.М. Эффективный силикатный кирпич на основе золы ТЭС и порошкообразной извести // Строительные материалы. 2008. №8. С. 24–25.
5. Володченко А.Н., Ходькин Е.И., Строкова В.В. К проблеме использования попутно добываемого сырья угольных месторождений для производства автоклавных силикатных материалов // Технологии бетонов. 2013. № 6 (83). С. 40–41.
6. Фомина Е.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Особенности фазообразования силикатных ячеистых изделий автоклавного твердения с алюмосиликатным сырьем // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 38–40.
7. Фомина Е.В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алюмосиликатной породы в составе композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. С. 31–35.
8. Прессованные силикатные материалы автоклавного твердения с использованием отходов производства керамзита / В.В. Строкова, Н.И. Алфимова, В.С. Черкасов, Н.Н. Шаповалов // Строительные материалы. 2012. № 3. С. 14–15.
9. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н., Абросимова О.С. Эксплуатационные характеристики силикатного кирпича, изготовленного с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 5–8.
10. Жерновский И.В., Строкова В.В. К проблеме фазово-размерной гетерогенности минерального сырья как фактора структурообразования строительных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31 (50). Ч. 2. Строительные науки. С. 112–118.

## **ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОМПОЗИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТОВОГО ПЕСКА И ОТХОДОВ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Плехова С.И., магистрант,  
Кругляков Д.С., студент,  
Сулейманов К.А., студент**

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

Проблему энергопотребления в строительной индустрии необходимо решать путем создания экологически чистых, высокоэффективных негорючих теплоизоляционных материалов, в том числе и с использованием вспученного перлитового песка и отхода его производства (перлитовой пудры) по ресурсо- и энергосберегающим технологиям, которые обеспечивали бы минимальные капитальные затраты на организацию производства и кратчайший срок их возврата; получение материала, удовлетворяющего современным требованиям по плотности, теплопроводности, прочности, долговечности, экологичности и стоимости и при этом была не требовательной к сырью, к производственным площадям, климатическим условиям и инфраструктуре [1].

В то же время, утилизация промышленных отходов является эффективным средством уменьшения антропогенного воздействия на окружающую среду и способствует снижению объемов разрабатываемого природного сырья ввиду того, что многие минеральные и органические отходы по своему химическому составу и техническим свойствам близки к природному сырью, а во многих случаях имеют и ряд преимуществ, что в свою очередь также имеет существенное экономическое и экологическое значение.

В промышленно развитых странах и в России наблюдается интенсивное развитие промышленности теплоизоляционных материалов. Но сравнительный анализ показывает, что в России объемы производства теплоизоляционных материалов в пересчете на душу населения в 4...5 раз ниже, чем в таких странах, как Швеция, Финляндия, Германия и США, а в связи с ускоренным развитием строительного комплекса потребность в эффективных утеплителях в России существенно возрастает [2,3].

Среди эффективных и перспективных теплоизоляционных материалов можно выделить материалы, получаемые с использованием

вспученного перлитового песка и отхода его производства (перлитовой пудры).

Вспученный перлит едва ли не единственный негорючий и долговечный легкий наполнитель природного происхождения, позволяющий получить бетоны и растворы плотностью от  $400 \text{ кг/м}^3$ , а также теплоизоляционные изделия плотностью от  $150 \text{ м}^3$  [4...6].

В Российской Федерации вспученный перлитовый песок пока не находит широкого применения для производства теплоизоляционных материалов, так как большая часть строителей все еще весьма слабо представляет себе его возможности и преимущества. Почти половина производимого на перлитоперерабатывающих предприятиях вспученного перлитового песка применяется в основном для производства сухих строительных смесей.

А перлит, выполняющий роль высокопористого наполнителя в изделиях, отличают огнестойкость, долговечность, химическая инертность, биостойкость и мощная сырьевая база.

Легкий, инертный, негорючий, нетоксичный материал – вспученный перлитовый песок может найти широкое применение в строительстве для изготовления теплоизоляционных материалов, обладающих хорошими акустическими свойствами; штукатурных растворов с применением вспученного перлитового песка, используемых как эффективный утеплитель и др.

Области применения вспученного перлита достаточно широки, однако уровень его потребления в России находится на низком уровне в отличие от уровня потребления перлита в экономически развитых странах, например, США и Германии.

Несмотря на неоспоримые преимущества перлитового песка, у него есть и недостатки. К ним можно отнести такие свойства, как высокое водопоглощение, достигающее  $200...400 \%$  от массы вспученного материала из-за высокоразвитой пористой структуры и большой открытой гидрофильной поверхности, относительно низкая прочность, неоднородность гранулометрического состава непосредственно после вспучивания, повышенная реакционная способность, которые могут оказать существенное влияние на эксплуатационные показатели материалов, изготовленных с использованием вспученного перлита. В связи с реакцией регидратации в перлитовом наполнителе могут происходить объемные изменения, сопровождающиеся также объемными деформациями.

Основными технологическими факторами, определяющими свойства изделий из вспученного перлитового песка, являются:

гранулометрический состав, назначаемый исходя из требуемых свойств изделий и плотность вспученного перлита; вид и количество добавок; влажность формовочных масс.

С целью изучения возможности использования вспученных перлитового песка и отходов его производства при изготовлении теплоизоляционных материалов, удовлетворяющих современным требованиям, разрабатывались составы силикато-, стекло- и битумоперлита с улучшенными показателями качества [6...9].

Для получения эффективных теплоизоляционных материалов применялись перлитовый песок насыпной плотностью  $100 \text{ кг/м}^3$ , перлитовая пудра насыпной плотностью  $50 \text{ кг/м}^3$ , жидкое стекло плотностью  $1250...1350 \text{ кг/м}^3$ , известь соответствующая требованиям ГОСТ 9179–77 «Известь строительная. ТУ» со следующими показателями: содержание активных  $\text{CaO} + \text{MgO} - 77,3 \%$ , содержание  $\text{MgO} -$  не более  $5 \%$ , время гашения –  $4$  мин, температура гашения –  $73^\circ\text{C}$ ; неогасившихся частиц – не более  $10 \%$ , количество пережога – не более  $2 \%$ ; битум нефтяной строительный марки БН 70/30, соответствующий ГОСТ 6617–94; гидрофобизирующие добавки «Типром Д» (ТУ 2229-070-32478306-2003) и «Типром К Люкс» (ТУ 226-113-32478306-2004) (ООО «Сази», Люберцы).

Разработанные составы силикатоперлита со средней плотностью  $\rho_{\text{ср}} = 180...300 \text{ кг/м}^3$ , прочностью на сжатие  $R_{\text{сж}} = 0,25...0,8 \text{ МПа}$  и теплопроводностью  $\lambda = 0,09...0,124 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$  и стеклоперлита со средней плотностью  $\rho_{\text{ср}} = 160...300 \text{ кг/м}^3$ , прочностью на сжатие  $R_{\text{сж}} = 0,46...1,3 \text{ МПа}$  и теплопроводностью  $\lambda = 0,062...0,09 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$  на основе вспученного перлитового песка и отходов его производства превосходят показатели традиционных состав, соответствуют требованиям нормативных документов и рекомендуются для производства теплоизоляционных изделий для тепловой изоляции конструкций зданий и инженерного оборудования, а также для огнезащиты и повышения предела огнестойкости стальных и железобетонных несущих конструкций, межэтажных перекрытий, деревянных строительных конструкций и кабельных трасс.

Полученный битумоперлит со средней плотностью  $200...400 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью  $0,08...0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$  предназначен для производства теплоизоляционных изделий для тепловой изоляции стен, кровель, трубопроводов, теплосетей, бесканальной прокладки теплотрасс, плит и скорлуп. Полученные плиты обладают высокой прочностью, которая обеспечивает возможность монтажа материала без дополнительных конструктивных приспособлений. Плиты соответствуют

противопожарным нормам, что дает возможность использовать их в строительстве, где присутствуют требования противопожарной защиты с показателем огнестойкости до 4-х часов. Плиты могут применяться в строительстве для огнезащиты и повышения предела огнестойкости стальных и железобетонных несущих конструкций, межэтажных перекрытий, деревянных строительных конструкций, кабельных трасс.

Теплоизоляционные системы на основе вспученного перлитового песка и его производства – важные элементы энергосбережения, комфортности жилья, сохранения экологической стабильности.

#### **Список литературы:**

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. Кочергин С.М. Теплоизоляция. Материалы, конструкции, технологии: справочное пособие / Под ред. С.М. Кочергин. М.: Стройинформ, 2008. 440с.
3. Коляда С.В. Перспективы развития производства строительных материалов в России до 2020 г. // Строительные материалы. 2008. № 6. С. 4–7.
4. Алексеева Л.В. Перспективы производства и применения вспученного перлита как заполнителя для легких бетонов // Строительные материалы. 2006. № 6. С. 74–77.
5. Сулейманова Л.А., Ширина Н.В., Ищенко К.М., Башлыкова К.А. Теплоизоляционные материалы на перлитовом сырье // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения) Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 238-243.
6. Сулейманова Л.А., Ищенко К.М. Формирование теплоизоляционных материалов с использованием вспученного перлитового песка. Saarbrücken, 2012.
7. Ищенко К.М., Сулейманова Л.А., Жерновский И.В. О возможности и способах применения ианиоактивных кремнийорганических гидрофобизаторов для обработки материалов на основе вспученного перлитового песка и отходов его производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 60-63.
8. Сулейманова Л.А., Ширина Н.В., Ищенко К.М., Башлыкова К.А. Теплоизоляционные материалы на перлитовом сырье // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч. 4. С. 234–238.
9. Сулейманова Л.А., Ищенко К.М., Кобзев А.А. Энергосберегающий композиционный материал // Материалы докладов Международной научно-технической конференция "Композиционные строительные материалы. Теория и практика". Пенза, 2010. С. 168-170.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СОСТАВА КАК МОДИФИКАТОРА АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Подгорный И.И.**

*Белгородский государственный технологически  
университет им В.Г. Шухова*

Силикатные материалы автоклавного твердения являются одними из наиболее востребованных строительных материалов. Его неоспоримые преимущества заключаются в его экономичности, морозостойкости, прочности, огнестойкости, экологичности – эти и многие другие свойства позволили силикатным автоклавным материалам выйти на лидирующие позиции в области производства строительных материалов [1].

На сегодняшний день одним из наиболее перспективных и динамично развивающихся направлений науки, технологий и промышленности являются наноиндустрия и нанотехнологии. В наибольшей степени, это касается тех отраслей жизнедеятельности, от развития которых зависят многие социально-экономические вопросы. Перед строительной отраслью стоит серьезная задача по укреплению своих позиций на отечественном и выходу на внешние рынки. Как никогда, сегодня нужны новаторские идеи по развитию сферы строительства, новых строительных технологий и материалов будущего. Эти задачи можно решить используя современные подходы нанотехнологий в области материаловедения.

В последнее время одним из способов повышения эксплуатационных характеристик строительных материалов является использование наносистем природного и техногенного происхождения [2,3]. Введение модифицирующих компонентов наноразмерного уровня в состав строительных композитов способствует направленному формированию их структуры и позволяет получать изделия с заранее заданными свойствами.

В настоящее время одним из перспективных способов создания конструкций является сочетание ограждающих конструкций зданий из ячеистого силикатного бетона с несущими конструкциями из плотного силикатного бетона [4].

Полное или частичное исключение из производства цемента, неограниченная сырьевая база, возможность использования в качестве сырья практически всех твердых промышленных отходов и вторичных



продуктов, гибкость технологии с возможностью ее быстрой переналадки на выпуск изделий и конструкций любой формы, типоразмеров и плотности (от теплоизоляционных до конструкционных) при высоком уровне механизации и автоматизации отдельных, технологических переделов, а также значительные резервы повышения качества продукции и эффективности производства обуславливают перспективность развития производства силикатных материалов [4].

Учеными БГТУ им. В.Г. Шухова, проводился комплекс исследований по изучению возможности повышения эксплуатационных характеристик силикатных автоклавных композиционных материалов, в частности, был разработан наноструктурированный модификатор на основе кремнеземсодержащего сырья [5]. Также, экспериментально доказано его положительное влияние на эксплуатационные характеристики ячеистых силикатных автоклавных композитов [6].

На данный момент ведется работа по изучению возможности использования гранитного отсева для получения наноструктурированного модификатора, что позволит расширить сырьевую базу, а так же даст возможность более детально рассмотреть возможность использования наноструктурированных компонентов в сфере строительного материаловедения.

На первоначальном этапе, проведены исследования реологических характеристик силикатной смеси приготовленной по заводским параметрам, в составе которой содержится наноструктурированный модификатор алюмосиликатного состава, в различном процентном соотношении. Было принято решение использовать цементное вяжущее для частичной его замены на наноструктурированный модификатор. В частности, были выбраны 7 составов с процентным содержанием наноструктурированного модификатора (НМ) от 0 до 100%. 1–контрольный состав (0% НМ), 2–10% (НМ), 3–20% (НМ), 4–30% (НМ), 5–40% (НМ), 6–50% (НМ), 7–100% (НМ).

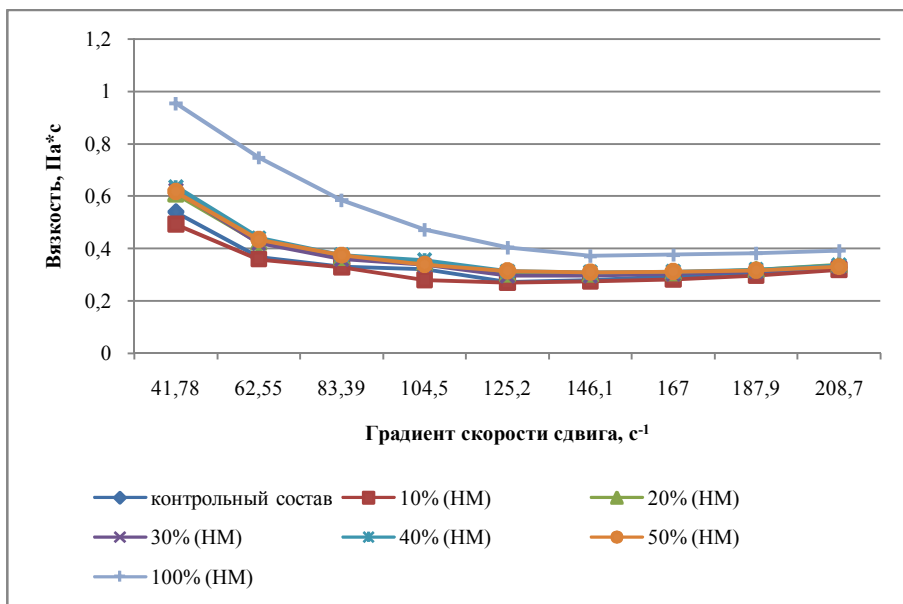
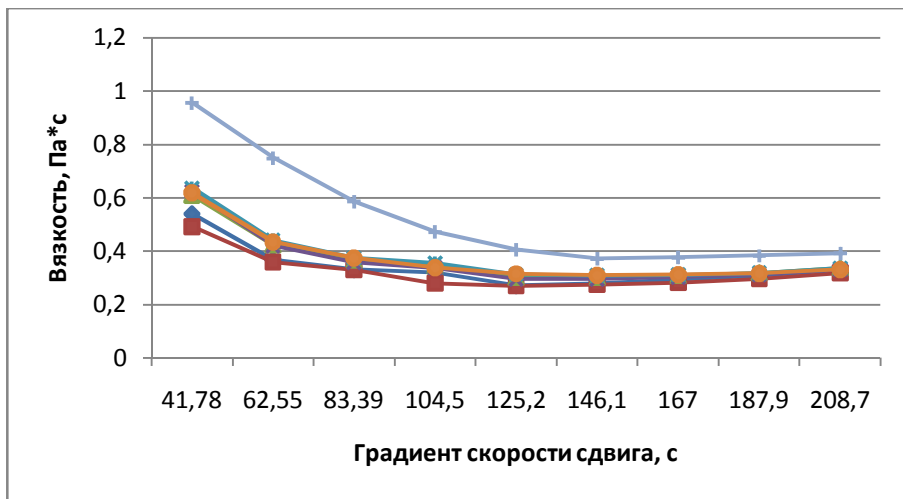


Рисунок 1 – Реограммы газобетонных смесей в зависимости от состава

Анализ реологических характеристик суспензий формовочных смесей различного состава свидетельствует об идентичности характера течения. В частности, в области малых значений градиента скорости сдвига течение суспензий происходит при практически неразрушенной коагуляционной структуре, формируемой в результате гидратации вяжущих. При увеличении градиента скорости сдвига наблюдается падение пластической вязкости. Дальнейшее течение происходит при разрушенной коагуляционной структуре смесей с постоянной минимальной вязкостью.

Отмечено, что максимальной начальной вязкостью характеризуется состав имеющий максимальное количество наноструктурированного модификатора. Это обусловлено присутствием в системе значительного количества тонкодисперсной фракции и полного отсутствия цементного вяжущего. Введение наноструктурированного модификатора взамен цемента в состав ячеистобетонных смесей приводит к снижению начальной вязкости суспензий.

Кроме того, отмечено значительное падение вязкости системы на бесцементном вяжущем, в сравнении с вязкостью в начальных значениях градиента скорости сдвига. Предполагается, что такое поведение смеси обусловлено реакцией наноструктурированного модификатора на приложенное к нему механическое воздействие.

Отмечена высокая начальная вязкость смесей с большим содержанием модификатора. Это связано с формированием прочной пространственной структуры в смеси за счет взаимодействия гидроксида кальция и высокоактивного компонента – наноструктурированного модификатора. При этом ячеистобетонная смесь с содержанием НМ в количестве 10% характеризуется меньшей начальной пластической вязкостью по сравнению с контрольным и бесцементным составом. Это обусловлено формированием в системе оптимального количества тонкодисперсного активного компонента, способного вступать во взаимодействие с гидроксидом кальция без загущения системы, связанного с переизбытком коллоидной фракции в суспензии.

Таким образом, установлены особенности реотехнологических характеристик газобетонных смесей в зависимости от ее состава. Введение модификатора в систему позволяет повысить газодерживающую способность смесей. Это связано со снижением вязкости суспензии, обусловленное формированием оптимального гранулометрического состава смеси и регулирования содержания в

системе тонкодисперсного высокоактивного кремнеземистого компонента.

#### Список литературы:

1. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России: перспективы развития подотрасли // Строительные материалы. 2011. №9. С. 44-46.
2. Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов / Н.В. Павленко, А.Б. Бухало, В.В. Строкова, В.В. Нелюбова, А.В. Сумин // Строительные материалы. 2013. №2. С. 20–25.
3. Некоторые аспекты применения наноразмерных модификаторов с учетом их свойств / В.В. Нелюбова, А.Б. Бухало, Т.А. Анищенко, В.В. Кривецкий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 4. С. 47–50.
4. Научно-практическая конференция «Энергосбережение в строительстве. Ячеистые бетоны и силикатный кирпич: технологии производства, опыт применения»
5. Строительные композиты с применением наноструктурированного вяжущего на основе сырья различных генетических типов / В.В. Нелюбова, В.В. Строкова, Н.В. Павленко, И.В. Жерновский // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 20.
6. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Алтынник Н.И. Ячеистые композиты автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 44–47.

## АНАЛИЗ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМОДИФИКАТОРА\*

**Прасолова Е.О., аспирант,  
Володченко А.А., канд. техн. наук,  
Попов М.А.,  
Гинзбург А.В.**

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

Задача развития строительной индустрии РФ состоит в том, чтобы увеличить введение в строительный комплекс 0,8 – 1 м<sup>2</sup> на человека в год. Для реализации необходимо увеличить темпы роста строительства. Использовать современные высокоэффективные материалы и нетрадиционные виды энергосберегающего сырья.

К данным видам сырья относятся эффузивные горные породы с аморфной и кристаллической структурой, с низкой степенью метаморфизма глинистой породы незавершенной стадии процессов глинообразования [1].

Одним из эффективных конструкционно-теплоизоляционных материалов является ячеистый бетон неавтоклавного твердения. Для повышения эффективности производства необходимо оптимизировать систему структурообразования на микро- и макроуровнях.

Для этих целей используют композиционные вяжущие и комплекс органических и неорганических добавок, к которым в частности относятся метакаолин, микрокремнезем и дорогостоящие в основном иностранные супер- и гиперпластификаторы.

В данной работе предлагается использовать олово-аллювиальные глинистые породы в незавершенной стадии глинообразования различного возраста.

Неорганический наномодификатор получали путем совместного помола глинистой породы, суперпластификатора П-1 и отсева дробления кварцитопесчанника (КВП).

При разработке месторождений полезных ископаемых попадают некондиционные с точки зрения строительного производства песчано-глинистые породы незавершенной стадии глинообразования. В результате различного генезиса попутно добываемые песчано-глинистые породы из различных регионов могут отличаться по вещественному и гранулометрическому составу. Спецификой состава этих пород является наличие термодинамически неустойчивых соединений, таких как смешаннослойные минералы, тонкодисперсный

слабоокатанный кварц, гидрослюда, реже  $\text{Ca}^{2+}$  монтмориллонит и каолинит, а также рентгеноаморфная фаза. В результате процессов коррозии, гидратации, выщелачивания и гидролиза, исходные материнские породы разрушались, за счет их минералов образовались алюмосиликаты, характеризующиеся переменным химическим составом и несовершенной структурой кристаллической решетки и кварц с дефектностью кристаллической решетки, поверхность которого в различной степени корродированна.

Изучаемые породы содержат в своем составе частицы размером менее 100 нм, что позволяет считать эти породы природным нанодисперсным сырьем. Эти термодинамически неустойчивые соединения, обладающие свойствами природных наноразмерных частиц, позволяют изменить морфологию новообразований и оптимизировать структуру цементирующего соединения.

Химический состав показывает, что породы имеют высокое содержание кремнезема и относятся к категории кислых (табл. 2).

Таблица 1 – Гранулометрический состав песчано-глинистых пород

Содержание фракций, мас. %, размер сит, мм					
более 0,1	0,1– 0,05	0,05– 0,04	0,04– 0,01	0,01– 0,005	менее 0,005
0,55	20,72	18,58	21,15	7,49	31,51

Таблица 2 – Химический состав песчано-глинистых пород

SiO <sub>2</sub> общ.	SiO <sub>2</sub> своб.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	п.п.п.	Сумма
73,0	38,05	10,4	0,72	3,60	2,32	1,32	1,86	1,29	3,95	98,46
66,18	34,10	11,06	0,81	1,73	7,27	1,91	2,15	0,50	8,16	99,77

**Минеральный состав.** Главные породообразующие минералы: кварц – до 30%, смектит – 30%, гидрослюда – 5-10%, палыгорскит – 5-6%, каолинит – до 10%, кальцит – 8-12%, хлорит – 7-10%, полевошпат – единичные зерна.

Кварц представлен зернами остроугольной формы размером до 0,1-1 мм (отражение 3,345 Å).

Кварц представлен зернами остроугольной формы размером до 0,1-1 мм (отражение 3,345 Å).

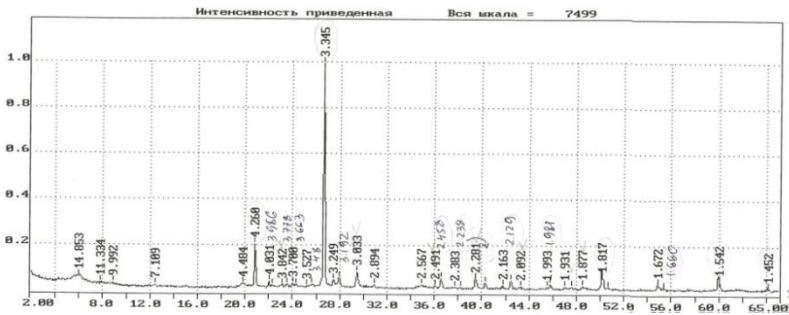


Рисунок 1 – Рентгенограмма

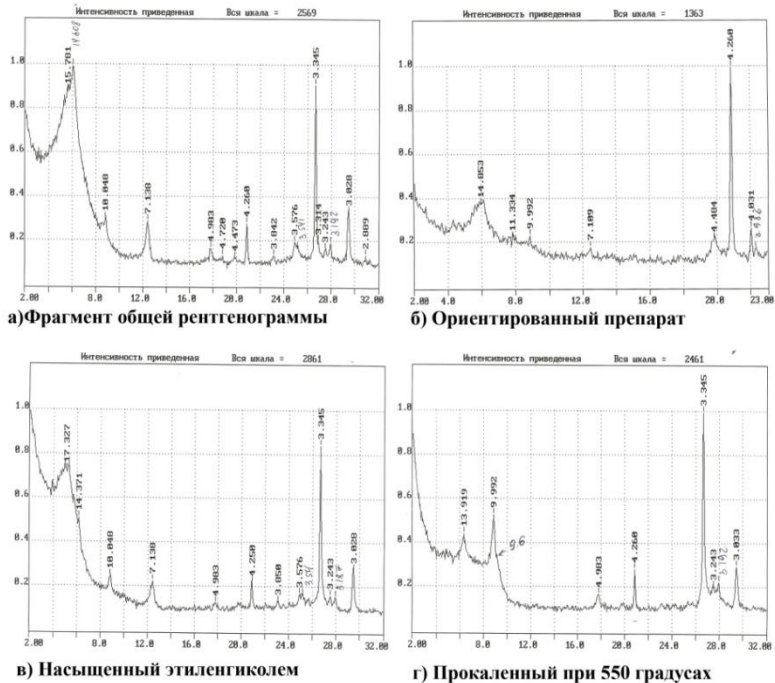


Рисунок 2 – Частные дифрактограммы после обработки пробы при различных режимах

Полиминеральный состав изучаемых песчано-глинистых пород, являющиеся природным нанодисперсным сырьем и их термодинамическая неустойчивость определяет возможность взаимодействия с вяжущим компонентом с образованием

цементирующих соединений и, соответственно, получения высокоэффективного материала с низкими энергозатратами.

Изучаемое сырье за счет содержащихся в них метастабильных глинистых минералов наноразмерного уровня, рентгеноаморфного вещества и тонкодисперсного кварца, активно взаимодействует с вяжущим компонентом, что приводит к возникновению прочной коагуляционно-кристаллизационной и кристаллизационной структуры материала, обеспечивающей высокие физико-механические показатели.

При помол глинистой составляющей разрушение частиц происходит по зоне контакта отдельных фрагментов. Разрушение частиц глины по контактам элементарных фрагментов частиц происходит достаточно легко, что обуславливает мягкость породы.

Глинистая составляющая в оптимальных дозировках снижает концентрацию клинкерных частиц в единице объема, располагаясь в промежутках между ними.

Приготовление наномодификатора для ячеистого бетона, включает в себя перемешивание в смесителе циклического действия суперпластификатора П-1 и минерального компонента с последующим их помолом в активаторе, в качестве пластификатора – Полипласт П-1, в качестве минерального компонента - смесь отсева дробления КВП и глины в соотношении 3:1 по массе. Помол осуществляют до получения порошкообразного наномодификатора с размером наночастиц менее 100 нм в количестве 5-7 мас.%, пылевидных частиц с размером от 100 нм до 100 мкм 20-25% и частиц с размером от 100 до 300 мкм остальное.

В результате введения оптимального состава неорганического наномодификатора в цементную смесь при приготовлении неавтоклавного ячеистого бетона при  $\rho=320 \text{ кг/м}^3$  удалось получить прочность на 15-20% выше, чем у существующего на сегодняшний день аналога, за счет оптимизации пористой структуры.

Система наномодификатор – цементная смесь – вода – газообразователь систематизирует увеличение количества нанопористости, наногелевой пористости в межпоровых перегородках.

Разработанные составы являются ещё одним шагом к возможности получения полезного и качественного строительного материала на основе техногенных отходов, которых на сегодняшний момент большое количество и запасы которых пополняются ежедневно вследствие технологического процесса других производств.

*\* Статья подготовлена в рамках выполнения базовой части гос. задания Минобрнауки России г/б НИР №1978 от 31.01.2014 г.*



### Список литературы:

1. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
2. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.
3. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.
4. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 10-14.
5. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
6. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
7. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
8. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
9. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
10. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
11. Вишневская Я.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 53-56.
12. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3-2. С. 267-271.
13. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Andrey V.S., Denis A.B., Anna A.K. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. № 11.
14. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОСТЕКЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЯ**

**Пучка О.В., канд. техн. наук, проф.,**

**Вайсера С.С., аспирант,**

**Калмыкова Е.В., аспирант**

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

На сегодняшний день все более актуальной становится проблематика тепловой изоляции ограждающих конструкций.

Рост популярности теплоизоляционных материалов прямо пропорционален увеличению темпов роста строительной отрасли в целом, поскольку теплоизоляция – неотъемлемая составляющая современных технологий строительства объектов широкой сферы назначения [1].

Качественный теплоизоляционный материал характеризуется большим общим объемом пористости и мелкопористой структурой с равномерным распределением пор в объеме материала. Существуют приемы, позволяющие направленно регулировать как объем, так и характер структуры пористости. Решающее влияние на максимально достижимый объем пористости оказывает вид пористой структуры, который зависит от объема пористости, технологических параметров и способов производства материала [2].

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в развитии производства пеностекла, исследования по диспергированию силикатных стекол, необходимые для обоснования и выбора оптимальных технологических схем по ведению этого процесса, изучены недостаточно [3].

Качество теплоизоляционных материалов зависит от многих факторов, которые в первую очередь характеризуются технологией производства. Стабильность протекания производственного процесса наиболее объективно можно оценить с помощью контрольных карт (карт Шухарта). Эти графики позволяют с учетом фактора времени получать качественные характеристики продукции и процесса [4].

При этом следует учитывать следующее: если все точки на графике входят в область, ограниченную контрольными границами, можно полагать, что процесс находится в относительно постоянных условиях, т.е. его можно считать стабильным. Если же на графике есть точки,

выходящие за пределы контрольных границ, значит, в ходе процесса возникали погрешности, нарушившие его стабильность.

Оценка стабильности процесса на основе данных контрольных карт производится по ГОСТ Р 50779.44-2001.

Карта средних арифметических значений  $\bar{X}$  – карта и карта стандартных отклонений S-карта – это контрольные карты для количественных данных. Их всегда применяют и анализируют парами.

Контрольные карты по количественным признакам – это, как правило, двоянные карты, одна из которых изображает изменение среднего значения процесса, а 2-я – разброса процесса. Разброс может вычисляться или на основе размаха процесса R (разницы между наибольшим и наименьшим значением), или на основе среднеквадратического отклонения процесса S [4].

$\bar{X}$  – карта показывает, где находится среднее процесса и какова его стабильность. Также карта выявляет нежелательные вариации между подгруппами и вариациями относительно их среднего.

Для построения карты средних и стандартных отклонений из журнала контроля предприятия были отобраны данные результатов испытаний образцов пеностекла по показателю плотности, так как этот показатель определяет и теплопроводность. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний по показателю плотности пеностекла

№ партии	Образцы			среднее, кг/м <sup>3</sup>	R
	1	2	3		
1	189	178	179	182,00	11
2	177	194	174	181,67	20
3	198	188	175	187,00	23
4	176	199	177	184,00	23
5	175	200	189	188,00	25
6	183	194	189	188,67	11
7	177	176	193	182,00	17
8	188	182	174	181,33	14
9	178	189	200	189,00	22

Окончание таблицы 1

№ партии	Образцы			среднее, кг/м <sup>3</sup>	R
	1	1	1		
10	174	179	189	180,67	15
11	185	189	176	183,33	13
12	195	173	191	186,33	22
13	191	189	175	185,00	16
14	173	179	186	179,33	13
15	176	194	187	185,67	18
16	184	176	193	184,33	17
17	193	191	178	187,33	15
18	191	189	184	188,00	7
19	187	179	191	185,67	12
20	186	189	187	187,33	3
21	181	199	189	189,67	18
22	187	176	176	179,67	11
23	179	172	189	180,00	17
24	190	182	172	181,33	18
25	175	189	179	181,00	14

Проведем статистическую обработку данных и определим контрольные границы для построения контрольной карты по формулам:

Для  $\bar{X}$ -карты:  $CL=X_{cp}=184,33$ ;  
 $UCL=X_{cp}+A_2R_{cp}=184,33+0,373\cdot 15,8 = 190,23$ ;  
 $LCL=X_{cp}-A_2R_{cp}=184,33-0,373\cdot 15,8 = 178,44$ .

Для S-карты:  $CL=R_{cp}=8,21$   
 $UCL=D_4R_{cp} = 0,185\cdot 8,21=1,52$   
 $LCL= D_3R_{cp}=1,815\cdot 8,21=14,91$

Справочные коэффициенты  $A_2$ ,  $D_3$  и  $D_4$  принимаются по таблице стандарта ГОСТ Р 50779.44 – 2001 при объеме выборки, равном трём.

Строим контрольную карту средних значений по показателю плотности пеностекла (рис. 1). Контрольная карта стандартных отклонений представлена на рис. 2.

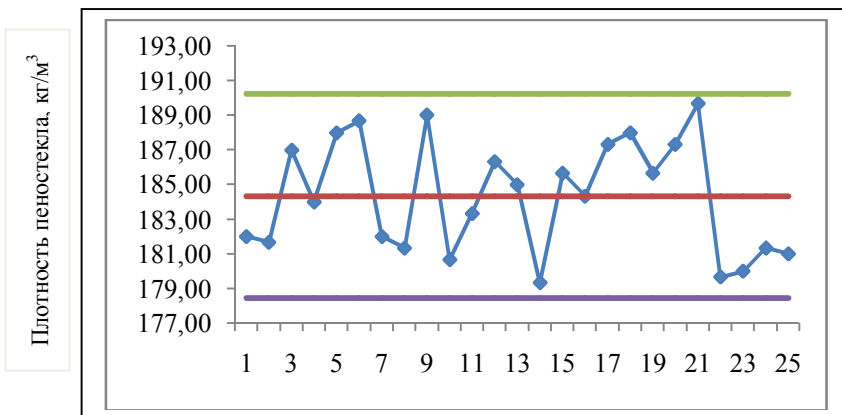


Рисунок 1 – Контрольная карта средних значений плотности пеностекла

### S-карта

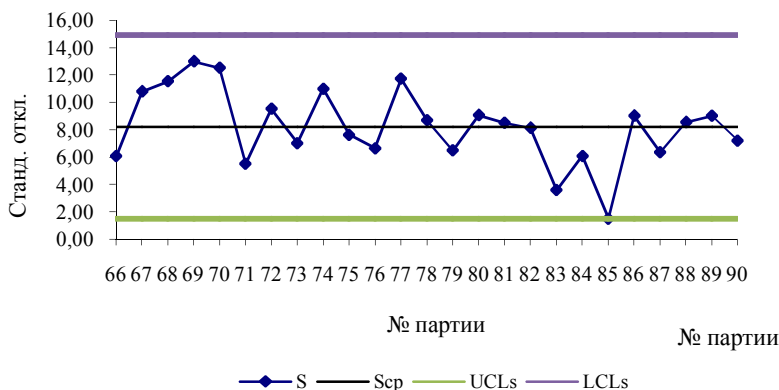


Рисунок 2 – Контрольная карта стандартных отклонений

Из контрольных карт видно, что ни одна из точек не выходит за предельные границы. Это означает, что процесс воспроизводим, и находится в статистически управляемом состоянии – в состоянии А.

Следовательно, необходимо рассчитать показатели возможностей процесса.

Полную изменчивость процесса определяем по формуле:

$$\delta_t = \frac{\bar{R}}{d_2} = 15,8 / 2,847 = 5,55$$

где  $\bar{R}$  – средний размах,  
 $d_2$  – коэффициент, зависящий от числа точек в п/гр (определяется по ГОСТ Р 50779-99).

Индекс воспроизводимости:

$$C_p = \frac{ВПГ - НПП}{6\delta_t} = \frac{191 - 178}{6 \cdot 1,524} = 0,12$$

По табл. ГОСТ Р 50779-99 определим процент несоответствия единиц продукции: 20,1667.

Вывод: процесс является воспроизводимым и пригодным и находится в состоянии А.

Таким образом, использование контрольных карт позволяет отследить стабильность протекания технологического процесса получения пеностекла (вспенивание→стабилизация→отжиг) и принимать необходимые управляющие решения по данным контрольных параметров (в данном случае по показателю плотности).

#### Список литературы:

1. Утепление и отделка фасадов [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.wdvs.ru/opisanie-sistem-teploizolyatsii/nedostatki-system-teploizolyatsii>.
2. Минько Н.И., Пучка О.В., Бессмертный В.С., Мелконян Р.Г. Пеностекло. Научные основы и технология. Воронеж: Изд-во: «Научная книга», 2008. 167 с.
3. Пучка О.В., Вайсера С.С., Сергеев С.В. Высокоэффективные теплоизоляционные материалы на основе техногенного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. № 2. С. 148-151.
4. Степанов А.М., Пучка О.В., Шахова Л.Д., Митякина Н.А. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие; под общ. ред. проф. А.М. Гридчина. 2-е изд., стер. Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 300 с.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ МЕТАКАОЛИНА ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ**

**Пыкин А.А., канд. техн. наук, доц.,  
Лукутцова Н.П., д-р техн. наук, проф.,  
Александрова М.Н., студент,  
Аверьяненко Ю.А., студент,  
Пыкина Ю.С., студент**

*Брянская государственная инженерно-технологическая академия*

Современные тенденции развития промышленности строительных материалов связаны с необходимостью разработки новых ресурсо- и энергосберегающих технологий получения различных видов цементных бетонов гидратационного твердения с повышенными эксплуатационными характеристиками и долговечностью. Одним из решений данной проблемы может быть оптимизация прочности цементного камня бетона высокодисперсными органоминеральными добавками. Особенно это актуально для беспесчаных легких бетонов, например крупнопористого керамзитобетона и полистиролбетона, которые получают при затвердевании соответствующих бетонных смесей из портландцемента, крупного заполнителя (керамзитового гравия и вспененного гранулированного полистирола) и воды.

Использование органоминеральных добавок, содержащих в своем составе активные высокодисперсные частицы, стабилизированные от агрегации органическими веществами, способствует синергетическому ускорению гидратации портландцемента, повышению прочности и непроницаемости цементного камня к воздействию воды и агрессивных коррозионных сред за счет перераспределения его пористости в сторону снижения опасных открытых микропор и увеличения условно замкнутых гелевых пор. Все это, в конечном итоге, приводит к целенаправленному изменению физико-механических свойств бетона, в частности, ускорению кинетики набора прочности в ранние сроки твердения, повышению его марочной прочности, снижению водопоглощения и проницаемости к глубинной коррозии [1].

Обзорный анализ ранее выполненных исследований показывает, что эффективным решением вопроса по получению высокодисперсных органоминеральных добавок для цементных бетонов является активация природного и техногенного силикатного (опал-кristобалитовые породы, биогенный кремнезем, микрокремнезем и др.)

либо алюмосиликатного (продукты термической обработки каолиновых глин) сырья, обладающего высокой реакционной способностью. В данной области исследований большой научно-практический интерес представляет метакаолин ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  – продукт обезвоживания минерала каолина), который относится к одной из самых высокоэффективных пуццолановых добавок для цементных бетонов [2,3].

**Целью настоящего исследования** является оптимизация составов органоминеральных добавок (ОМД) для цементных бетонов, улучшающих прочность цементного камня (ЦК) и получаемых в виде суспензий в результате ультразвукового диспергирования (УЗД) метакаолина в водных средах органических стабилизаторов.

При проведении исследований использовались следующие материалы:

1. Минеральный компонент для получения ОМД–метакаолин (ООО «Синерго», г. Магнитогорск, Челябинская обл.), представляющий собой тонкодисперсный порошкообразный материал с частицами пластинчатой формы.

По данным микронзондового анализа, элементный химический состав используемого метакаолина включает практически в равных количествах (более 20%) алюминия (Al) и кремния (Si), свыше 50% кислорода (O), около 2% железа (Fe) и титана (Ti), менее 1% калия (K), кальция (Ca) и серы (S).

2. Органические компоненты для получения ОМД–суперпластификатор С-3 (СП С-3) в виде сухого вещества (ОАО «Полипласт», г. Новомосковск, Тульская обл.); поливиниловый спирт (ПВС) марки 16/1 («ЗАО НПК «ЕрмакХим», г. Москва).

3. Дисперсионная среда для получения ОМД: дистиллированная вода.

4. Вяжущее вещество: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н (ЗАО «Белорусский цементный завод», г. Костюковичи, Беларусь). Минеральный состав (% по массе):  $C_3S$  – 63;  $C_2S$  – 14,5;  $C_3A$  – 7;  $C_4AF$  – 12,5. Удельная поверхность: 350–355 м<sup>2</sup>/кг.

5. Затворяющая жидкость: питьевая вода.

Оптимизация составов ОМД проводилась методом трехфакторного планирования эксперимента с получением уравнений регрессии и номограмм, связывающих параметр оптимизации ( $\bar{v}_i$ –предел прочности при сжатии цементного камня) с переменными факторами ( $x_1$ – содержание метакаолина,  $x_2$ – содержание стабилизатора,  $x_3$ – время ультразвукового диспергирования), варьируемыми в следующих



пределах:  $x_1 = 1-9$  г/л (в расчете на 1 л дистиллированной воды),  $x_2 = 0-100$  % (от массы метакаолина),  $x_3 = 0-8$  мин.

Испытание ЦК на сжатие проводились на образцах размерами  $2 \times 2 \times 2$  см, твердеющих в течение 28 суток при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и влажности  $(90 \pm 5)\%$ .

Полученные добавки использовались в виде готовых суспензий в количестве  $0,01-0,18\%$  от массы цемента (в пересчете на сухое вещество) и вводились в цемент вместе с подобранным объемом воды затворения, необходимым для получения цементного теста нормальной густоты.

По данным трехфакторного планирования эксперимента, функции отклика предела прочности при сжатии ЦК от влияющих переменных факторов описываются следующими уравнениями регрессии:

– при использовании стабилизатора СП С-3

$$\bar{y}_1 = 95,008 + 1,81x_1 + 2,666x_2 + 13,82x_3 + 6,93x_{11}^2 - 15,822x_{22}^2 - 0,24x_{33}^2 + 0,8x_{1x_2} - 1,025x_{1x_3} + 15,025x_{2x_3}; \quad (1)$$

– при использовании стабилизатора ПВС

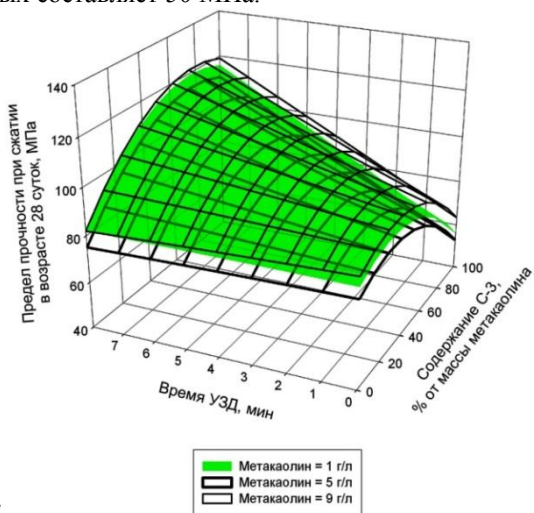
$$\bar{y}_2 = 99,26 - 6,5x_1 - 2,91x_2 + 3,92x_3 - 14,22x_{11}^2 - 8,07x_{22}^2 - 5,46x_{33}^2 - 3,975x_{1x_2} - 5,8x_{1x_3} + 4,55x_{2x_3}. \quad (2)$$

Представленные уравнения содержат значимые (по критерию Стьюдента) коэффициенты с соответствующими при них членами и являются адекватными (по критерию Фишера) с доверительной вероятностью 95%.

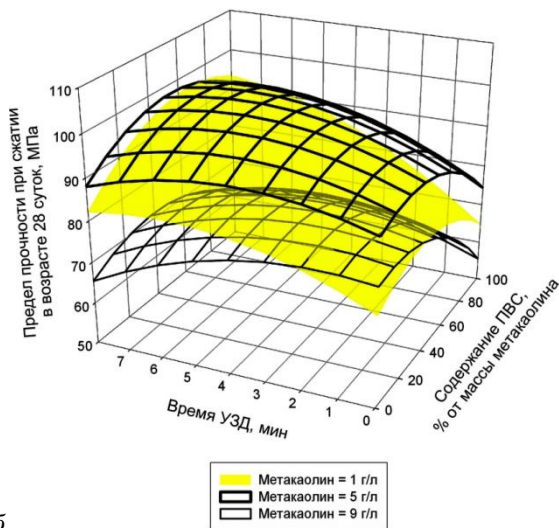
На основе результатов расчетов заданного параметра оптимизации по уравнениям регрессии (1,2) были построены номограммы, качественно отражающие зависимость предела прочности при сжатии ЦК от содержания метакаолина и стабилизатора, а также от времени УЗД (рис. 1).

Из уравнения (1) и номограммы, представленной на рис. 1 (а), следует, что для получения ЦК с максимальной прочностью наиболее оптимальными являются составы ОМД, включающих от 5 до 9 г/л метакаолина, от 50 до 95% стабилизатора СП С-3 и получаемых в результате УЗД в течение 8 мин. В данном случае предел прочности при сжатии образцов модифицированного ЦК через 28 суток твердения варьируется в интервале от 110 до 120 МПа, что в 2,2–2,4 раза больше,

чем у контрольных образцов, среднее значение предела прочности при сжатии которых составляет 50 МПа.



*a*



*б*

Рисунок 1 – Номограммы зависимости предела прочности при сжатии ЦК от содержания метакаолина и СП С-3 (а), метакаолина и ПВС (б), времени УЗД

Из уравнения (2) и номограммы, приведенной на рис. 1 (б), видно, что максимальный предел прочности при сжатии ЦК (более 100 МПа), модифицированного добавками, получаемыми со стабилизатором ПВС в результате УЗД в течение 8 мин, достигается при меньшем содержании в них метаксаолина (от 2,5 до 5 г/л) и поливинилового спирта (от 45 до 75%).

Таким образом, результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Показана возможность получения эффективных органоминеральных добавок для цементных бетонов в результате ультразвукового диспергирования метаксаолина в водных средах органических стабилизаторов: суперпластификатора С-3 или поливинилового спирта.

2. Методом трехфакторного планирования эксперимента установлено, что оптимальными составами получаемых добавок является: содержание метаксаолина– 5 г/л, концентрация стабилизатора СП С-3 (или ПВС)– 2,5 г/л. При этом время ультразвукового диспергирования метаксаолина в водных средах используемых стабилизаторов не должно превышать 8 мин.

3. Введение разработанных добавок оптимальных составов способствует повышению предела прочности при сжатии цементного камня через 28 суток нормального твердения более чем в 2 раза.

#### **Список литературы:**

1. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона: монография. Брянск: Изд-во БГИТА, 2014. 216 с.
2. Брыков А.С. Метаксаолин // Цемент и его применение. 2012. № 4. С. 36-40.
3. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метаксаолина для цементных бетонов // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 54-56.

## СИНТЕЗ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**Пышкина И.С., аспирант,  
Логанина В.И., д-р техн. наук, проф.**  
*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Исследования, проведенные ранее, показали эффективность применения в сухих строительных смесях (ССС) высокодисперсных наполнителей на основе силикатов кальция, синтезированных из жидкого натриевого стекла в присутствии хлорида кальция [1,2]. Фазовый состав наполнителя представлен гидросиликатами кальция различной основности [3].

Для получения низкоосновных гидросиликатов кальция, которые обладают более высокой прочностью, в работе были использованы материалы, содержащие аморфный кремнезем, в частности, диатомит и микрокремнезем. В работе применялось три режима синтеза: 1 режим – содержание  $\text{CaCl}_2$  при синтезе ГСК составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 10%-ного раствора; 2 режим – содержание  $\text{CaCl}_2$  при синтезе ГСК составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 10%-ного раствора в присутствии диатомита, при этом соотношение жидкость: твердая фаза (Ж:Т) составляло (Ж:Т) = 1:2, 3 режим – содержание  $\text{CaCl}_2$  при синтезе ГСК составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 10%-ного раствора в присутствии микрокремнезема, при этом соотношение жидкость:твердая фаза (Ж:Т) составляло (Ж:Т) = 1:2.

Активность гидросиликатов оценивалась по показателю прочности при сжатии известковых образцов в зависимости от режима их синтеза. Для сравнения изготавливались известковые образцы, приготовленные с применением диатомита в количестве 30% от массы извести. В качестве вяжущего применяли известь-пушонку с активностью 86%. Вяжущее наполнялось при соотношении известь: наполнитель (И:Н)=1:0,3. Готовились составы с водоизвестковым отношением В/И = 1,0. В возрасте 28 суток твердения определялась прочность при сжатии. Результаты исследований приведены на рис. 1.

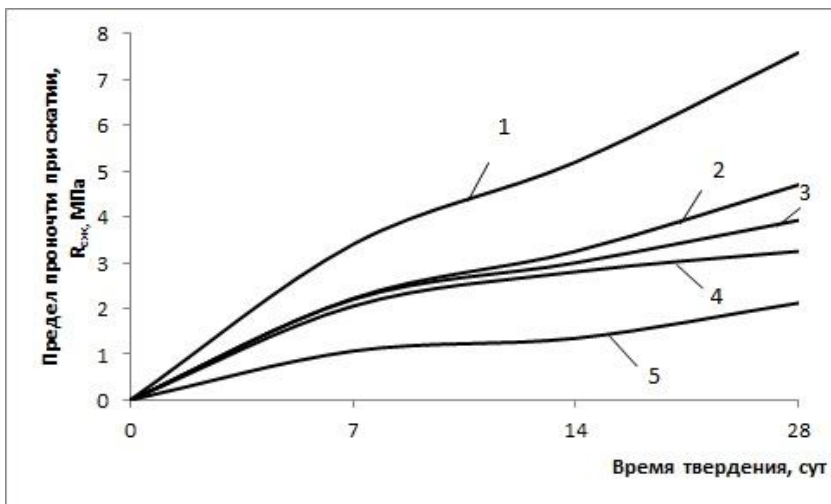


Рисунок 1 – Кинетика твердения известковых образцов: 1 – с добавкой, синтезированной по 2-му режиму; 2 – с добавкой, синтезированной по 1-му режиму; 3 – с добавкой, синтезированной по 3-му режиму; 4 – с диатомитом (30% от массы извести); 5 – контрольный

Проведенные исследования показали, что прочность при сжатии  $R_{сж}$  известковых образцов на основе добавки, синтезированной по 2-му режиму, в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения выше и составляет  $R_{сж} = 7,59$  МПа, в то время как у известковых образцов на основе добавки, синтезированной по 1 режиму, –  $R_{сж} = 4,7$  МПа, а у известковых образцов на основе добавки, синтезированной по 3 режиму, –  $R_{сж} = 4,7$  МПа. Прочность при сжатии контрольного состава составляла  $R_{сж} = 2,12$  МПа.

Анализ полученных данных выявил, что оптимальным режимом синтеза добавки является 2-ой режим синтеза. Добавка, синтезированная по 2-му режиму, характеризуется истинной плотностью, равной  $\rho_{ист} = 2200$  кг/м<sup>3</sup>, насыпной плотностью –  $\rho_{нас} = 370$  кг/м<sup>3</sup> и удельной поверхностью –  $S_{уд} = 1900$  м<sup>2</sup>/кг, активность составляет 370 мг/г.

Было исследовано влияние технологии синтеза добавки, приготовленной по 2-му режиму, на механические свойства известковых образцов. Варьируемыми факторами были модуль жидкого

стекла и удельная поверхность. В возрасте 28 суток твердения определялась прочность при сжатии.

Выявлено, что при увеличении модуля жидкого стекла растет прочность при сжатии. При синтезе добавки из жидкого натриевого стекла с модулем  $M=2,7$  прочность известкового образца составляет  $R_{сж}=6,825$  МПа, а при применении жидкого натриевого стекла с модулем  $M=2,8$  и  $M=2,9$  – соответственно  $R_{сж} = 7,105$  МПа и  $R_{сж}=7,59$  МПа.

Установлено, что при увеличении удельной поверхности добавки прочность при сжатии известковых образцов увеличивается. При величине удельной поверхности  $S_{уд}$  добавки, равной  $S_{уд} = 19000 \text{ см}^2/\text{г}$ , прочность известкового образца составляет  $R_{сж}=7,2$  МПа, при  $S_{уд} = 23500 \text{ см}^2/\text{г} - 7,525$  МПа, а при  $S_{уд} = 26000 \text{ см}^2/\text{г} - 7,95$  МПа.

Таким образом, применение наполнителя на основе гидросиликатов кальция, синтезированного в присутствии диатомита, в отделочных известковых сухих строительных смесях (ССС) позволяет повысить прочность при сжатии известковых образцов.

#### Список литературы:

1. Логанина В.И., Макарова Л.В., Мокрушина Ю.А. Тонкодисперсные наполнители на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей // Строительные материалы. 2010. № 2. С. 36-40.
2. Логанина В.И., Макарова Л.В. Штукатурные составы для реставрационных работ с применением окрашенных наполнителей // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 1. С. 38-41.
3. Логанина В.И., Макарова Л.В., Сергеева К.А. Свойства известковых композитов с силикатсодержащими наполнителями // Строительные материалы. 2012. № 3. С. 30-31.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

**Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.,  
Половнева А.В.**

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

Интенсификация твердения бетонных и железобетонных изделий – одна из главных проблем, возникающих в процессе их производства. Его ускорение позволяет снизить затраты на тепловлажностную обработку и более эффективно использовать дорогостоящее, металлоемкое оборудование заводов ЖБК и ЖБИ. Тепловлажностная обработка изделий получила самое широкое распространение как способ ускорения твердения бетонных изделий, но на нее тратится до 20% всей энергии на их производство, что существенно повышает их стоимость.

Тепловлажностную обработку бетонных и железобетонных изделий используют с давних времен. В этой связи большое количество исследований в этой области было проведено еще в 50-80-х годах, результаты которых во многом устарели, т.к. за последние десятилетия появились новые добавки, технологии производства, модифицированные вяжущие, вследствие этого в данной области накопилось множество проблем.

Одна из важных проблем совершенствования ТВО – это минимизация температуры теплоносителя. В нашей стране на заводах ЖБК и ЖБИ чаще всего практикуется тепловая обработка с температурой теплоносителя 80-90<sup>0</sup>С. При этом пропарка с изотермической выдержкой 8-24 ч позволяет достичь физико-механических показателей бетонов, которые составляют обычно 60-70% от их марочной прочности. Исходя из этих данных, можно отметить, что повышение температуры от 20 до 80<sup>0</sup>С позволяет ускорить твердение цементных систем в 14-15 раз в зависимости от методики расчета. Согласно общеизвестным положениям кинетики химических реакций, при повышении температуры на 10<sup>0</sup>С скорость химических процессов увеличивается вдвое. Если принять за основу расчета эту информацию, то получается, что скорость взаимодействия вяжущего с водой должна возрасти в 8-10 раз. Таким образом, получается, что твердение цементных систем при повышении температуры ускоряется быстрее, чем скорость физико-химических процессов. Это обусловлено

тем, что скорость твердения и скорость процессов гидратации – разные вещи, т.к. прочность цементного камня зависит от режима тепловой обработки, состава и структуры цементного камня и других факторов.

Важнейшим направлением уменьшения энергоемкости ТВО является снижение ее температуры или продолжительности, либо то и другое. Однако теоретические основы минимализации параметров тепловой обработки слабо освещены в отечественной и зарубежной технической литературе. Данная статья посвящена некоторым аспектам этой проблемы.

Представляет практический интерес кинетика твердения бетона, подвергнутого тепловлажностной обработке, а затем твердевшего в нормальных условиях.

В таблице 1 приведена кинетика твердения мелкозернистого бетона состава 1:3, подвергнутого ТВО при 95<sup>0</sup>С и в дальнейшем хранившегося в нормальных условиях в течение 28 суток [1].

Таблица 1 – Влияние пропаривания при 95<sup>0</sup>С на прочность цементного бетона

Цемент	Пропаривание при 95 <sup>0</sup> С в течение 16 часов, а затем хранение в воде при 22 <sup>0</sup> С до испытания			Твердение в нормальных условиях 22 <sup>0</sup> С		
	Прочность в МПа					
	1 сут	7 сут	28 сут	1 сут	7 сут	28 сут
А	17,2	16,3	16,5	3,2	21,6	34,1
Б	22,5	25,4	25,8	2	13,4	31
В	19	18,4	19,9	8,2	23,9	47,7
Г	9,1	11	13,2	1,5	10,9	24,9

Из таблицы видно, что образцы, которые были подвергнуты ТВО при 95<sup>0</sup>С, набирают прочность слабо, а к 28 суткам иногда происходит ее спад. Можно отметить, что прочность изделий после ТВО с температурой 80-95<sup>0</sup>С является конечной, так как при последующем хранении в нормальных условиях ее дальнейший рост почти отсутствует. Образцы, твердевшие в нормальных условиях, набирают прочность очень интенсивно. Мелкозернистый бетон на цементах А, Г, твердевший в нормальных условиях, достигает прочности образцов, подвергшихся ТВО при 95<sup>0</sup>С, в течение 16 часов, уже на 3–4 сутки, а их



марочная прочность превосходит прочность пропаренных образцов в 2,5 раз.

Для обеспечения ускоренного набора прочности изделий и конструкций необходимо применять комплекс мер. К ним относятся использование быстротвердеющих высокомарочных цементов, умеренно жестких и жестких бетонных смесей, а также пластифицирующих добавок и ускорителей твердения бетона. В работах [2,3] подробно рассмотрен механизм действия добавок – ускорителей твердения бетонов.

Если говорить о энергоберегающих технологиях в производстве бетонных и железобетонных изделий, основной упор следует сделать на снижение температуры теплоносителя с 80 до 40<sup>0</sup>С, а также на сокращение продолжительности ТВО. Выбор температуры 40<sup>0</sup>С главным образом связан с механизмом образования первичного и вторичного этрингита в цементной системе и растворимостью гипса[4].

При переходе на такой режим следует учесть множество факторов, оказывающих влияние на цементную систему: влияние минерального состава вяжущего, добавок супер- и гипер- пластификаторов, неорганических и комплексных ускорителей твердения и схватывания цементных систем, продолжительность и режим предварительной выдержки изделий, влияние гипса, последующий набор прочности изделий и т.д.

Немаловажным фактором, оказывающим влияние на прочностные характеристики цементных бетонов, является предварительная выдержка изделий перед ТВО. Нами был проведен ряд экспериментов по изучению влияния предварительной выдержки на прочность пропаренного бетона при 40 и 80<sup>0</sup>С. Были использованы цементы Белгородского цементного завода (ЦЕМ I, содержание С<sub>3</sub>А–8,5%) и Турецкого цементного завода (ЦЕМ I содержание С<sub>3</sub>А–13,5%). Эксперимент показал, что образцы, подвергнутые ТВО с температурой теплоносителя 80<sup>0</sup>С, без предварительной выдержки имеют резкий спад прочности по сравнению с образцами, которые были выдержаны в нормальных условиях до начала и конца схватывания. Особенно сильна разница на образцах, изготовленных из высокоалюминатного турецкого цемента. При ТВО с температурой теплоносителя 40<sup>0</sup>С не наблюдается сильного спада прочности, она монотонно растет по мере продолжительности предварительной выдержки.

При последующем твердении образцов в нормальных условиях образцы, подвергнутые ТВО с пониженной температурой

изотермической выдержки  $40^{\circ}\text{C}$ , набирают прочность лучше, чем после ТВО при  $80^{\circ}\text{C}$  уже на 3е сутки.

Большой интерес вызывает последующий набор прочности образцов, твердевших в камере ТВО при  $40$  и  $80^{\circ}\text{C}$  и дальнейшем твердении в нормальных условиях. В этой связи был проведен ряд экспериментов, которые показали, что нарастание прочности бетона, подвергнутого тепловой обработке при  $80^{\circ}\text{C}$ , происходит слабо, особенно на высокоалюминатном цементе. Прочность бетона после такой обработки на рядовом Белгородском цементе увеличивается к 7 суткам до 32,5% по сравнению с прочностью в первые сутки, а на высокоалюминатном Турецком цементе увеличивается от 2% до 20% в зависимости от продолжительности изотермической выдержки.

Бетонные образцы после ТВО при  $40^{\circ}\text{C}$  набирают прочность достаточно интенсивно до 7 суток. Прочность бетона на Белгородском цементе к 7 суткам увеличивается на 150%, а на Турецком до 112%. Прочность бетона, твердевшего в нормальных условиях, к 7 суткам увеличивается в 4 раза по сравнению с прочностью в первые сутки.

Кинетика твердения бетона после ТВО с температурой изотермической выдержки  $40^{\circ}\text{C}$  близка к нормальному твердению.

Короткие режимы ТВО при  $80^{\circ}\text{C}$  малоэффективны. Гораздо эффективнее при таких режимах применять 40 градусную тепловую обработку, так как прочность бетона, особенно на высокоалюминатном цементе, выше уже в первые сутки и при последующем хранении бетон после низкотемпературной обработки мелкозернистого бетона очень интенсивно набирает прочность.

Такое поведение высокоалюминатного цемента турецкого завода может быть обусловлено тем, что в нем во время предварительной выдержки образуется существенное количество этtringита, который, в сравнительно жидкой системе кристаллизуется без отрицательного влияния на прочность. Его кристаллы имеют игольчатую форму, которые впоследствии будут армировать систему.

Когда производится пропарка изделий при  $40^{\circ}\text{C}$ , этtringит остается в той же форме и не разлагается, а при высокотемпературной обработке с температурой теплоносителя  $80^{\circ}\text{C}$  и выше он разлагается до моносультной формы гидросультфоалюмината в уже затвердевшей системе, что отрицательно влияет на прочность изделия. После отгрузки на склады возможно образование вторичного этtringита, который оказывает отрицательное действие на прочность изделий.

Резюмируя изложенное, можно отметить следующее:

Бетон, твердевший в камере ТВО с температурой теплоносителя  $40^{\circ}\text{C}$ , при последующем хранении набирает прочность лучше пропаренного бетона при  $80^{\circ}\text{C}$ .

Дополнительным достоинством низкотемпературной тепловой обработки бетонных изделий при  $40^{\circ}\text{C}$ , является то, что при этом предварительная выдержка, которая достигает 2-3 часа, слабо влияет на прочность пропаренных изделий, что позволит увеличить оборачиваемость форм на заводах ЖБИ.

При тепловлажностной обработке с температурой теплоносителя  $40^{\circ}\text{C}$ , в противоположность  $80^{\circ}\text{C}$ , нецелесообразно применять длительные режимы пропарки.

#### **Список литературы:**

1. Тейлор Х. Химия цемента. М.: Мир, 1996. 560 с., ил. Перевод с англ.
2. Рахимбаев Ш.М., Сердюкова А.А. О механизме действия ускорителей схватывания и твердения цементной матрицы бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 26-28.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АВС, 2003. 500с.
4. Рахимбаев Ш.М., Половнева А.В. Теоретическое обоснование энергоэффективной тепловой обработки бетона // Известия вузов. Строительство. 2014. № 3. С. 22-26.

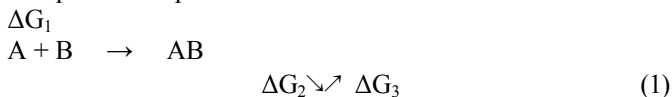
## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИДРАТАЦИИ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

**Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.,**  
**Рахимбаев И.Ш., канд. техн. наук, инженер**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Строительный гипс, наряду с портландцементом, является важнейшим вяжущим материалом; тем не менее, многие вопросы его гидратации мало исследованы и являются дискуссионными [1-4].

В данной работе предлагается термодинамический анализ процессов гидратации  $\beta$  - полуводного сульфата кальция (ПСК).

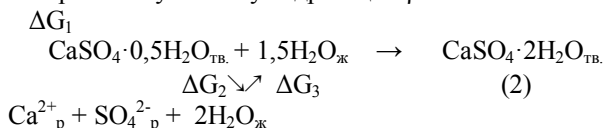
Расчеты были выполнены с использованием термодинамического цикла Борна – Габера:



В данном цикле (1)  $A^-$  и  $B^+$  – промежуточные продукты реакции  $A+B = AB$ ,  $\Delta G$  – термодинамические эффекты реакций.

При указанном в (1) направлении стрелок  $|\Delta G_1| = |\Delta G_2| + |\Delta G_3|$ .

Рассмотрим простейшую схему гидратации  $\beta$  – ПСК.



Использованы следующие численные значения  $\Delta G^\circ$  [5-7]:

$CaSO_4 \cdot 2H_2O_{тв.} = -428,1$  ккал/моль =  $-1789,4$  кДж/моль,

$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O_{тв.} = -343,0$  ккал/моль =  $-1433,7$  кДж/моль.

$H_2O_{ж} = -56,7$  ккал/моль =  $-237,0$  кДж/моль,

$Ca^{2+}_{(р)} = -132,2$  ккал/моль =  $-552,6$  кДж/моль,

$SO_4^{2-}_{(р)} = -177,8$  ккал/моль =  $-1743,2$  кДж/моль.

Результаты расчетов:

$\Delta G_1 = -1,55$  ккал/моль =  $-6,48$  кДж/моль;

$\Delta G_2 = 4,65$  ккал/моль =  $19,43$  кДж/моль;

$\Delta G_3 = -6,2$  ккал/моль =  $-25,90$  кДж/моль.

Для проверки соответствия полученных результатов экспериментальным данным произведем расчет равновесной

растворимости ПСК на основе свободной энергии его растворения  $\Delta G_2 = 19,43$  кДж/моль.

$$- \lg K_p = \Delta G/RT = -3.41;$$

$$K_p = [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]; \quad [Ca^{2+}] = [SO_4^{2-}];$$

$$2 \lg [Ca^{2+}] = -3.41; \lg [Ca^{2+}] = -1.705; [Ca^{2+}] = 2 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 40 \text{ г/л } Ca^{2+} = 0,8 \text{ г/л } Ca^{2+}.$$

$$[SO_4^{2-}] = 2 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 96 \text{ г/л } SO_4^{2-} = 1,92 \text{ г/л } SO_4^{2-}.$$

Полученные результаты по активности ионов  $Ca^{2+}$  и  $SO_4^{2-}$  необходимо пересчитать в концентрации:  $c = a/f$ , где  $f$  – коэффициент активности.

Расчет производим, используя одну из формул для закона Дебая-Хюккеля [8]:

$$\lg f_{\pm} = \frac{-A \cdot |Z_+ \cdot Z_-| \cdot \sqrt{J}}{(1 + \sqrt{J})} + c \cdot J \quad (3)$$

где:  $A$  – температурная константа растворителя (воды) при 25°C;

$J$  – ионная сила раствора;

$c$  – эмпирическая константа, равная 0,1;

Расчеты показали:

для  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ :  $J = 0,2208$ ,  $f = 0,3379$ ;

для  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ :  $J = 0,0464$ ,  $f = 0,4751$ .

Теперь рассчитаем концентрации ионов и соли.

$$C_{Ca^{2+}} = 0,8 / 0,3379 = 2,37 \text{ г/л}; \quad C_{SO_4^{2-}} = 1,92 / 0,3379 = 5,67 \text{ г/л}.$$

Суммарная концентрация равновесного раствора  $\beta$  – ПСК составит 8,04 г/л в пересчете на  $CaSO_4$ , что удовлетворительно согласуется с экспериментальной величиной 8 г/л.

Анализ результатов расчетов показывает, что самым малым уменьшением изобарно-изотермического потенциала характеризуется растворение полуводного сульфата кальция (ПСК) в воде с диссоциацией его на ионы  $Ca^{2+}_{(р.)}$  и  $SO_4^{2-}_{(р.)}$ , тогда как кристаллизация гипса из раствора сопровождается существенным уменьшением  $\Delta G_3$  системы. Из этого следует, что именно растворение ПСК лимитирует интенсивность гидратации гипсового вяжущего.

Изложенные соображения являются теоретическим обоснованием таких способов ускорения гидратации гипсового вяжущего, как увеличение тонкости помола, умеренный нагрев, интенсификация перемешивания.

На основе эмпирических данных в [2] утверждается, что химические добавки – электролиты, которые увеличивают растворимость гипсового вяжущего, ускоряют его гидратацию и

схватывание, а снижающие его растворимость – замедляют эти процессы.

Теоретическое рассмотрение этого вопроса дано в работе [9]. В ней показано, что на интенсивность взаимодействия частиц неорганических вяжущих с водой в принципе могут влиять 2 фактора – скорость поступления молекул воды, либо ионов, из которых она состоит ( $\text{H}_3\text{O}^+$  и  $\text{OH}^-$ ), к поверхности гидратирующихся частиц и интенсивность отвода продуктов гидратации, прежде всего ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , из зоны реакции в жидкую фазу.

Данные по энергии гидратации и скорости диффузии в воде приводят к выводу, что скорость взаимодействия неорганических вяжущих, в том числе гипсовых, лимитируется интенсивностью отвода продуктов реакции от поверхности твердых частиц в жидкую фазу. Движущей силой этого процесса в первую очередь является разность концентраций указанных ионов в зоне реакции гидратации и в поровой жидкости вяжущего.

Ввод в систему таких добавок, как  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  и т.п. повышает растворимость гипса и увеличивает скорость его гидратации и схватывания, а ввод хорошо растворимых солей кальция, например,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и т.п., содержащих одноименный с сульфатом кальция ион, уменьшает растворимость последнего, хотя и ускоряет гидратацию строительного гипса. Причина изложенного заключается в том, что ввод электролитов в суспензию строительного гипса влияет на степень пересыщения жидкой фазы ионами  $\text{Ca}^{2+}_{(р.)}$  и  $\text{SO}_4^{2-}_{(р.)}$  по отношению к гипсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , который кристаллизуется как конечная фаза, формирующая структуру твердения.

Движущей силой «выхода» ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  из зоны гидратации в жидкую фазу является разность их концентраций, которая достигает 6 г/л по  $\text{CaSO}_4$ . Ввод электролитов, увеличивающих емкость жидкой фазы по этим ионам, например,  $\text{NaCl}$ , повышает скорость гидратации гипсового вяжущего.

Добавки  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и других электролитов ускоряет гидратацию по другому механизму, воздействуя на стадию 3 процесса (2).

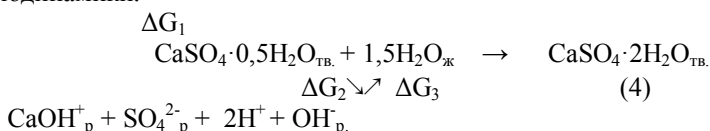
Дело в том, что кристаллизация гипса из раствора происходит при достижении величины произведения растворимости  $\text{PP} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 10^{-4.54}$ .

Для его увеличения не обязательно повышение активностей обоих ионов, достаточно лишь одного в необходимой мере, если даже при этом активность второго иона уменьшится. Именно так действуют  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

В схеме гидратации (2) принято, что pH среды при гидратации ПСК обычно находится в пределах 6 – 8, что согласуется с большинством экспериментальных данных по этому вопросу [3].

Есть, однако, отдельные данные о том, что при гидратации ПСК pH среды может меняться от 2,5 до 12,5. Последнее наблюдается при гидролизе и гидратации такого высокощелочного соединения, как алит  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  [2]. Изменение активности ионов водорода при гидратации ПСК объясняют тем, что образуются  $(\text{CaOH})_2\text{SO}_4$ , а затем –  $\text{Ca}(\text{HSO}_4)_2$ .

Рассмотрим эти процессы с точки зрения химической термодинамики.



Рассчитаем численные значения  $\Delta G$  отдельных стадий этого процесса, при котором образуются ион  $\text{CaOH}^+$ , а концентрация ионов  $\text{H}^+$  вдвое больше, чем  $\text{OH}^-$ .

$$\begin{aligned} \Delta G_1 &= -1,55 \text{ ккал/моль} = -6,48 \text{ кДж/моль}, \\ \Delta G_2 &= 343 + 1,5 \cdot 56,7 - 171 - 177,8 - 37,6 = 41,65 \text{ ккал/моль} = 174,1 \text{ кДж/моль}, \\ \Delta G_3 &= 171 + 177,8 + 37,6 - 429 = -43,2 \text{ ккал/моль} = -180,6 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

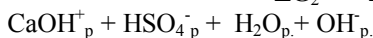
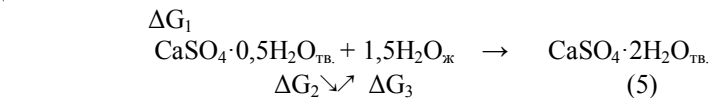
Расчет активности показал:

$$[\text{Ca}^{2+}] = 6 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л} = 2,40 \cdot 10^{-5} \text{ г/л Ca}^{2+};$$

$$\text{pH} = 2,42.$$

Полученная активность ионов  $\text{Ca}^{2+}$  на 4 порядка ниже экспериментальной величины. Кроме того, увеличение  $\Delta G$  во время второй, самой термодинамически невыгодной стадии процесса по этой схеме равно 40,65 ккал/моль, что на 36 ккал/моль или 150 кДж/моль больше, чем при нормальной схеме гидратации.

Рассмотрим теперь гидратации ПСК – с образованием щелочной среды.



$$\text{Здесь } \Delta G_2 = 21,05 \text{ ккал/моль} = 88,0 \text{ кДж/моль},$$

$$\lg K_{\text{р}} = -15,43,$$

$$K_{\text{р}} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{HSO}_4^-] \cdot [\text{OH}^-] = [\text{Ca}^{2+}]^3; \quad \lg K_{\text{р}} = 3 \cdot \lg [\text{Ca}^{2+}], \quad \lg [\text{Ca}^{2+}] = -5,143,$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 9,05 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л} = 3,62 \cdot 10^{-4} \text{ г/л Ca}^{2+};$$
$$[\text{OH}^-] = 9,05 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}; \lg [\text{OH}^-] = -6 + 0,96 = -5,04.$$
$$\text{pH} = 9.$$

В данном случае расчетная активность ионов  $\text{Ca}^{2+}$  более чем на 3 порядка ниже экспериментальной.

Формализм химической термодинамики в рассматриваемом случае подтверждается данными теории кислотно-основных взаимодействий Соболева- Рамберга-Пирсона [10], согласно которой жесткость ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , входящих в состав гипсовых вяжущих, как носителей основных и кислотных свойств соответственно, лишь не намного отличаются друг от друга и при их переходе в раствор не могут наблюдаться такие величины pH среды, как 2,5 и 12,3.

Однако в природных образцах гипса различного генезиса такое возможно из-за присутствия в них примесей [3, 9], а также деятельности серобактерий, которые способны превращать ион  $\text{SO}_4^{2-}$  в  $\text{S}^{2-}$  и элементарную серу, что может сопровождаться сильным изменением кислотности среды.

#### Список литературы:

1. Семенов А.А. Российский рынок гипса: состояние и перспективы // Строительные материалы. 2009. № 2. С. 79-81.
2. Волженский А.В. Минеральные вяжущие. М: Стройиздат, 1986. 464 с.
3. Клименко В.Г. Многофазные гипсовые вяжущие. Белгород: БГТУ, 2010. 197 с.
4. Алтыкис М.Г., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Композиционные гипсовые вяжущие // Строительные материалы. 2000. № 12. С. 34-36.
5. Наумов Г.В., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л. Справочник термодинамических величин. М.: Атомиздат. 1971. 240 с.
6. Карпов Н.К., Кашик С.А, Пампура В.Д. Константы веществ для термодинамических расчетов в геохимии и петрологии. М.: Наука, 1968. 144с.
7. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. М.: Стройиздат, 1986. 408 с.
8. Корыта И.В., Дворжак И.Д., Богачкова В.Л. Электрохимия. М.: Мир, 1977. 347 с.
9. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Тольпина Н.М., Рыбцова М.Б. Особенности твердения ВГВ в сульфатных средах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 1. С. 52-57.



## **КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИКРОСФЕР**

**Сапелин А.Н., соискатель,**

**Бессонов И.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.**

*Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук*

**Елистраткин М.Ю., канд. техн. наук, доц.**

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

Ужесточение требований к повышению комфортности системы «человек – материал – среда обитания» предполагают реализацию энергосберегающих мероприятий во всех сферах строительства. Одним из возможных путей повышения энергоэффективности зданий является снижение эксплуатационной теплопроводности наружных несущих стен [1].

Наиболее широко применяемыми стеновыми материалами в настоящее время являются газосиликат и керамзитобетон, имеющие достаточную прочность и долговечность. В тоже время, обладая номинально хорошими теплоизоляционными свойствами, в реальных условиях они далеко не всегда обеспечивают нужное термическое сопротивление указанных конструкций.

Водопоглощение ячеистого бетона плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  может достигать до 70% по объёму. Безусловно, в условиях реальной эксплуатации подобная степень увлажнения материала может возникнуть только в чрезвычайных ситуациях (наводнение, аварии систем отопления и водоснабжения). Однако, повышение влажности газосиликата с 10 до 20% (при плотности  $500 \text{ кг/м}^3$ ) приведёт к повышению его теплопроводности на 30...40%. При однослойной конструкции стены пропорционально вырастут и теплопотери через неё. Вероятность подобной или большей степени увлажнения конструкций, несмотря на наличие внешнего декоративно-защитного штукатурного слоя, в последние годы выросла и в районах с континентальным климатом, ввиду изменения характера зим. Так, последняя зима в центральном регионе, началась с месяца непрерывающихся дождей, резко перешедших в сильные морозы. Многие обитатели коттеджей возведённых из традиционных материалов, отметили снижение внутренней температуры и повышение расхода газа на отопление.

Одним из путей минимизации влияния увлажнения стенового материала на его теплопроводность и снижения накопления влаги в однослойных ограждающих конструкциях является изоляция как можно большей части воздуха находящегося в поровом пространстве материала от взаимодействия с внешней средой. Наиболее совершенными материалами в этом отношении являются природная пемза, её искусственный аналог – пеностекло, некоторые полимерные материалы. Однако, запасы пемзы ограничены, получение пеностекла отличается повышенной энергоёмкостью и многостадийностью, у полимерных материалов не выполняется баланс таких свойств как прочность – стойкость к УФ-лучам и старению – экологичность – стоимость [2].

В связи с этим значительный интерес представляет разработка технологии производства теплоизоляционно-конструкционных материалов (ТКМ) с низкой теплопроводностью при эксплуатационном увлажнении на основе микросфер.

Алюмосиликатная микросфера (рис. 1), являющаяся основой разработанных материалов, представляет собой стеклокристаллический шарик, размером 20...500 мкм (преимущественно 100...200 мкм), с толщиной стенки 10 % от диаметра.

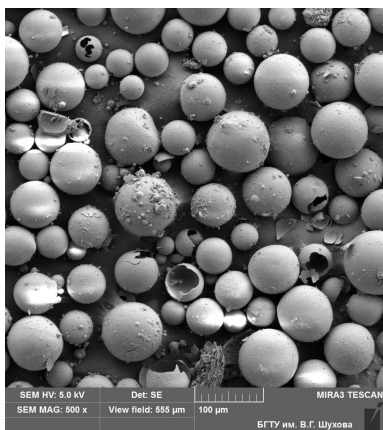


Рисунок 1 – Алюмосиликатные микросферы (РЭМ,  $\times 500$ )

Образуются алюмосиликатные микросферы при сжигании углей в топках тепловых электростанций, посредством раздувания пузырька газовых включений в отдельных каплях расплава минеральных частиц. Основные достоинства микросфер – это низкая насыпная плотность ( $320...360 \text{ кг/м}^3$ ), высокая прочность (прочность на гидростатическое сжатие при 50% уровне разрушения составляет 15 МПа) и твердость, высокие показатели текучести, компактность, низкая усадка, низкая тепло-проводность ( $0,08...0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), радиопрозрачность, инертность и термостойкость (до

$1200^\circ\text{C}$ ). Содержание алюмосиликатных микросфер в золошлаковых отходах от 0,1% до 3%.

В качестве связующих веществ были опробованы глина и портландцемент.

Технология изготовления материала **на глиняном связующем** заключается в смешивании порошкообразной глины с микросферами. Увлажнение массы осуществляется распылением воды, формование изделий – путём их прессования, после чего следуют сушка и обжиг. Интеллектуальная собственность технологии защищена патентом РФ. Основные характеристики материалов МСГ приведены в табл. 1.

Как видно из представленных данных, управление плотностью и прочностью в довольно широких пределах можно осуществлять за счёт изменения давления прессования и соотношения компонентов.

Таблица 1 – Характеристики материалов на глиняном связующем (МСГ)

Маркировка состава	Микросферы / связующее	Давление прессования, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Водопоглощение, %	Теплопроводность, Вт/(м·К)
МСГ-1	65 / 35	1,6	648	3,9	46,0	0,194
МСГ-2	65 / 35	3,2	760	6,6	35,6	0,240
<b>МСГ-3</b>	<b>70 / 30</b>	<b>3,2</b>	<b>715</b>	<b>4,5</b>	<b>42,2</b>	<b>0,233</b>
МСГ-4	75 / 25	3,2	653	3,7	45,4	0,198
<b>МСГ-5</b>	<b>65 / 35</b>	<b>5,0</b>	<b>821</b>	<b>10,1</b>	<b>28,8</b>	<b>0,262</b>
МСГ-6	70 / 30	5,0	795	8,6	30,1	0,241
МСГ-7	75 / 25	5,0	773	6,7	32,5	0,239

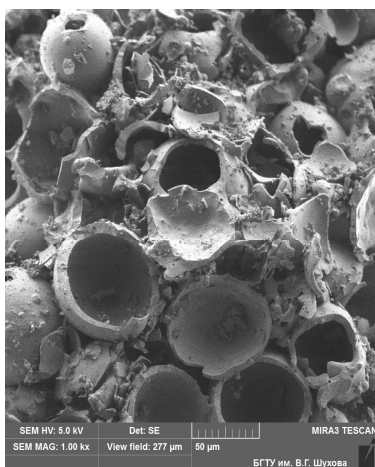


Рисунок 2 – Характер излома материала МСГ-5 (РЭМ,  $\times 1000$ )

Увеличение доли микросфер приводит к снижению прочностных характеристик, однако может быть скомпенсировано увеличением давления прессования, что хорошо прослеживается на составах МСГ-2 и МСГ-7. Такое решение позволяет ещё в большей степени снизить ту часть пор материала, которая может быть заполнена водой, дополнительно стабилизируя теплофизические свойства материала при увлажнении.

По совокупности физико-механических показателей наибольший практический интерес представляют материалы МСГ-3 и

МСГ-5. Как видно из рис. 2, что разрушение материала происходит как по прослойкам связующего, так и по оболочкам микросфер, что свидетельствует о сопоставимости прочностей и хорошем сцеплении между ними. Морозостойкость материала, по результатам испытаний, составляет более 100 циклов.

Технология получения композита **на основе портландцемента** заключается в приготовлении формовочной массы состоящей из микросфер, цемента и воды, из которой за счёт виброуплотнения формируются изделия. Возможно применение любых других способов формования. Составы и основные свойства материалов МСЦ представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Состав и свойства бетонов на цементном вяжущем (МСЦ)

Маркировка состава	Вяжущее / микросферы	В/Ц	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Водопоглощение, %	Теплопроводность, Вт/(м·К)
МСЦ-1	2,8 / 0,6	0,25	1407	63,1	7,4	0,445
МСЦ-2	1,57 / 0,67	0,32	1076	35,1	12,8	0,380
МСЦ-3	1,15 / 0,74	0,55	864	22,1	19,8	0,301
<b>МСЦ-4</b>	<b>0,78 / 0,84</b>	<b>1,07</b>	<b>677</b>	<b>8,9</b>	<b>36,8</b>	<b>0,200</b>
<b>МСЦ-5</b>	<b>0,64 / 0,96</b>	<b>1,37</b>	<b>575</b>	<b>6,6</b>	<b>39,5</b>	<b>0,175</b>
МСЦ-7	0,33 / 0,96	3,10	478	2,0	63,2	0,137

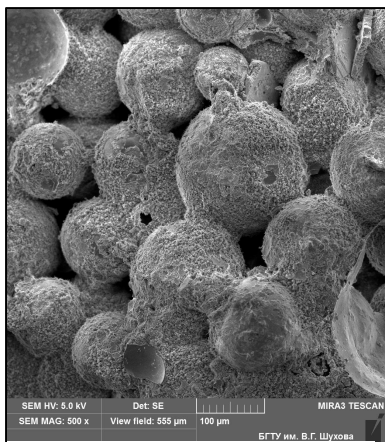


Рисунок 3 – Характер излома материала МСЦ-5 (РЭМ,  $\square$ 500)

Как видно из представленных данных, прочность полученных материалов превышает аналогичный показатель ячеистых бетонов. При этом технология изготовления данного материала существенно проще, чем у близкого по функциональным характеристикам газосиликата. Отсутствует такой тонкий процесс как вспучивание массива, чувствительный к минимальным изменениям температуры, влажности массы, состава и свойств сырья, механическим воздействиям.

Значительно упрощается процесс ТВО, появляется возможность применять для этих целей не пар, а продукты сгорания природного газа, что позволяет регулировать конечную влажность изделий. Использовать энергию солнца и т.д. Морозостойкость композитов на основе цемента превышает 75 циклов замораживания-оттаивания.

На микрофотографии материала (рис. 3) видно, что поверхность частиц микрозаполнителя покрыта плотным слоем продуктов гидратации вяжущего. Обращает на себя внимание иной характер разрушения. Слабым местом данной системы является контактная зона заполнитель – цементный камень. Увеличение адгезии вяжущего к поверхности микросфер, может стать дополнительным ресурсом повышения прочностных показателей.

Данные о свойствах материалов по отношению к действию воды и её паров представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Свойства материалов по отношению к влаге

Показатели	МСЦ-5	МСГ-3
Пористость, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,615	0,592
Водопоглощение, % масс.	42,2	41,7
Водопоглощение, кг/м <sup>3</sup>	238,4	294,8
Паропроницаемость для сухого климата, мг/(м <sup>2</sup> чПа)	0,0388	0,111
Паропроницаемость для влажного климата, мг/(м <sup>2</sup> чПа)	0,0319	0,106
Коэффициент абсорбции воды, кг/м <sup>2</sup> √ч	1,79	72,91

Сравнение теплопроводности ячеистого бетона и материала на микросферах показало что, несмотря на большую теплопроводность в сухом состоянии, во влажном состоянии теплопроводность материала на микросферах остаётся ниже табл. 4.

Таблица 4 – Расчётная теплопроводность материалов

Материал	Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> К)	
	в сухом состоянии	во влажном состоянии
Ячеистый бетон	0,166	0,296
Материал на микросферах	0,176	0,217

Таким образом, разработанные материалы по комплексу свойств превосходят функциональные аналоги, и, с учётом относительной простоты технологии изготовления, могут составить последним достойную конкуренцию как в малоэтажном коттеджном строительстве, так и в качестве материала наружных стен многоэтажных зданий.

### **Список литературы:**

1. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 219 с.
2. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. М.: Изд. АСВ, 2008. 595 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕАВТОКЛАВНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ\*

**Сивальнева М.Н., аспирант**

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

В настоящее время в Российской Федерации к проблемам энергосбережения и энергоэффективности обращено большое внимание и даже сформировано в одно из приоритетных направлений развития. Так в отрасли производства строительных материалов большой интерес направлен на конструкционно-теплоизоляционные и теплоизоляционные материалы, к которым преимущественно относится ячеистый бетон. По данным Росстата за первое полугодие 2014 года в сравнении с предыдущим годом прирост производства стеновых мелких блоков из ячеистого бетона составил 12,6%. Подобная динамика роста наблюдалась и ранее. В связи с этим можно говорить о перспективности научных исследований и работ, направленных на повышение технико-эксплуатационной и экономической эффективности ячеистых бетонов.

Одним из самых распространенных строительных материалов данного типа является пенобетон, отличительная особенность которого – достаточно высокие механические и теплофизические характеристики при широком диапазоне плотностей, что способствует расширению сферы применения [1]. Ячеистые материалы неавтоклавного типа твердения к тому же характеризуются простотой технологии и сниженной стоимостью.

Не смотря на значительные преимущества, неавтоклавный пенобетон имеет ряд недостатков и проблемных областей, касающихся интенсивного развития усадочных деформаций особенно в ранний период набора прочности, возможности улучшения механических и теплозащитных свойств, увеличения долговечности стеновых конструкций из данного материала. Решить указанные проблемы возможно двумя способами: использованием рецептурных и технологических приемов (рис. 1).

При производстве пенобетонов неавтоклавного твердения основополагающим направлением развития является корректировка составов, основные компоненты которых представлены вяжущими веществами, пенообразователями, заполнителями, водой. Рассмотрим их в отдельности.



Рисунок 1 – Современные способы повышения эффективности пенобетонов неавтоклавного твердения

Основной рецептурный компонент пенобетонной системы – вяжущие вещества, классическим представителем данного класса материалов является цемент. Для устранения имеющихся недостатков и повышения его эффективности предлагается модификация путем применения добавок различного назначения, разработка композиционных и принципиально новых видов вяжущих [2–4].

В настоящее время в России существует много разновидностей пенообразователей как отечественного, так и зарубежного производства. Данный компонент пенобетона выполняет важную роль при формировании ячеистой структуры. Основные показатели его действия: кратность, устойчивость, синерезис, расход воды при получении пены. Для достижения высокой пенообразующей способности и стабильных показателей пены, способствующей формированию качественной и прочной структуры материала, применяются методы по созданию новых и разработке комплексных пенообразующих добавок [5,6].

Использование заполнителей и наполнителей в технологии пенобетона не являются обязательным. В качестве данных компонентов в основном выступают песок и различные отходы производств: зола-уноса ТЭЦ, известняковая мука, доломитовая мука и т.п. Применение подобных отходов позволяет значительно снизить себестоимость и увеличить качество продукции. Также варьирование количеством и



дисперсностью заполнителей позволяет управлять плотностью, прочностью, усадочными деформациями материала.

Еще одним пунктом решения проблем путем корректировки состава является модификация структуры. Это может достигаться посредством подбора и введения в систему:

- пластифицирующих добавок, которые позволяют регулировать количество воды затворения и тем самым управлять капиллярной пористостью [7]. Пластифицирующий эффект обеспечивает высокую связность и снижение водоотделения пенобетонных смесей. При этом оказывается положительное влияние на устойчивость пены, снижая расход пенообразователя, и формируются условия, препятствующие расслоению поризованной системы материала;

- гидрофобизирующих добавок, применение которых позволяет ячеистым композитам приобрести водоотталкивающие свойства, что приводит к расширению области применения и повышению долговечности материала;

- ускорители твердения, направленные на ускорение сроков твердения и сушки в ранний период набора прочности с целью повышения стабильности структуры композита [8]. Использование данной модификации структуры особенно важно при производстве пенобетонных изделий неавтоклавнового типа твердения;

- микро- и дисперсно армирующие добавки, которыми являются фиброволокна органической и неорганической природы. Их использование оказывает положительное влияние на агрегативную устойчивость структуры, способствует снижению напряжений и усадочных деформаций, повышению прочности. Данный способ модификации и улучшения структурообразования создает некоторое подобие каркаса, предотвращающее трещинообразование [9,10].

Модификация структуры композита также возможна за счет применения комплекса стабилизирующих добавок и мероприятий по упрочнению структуры. Примером может служить механизм упрочнения химическим активированием контактных связей (УХАКС). Метод заключается в выдержке в среде щелочного раствора или орошении им поверхностного слоя строительного материала преимущественно силикатного состава. Вследствие растворения (деполимеризация)  $\text{SiO}_2$  образуется насыщенный раствор кремниеслоты, твердая фаза которой на поверхности матрицы пересаживается по механизму поликонденсации [11]. Наиболее оптимальным способом применения данного метода для ячеистых материалов является орошение, что позволяет упрочнить структуру, при

этом не оказывается значительного влияния на технологический процесс и рост плотности.

Вторым направлением решения проблем производства пенобетона являются технологические приемы. Под пунктом «Оборудование» подразумевается обширный комплекс мероприятий по модернизации технологических линий и разработке новой современной аппаратной, материально-технической базы предприятий. При производстве пенобетонных смесей колоссальное влияние оказывает технологическое состояние смесительных и пеногенерирующих установок. Применение современных технологий с возможностью модульно-цифрового автоматического дозирования компонентов, точного управления и стабильности подачи давления в течение всего производственного цикла позволяет получать высококачественную пену и материал со стабильными характеристиками.

Учитывая специфику технологических процессов каждого вида строительных материалов, важным аспектом является подбор оптимальных способов введения компонентов. Определение стадийности и условий применения компонентов позволяет достичь максимального влияния на дисперсную систему композита. Это же можно сказать о факторах обработки, к которым относятся гидротермальный режим обработки свежезаформованной смеси, первоначальное температурное воздействие на определенные компоненты, обработка готовых изделий специализированными покрытиями и составами.

Возможно рациональное сочетание направлений и применение рецептурно-технологических решений. Анализ способов повышения эффективности производства неавтоклавных пенобетонов позволит получить решения, которые существенно улучшат технико-эксплуатационные характеристики композитов и, следовательно, экономическую привлекательность в сравнении с имеющимися продуктами на рынке, расширят диапазон применения в строительстве, упростят технологию.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках: государственного задания; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.*

#### **Список литературы:**

1. Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. Монография. М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2010. 248 с.

2. Мирошников Е.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В. Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 105-106.
3. Оценка эффективности применения наноструктурированного вяжущего при получении легковесных ячеистых композитов / В.В. Строкова, А.В. Череватова, Н.В. Павленко, Е.В. Мирошников, Н.А. Шаповалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 48-51.
4. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Бондарева Е.Н. Перспективы развития геопалимерных вяжущих // Исследования и инновации в ВУЗе: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 499-502.
5. Шахова Л.Д. Роль пенообразователей в технологии пенобетонов // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 16-19.
6. Павленко Н.В., Строкова В.В., Череватова А.В. Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 77 с.
7. Перфилов В.А., Котляревская А.В., Вольская О.Н., Кусмарцева О.А. Влияние активированной воды затворения и модифицирующих добавок на прочность ячеистых бетонов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура. 2011. № 22. С. 65-68.
8. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С. Ускорение твердения пенобетонов // Строительные материалы. 2005. №5. С. 3-7.
9. Моргун Л.В., Моргун В.Н. Влияние дисперсного армирования на агрегативную устойчивость пенобетонных смесей // Строительные материалы. 2003. № 1. С. 33-35.
10. Перфилов В.А., Аткина А.В., Кусмарцева О.А. Применение модифицирующих микроармирующих компонентов для повышения прочности ячеистых материалов // Известия вузов Сер.: Строительство. 2010. № 9. С. 11-14.
11. Череватова А.В., Гащенко Э.О., Павленко Н.В. Исследование процесса упрочнения безобжиговых материалов на основе ВКВС посредством химического активирования контактных связей // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 32-33.

## **МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ДЛЯ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ И ОТХОДОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Сопин Д.М., канд. техн. наук,  
Лесовик Р.В., д-р техн. наук, проф.,  
Ильинская Г.Г., канд. техн. наук,  
Богусевич В.А.,**

**Григоров П.С., магистрант**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время около 20% территории России расположено в зоне Северного Полярного круга, температура в самом тёплом месяце – июле – не поднимается выше  $+5^{\circ}\text{C}$ , а в некоторых местах в течение всего года ниже  $0^{\circ}\text{C}$ .

Следует отметить, что для всех регионов страны характерна одна общая черта климата: наличие ярко выраженных холодного и тёплого периодов, что объясняется континентальностью климата.

Из всех видов зимнего бетонирования, широко применяющихся в строительстве при отрицательных температурах и обеспечивающих достижение бетоном до замерзания критической прочности. Решение данной проблемы применительно к условиям Белгородской области возможно за счет использования электропрогрева мелкозернистого бетона и замены цемента современными композиционными вяжущими веществами на основе местного сырья [1-3].

Для повышения эффективности процессов структурообразования целесообразно применение местного сырья, характеризующегося высокой активностью кремнезёмсодержащих фаз [4-9] техногенных механогенных песков (кварцитопесчаника и отходов мокрой магнитной сепарации), полученных при дроблении или обогащении метаморфогенных горных пород зеленосланцевой степени метаморфизма [10-15].

С учетом разработанной номенклатуры вяжущих нами из всех способов бетонирования которые применяются в настоящее время в условиях Белгородской области были выбраны 2 метода – это бетонирование методом электропрогрева и с применением композиционных вяжущих. Для этого изготавливались образцы бетона класса В20 с осадкой конуса в пределах 10–12 см на различных

вяжущих, которые в дальнейшем исследовались по различным технологическим показателям, нормируемым при монолитном строительстве (рис. 1).

Таблица 1 – Физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов

Вид вяжущего	Расход материалов			Подвижность, ОК, см	Условия твердения R, МПа		
	Вяжущее, кг/м <sup>3</sup>	Заполнитель, кг/м <sup>3</sup>	Вода, л/м <sup>3</sup>		В естественных условиях	При отрицательных температурах	С применением электропрогрева
ЦЕМ I 42.5Н	415	1762	250	10-12	25,2	17,9	24,9
ТМЦ 50 ММС	443	1874	276	10-12	26,5	11,5	25,9
ВНВ 50 ММС	388	1814	223	10-12	25,6	18,8	25,3
ТМЦ 50 КВП	455	1778	286	10-12	25,9	11,2	25,3
ВНВ 50 КВП	395	1800	230	10-12	26,6	17,8	25,1
ТМЦ-100	351	1825	218	10-12	26,3	18,3	25,9
ВНВ 100	325	1864	162	10-12	26,0	21,2	25,8

При сокращения расхода клинкерной составляющей были получены практически аналогичные составу на цементе результаты, при экономии 50% клинкерной составляющей. С применением электропрогрева так же данные аналогичны.

Отсюда можно сделать вывод, что применение композиционных вяжущих с добавкой суперпластификатора позволяет существенно снизить расход цементной составляющей без снижения прочностных характеристик бетона.

Исследовав микроструктуры цементного камня вяжущих, мы видим, что по сравнению с цементным камнем на основе чистого цемента композиционные вяжущие обладают более плотной микроструктурой, с равномерно распределенными новообразованиями,

а образцы на основе цементного камня имеют рыхлую, прерывистую структуру с микродефектами и порами (Рис.1).

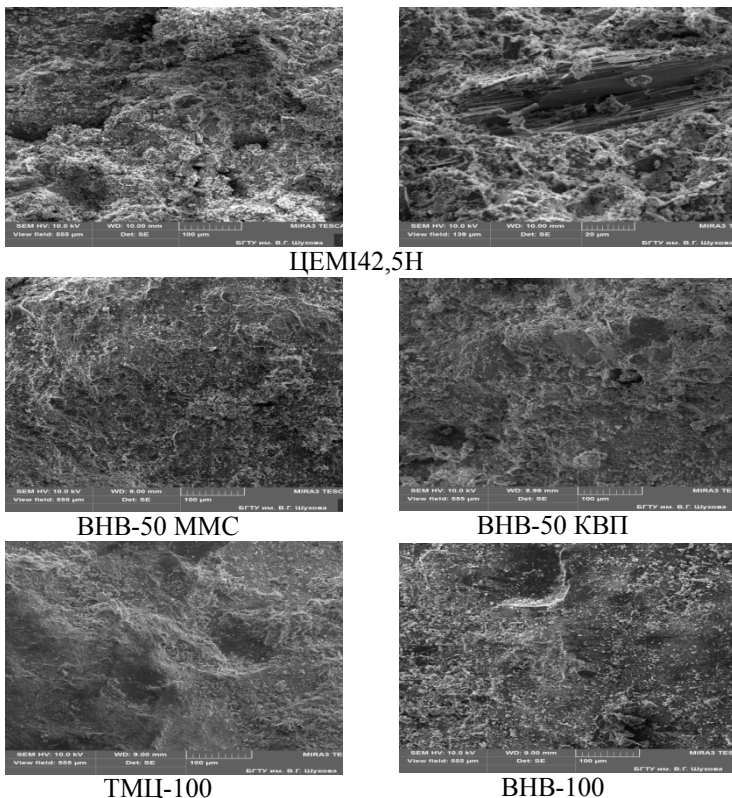


Рисунок 1 – Микроструктура бетонов на различных вяжущих в возрасте 28 сут

Отчетливо видна разница в строении микроструктуры как контактной зоны вяжущего цементного камня и заполнителя так и самого композиционного вяжущего. На ВНВ 100 отчетливо видна плотная прочная структура, прекрасная адгезия к цементному камню и значительно меньшая пористость и дефектность по сравнению с ВНВ 50 и естественно чем на ТМЦ 100.

Важными свойствами мелкозернистого бетона влияющими на его долговечность являются водопоглощение и морозостойкость. Нами

были исследованы данные показатели и получены следующие результаты, подтверждающие возможность применения полученного монолитного бетона в строительной отрасли (Табл. 2).

Таблица 2 – Водопоглощение и морозостойкость в зависимости от состава вяжущего

Вид вяжущего	Водопоглощение бетона по массе, %			Морозостойкость, Мрз		
	твердеющих в естественных условиях	твердеющих в условиях отрицательных температур	С применением электропрогрева	твердеющих в естественных условиях	твердеющих в условиях отрицательных температур	с применением электропрогрева
ЦЕМ I 42.5Н	4,8	8,2	4,9	F200	F50	F200
ТМЦ 50 ММС	4,6	8,5	4,8	F250	F75	F250
ВНВ 50 ММС	4,2	8,7	4,5	F300	F100	F300
ТМЦ 50 КВП	4,5	8,2	4,8	F250	F100	F250
ВНВ 50 КВП	4,3	8,1	4,6	F300	F75	F300
ТМЦ-100	4,4	8,4	4,8	F300	F100	F300
ВНВ-100	3,8	8,5	4,0	F300	F100	F300

У бетонов твердеющих в условиях отрицательных температур наблюдается увеличение показателя водопоглощения более чем на 70%, что связано с рыхловатость структуры вследствие льдообразования и приводит к разрушению и невосполнимой потере прочности при замораживании бетона в раннем возрасте. Таким образом, выявлен характер влияния условий твердения мелкозернистого бетона в различных условиях с использованием в качестве заполнителя отсева дробления кварцитопесчанника для применения в монолитном строительстве при отрицательных температурах. Установлено, что прочностные и деформативные свойства мелкозернистого бетона с применением композиционных вяжущих сопоставимы с бетоном

контрольного состава на обычном портландцементе, при меньшем расходе клинкерной составляющей, что можно объяснить высокими характеристиками самого вяжущего низкой водопотребности, его высокой дисперсности, низкой водопотребности, высокой активности, за счет чего улучшается состояние контактной зоны на границе раздела цементный камень – заполнитель, а также состав и структура новообразований в этой зоне.

#### Список литературы:

1. Лесовик Р.В. Использование техногенных песков для производства мелкозернистых бетонов // Строительные материалы. 2007. № 9. С. 78-79.
2. Лесовик Р.В. Комплексное использование хвостов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов // Горный журнал. 2004. № 1. С. 76-77.
3. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
4. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.
5. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
6. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направлении «наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
7. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
8. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
9. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
10. Минеральные бетоны для щебеночных оснований / А.М. Гридчин, А.Н. Хархардин, Р.В. Лесовик, С.М. Шаповалов // Строительные материалы. 2004. № 3. С. 74-75.
11. Лесовик Р.В., Строкова В.В., Ворсина М.С. Разработка укатываемого бетона на техногенном сырье для дорожного строительства // Строительные материалы. 2004. № 9. С. 8-9.



12. Лесовик Р.В. К проблеме использования техногенных песков для производства мелкозернистых бетонов и изделий на их основе // Строительные материалы. 2007. № 9. Прил. «Наука». № 10. С. 13-15.
13. Лесовик Р.В. Техногенный песок в дорожном строительстве // Строительные материалы. 2009. № 12. С. 48-50.
14. Лесовик Р.В., Ворсина М.С. Высокопрочный бетон для покрытий автомобильных дорог на основе техногенного сырья // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 46-47.
15. Лесовик Р.В., Ключев С.В. Техногенные пески для производства высококачественного фибробетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 8. С. 31-33.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИИ

<sup>1</sup>Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.,

<sup>2</sup>Евстратов А.А., hab. doc. chem. (д-р хим. наук, проф.),

<sup>1</sup>Огурцова Ю.Н., аспирант,

<sup>1</sup>Кожухова М.И., аспирант,

<sup>1</sup>Бондарева Е.Н., магистрант

<sup>1</sup>*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

<sup>2</sup>*Высшая национальная горная школа (г. Алес, Франция)*

Согласно «Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года» [1], одним из основных показателей перевода экономики России на инновационный путь развития является увеличение доли инновационной продукции в общем объеме производства до 25–35% к 2020 году. К инновационной продукции (ИП) относят новые или усовершенствованные товары, являющиеся результатами трансформации идей (результатов научных исследований и разработок, иных научно-технических достижений)<sup>2</sup>.

Материалы с самоочищающейся поверхностью, без сомнения, могут быть отнесены к категории ИП. Для России направление, связанное с производством подобных материалов, является достаточно новым, в отличие от таких стран, как США, Китай, Япония, Франция, Италия, где разработкой материалов, обладающих способностью к самоочищению, занимаются с конца прошлого века. Актуальность развития данного направления в России обусловлена его соответствием критическим технологиям Российской Федерации, перечень которых утвержден Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899: Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии; Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов; Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения.

Необходимость активного использования в России материалов с самоочищающейся поверхностью вполне очевидна. Урбанизация, рост

---

<sup>2</sup> В соответствии с приказом Федеральной службы государственной статистики от 19 августа 2011 г. N 367 «Об утверждении статистического инструментария для организации федерального статистического наблюдения за численностью, оплатой труда работников и наукой».

количества автомобилей на душу населения, наблюдающийся рост промышленности усугубляют уже достаточно сложную экологическую ситуацию. С позиции строительного материаловедения, серьезной технико-экономической проблемой является загрязнение фасадов зданий и памятников в результате оседания на их поверхности органических соединений, пыли.

На основе данных «Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году» (дата актуализации: 19.03.2014) [2] составлены сводные диаграммы показателей загрязнения атмосферного воздуха субъектов Российской Федерации (рис. 1). Два российских города – Дзержинск и Норильск – входят в список самых загрязненных мест планеты [3].

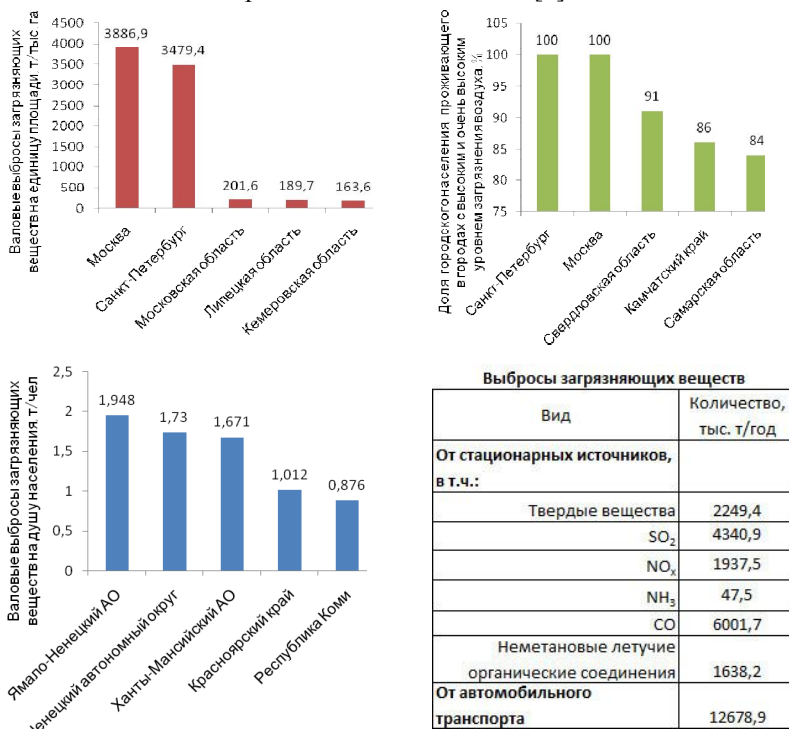


Рисунок 1 – Показатели загрязнения атмосферного воздуха РФ за 2012 год [2]

Загрязнению фасадов зданий, расположенных в городской черте, в значительной мере способствуют неметановые летучие органические соединений (ЛОС) – в первую очередь, ароматические и полиароматические соединения – адсорбирующиеся на строительных материалах и являющиеся субстратом для минеральных аэрозолей (пыли). Именно продукты осаждения последних на поверхностях, покрытых органическими адсорбатами, составляют основу загрязнений архитектурных сооружений. Задача, таким образом, состоит в необходимости оперативного удаления с поверхности материала слоя органических веществ или резкого замедления скорости его образования, вплоть до полного исключения возможности формирования продуктов адсорбции.

На данный момент применяется два способа придания материалам строительного назначения способности к самоочищению: применение «эффекта лотоса» и использование явления гетерогенного фотокатализа. Исследования по созданию материалов с «эффектом лотоса» начались в конце 1970-х годов после обнаружения, с помощью сканирующей электронной микроскопии [4], способности к самоочищению у растений. Суть предложенного способа заключается в искусственном создании микро- и нанощероховатости («ворса») на поверхности материала. Капля воды, попадая на такую поверхность, принимает шарообразную форму за счет высокого поверхностного натяжения. Затем она скатывается, захватывая частицы грязи и очищая поверхность материала. Для реализации самоочищения необходимы периодические осадки в виде дождя. На территории Российской Федерации количество осадков в наиболее загрязненных субъектах варьируется от 300 мм до 800 мм в год, следовательно, ограничений для применения материалов с «эффектом лотоса» нет.

Данный способ защиты поверхностей от загрязнения набирает популярность в России, о чем свидетельствует наличие значительного количества соответствующих продуктов на рынке: фасадные краски, металлопластиковые окна, лакокрасочные покрытия для транспорта, керамические изделия и др. Однако, все материалы указанного типа производятся за рубежом. В России в данном направлении пока проводятся только исследовательские работы [5-7].

Для реализации процесса самоочищения материалов за счет протекания фотокаталитических реакций применяют, в основном, диоксид титана  $TiO_2$ . Суть процесса заключается в том, что молекулы органических веществ из воздуха, попадая на поверхность фотокатализатора, окисляются до углекислого газа и воды под

действием УФ-облучения [8]. Помимо очищения поверхности элементов зданий и сооружений от загрязнителей, использование данного метода способствует также очищению воздуха, и не только от органических, но и от летучих неорганических соединений, а также от микроорганизмов (бактерий и вирусов).

Разработке фотокаталитических материалов в РФ посвящено больше исследований, в сравнении с материалами, самоочищение которых основано на «эффекте лотоса» [9-14]. В то же время, прикладные разработки, направленные на расширение производства и применения материалов с подобными свойствами, пока практически отсутствуют. Негативным фактором является также то обстоятельство, что в России нет собственного производства  $TiO_2$ .

При наличии положительных результатов исследований по данному направлению объемы их внедрения на территории России могут быть колоссальны, что не может не сказаться положительно на облике элементов городской архитектуры и на экологической ситуации. В стране наблюдается устойчивый рост темпов гражданского строительства. В последнее время возводится все больше зданий со стеклянными фасадами, эти фасады нуждаются в регулярной очистке. На территории Российской Федерации насчитывается более 60 тыс. памятников архитектуры, которые обладают высокой исторической и художественной ценностью. По данным Росавтодор, общая протяжённость российской сети автодорог общего пользования федерального, регионального и местного значения составляет около 1,1 млн км, где также могут быть использованы покрытия с фотокаталитическим действием. В ходе текущих и капитальных ремонтов возведенных ранее объекты также могут быть с успехом использованы самоочищающиеся покрытия.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что актуальность и перспективы производства и применения материалов строительного назначения со способностью к самоочищению обусловлены целым рядом факторов, при этом расширения фундаментальных и прикладных исследований в данном направлении не вызывает сомнений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; в рамках стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам.*

### Список литературы:

1. Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. № 2227-р О Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 г. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/#72>
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году. URL: <http://www.ecogosedoklad.ru/default.aspx>
3. New Report Cites the World's Worst Polluted Places. Top Ten Toxic Threats in 2013: Cleanup, Progress, and Ongoing Challenges. URL: <http://www.worstpolluted.org/2013-press-release.html>
4. Barthlott, Wilhelm; Ehler, N. Raster-Elektronenmikroskopie der Epidermis-Oberflächen von Spermatophyten". *Tropische und subtropische Pflanzenwelt* // Akad. Wiss. Lit. Mainz. 1977. 19. 110.
5. Патент РФ № 2490077, 13.12.2011. Горшкова О.В., Гольдин В.В., Кондратьев Д.Н. Композиция для придания поверхности свойств самоочистки на основе эффекта лотоса // Бюл. № 23.
6. Кожухова М.И., Флорес-Вивиан И., Рао С., Строкова В.В., Соболев К.Г. Комплексное силиконовое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 26-30.
7. «Эффект Лотоса» в действии. URL: <http://www.нанобарьер.рф/>
8. Carp O., Huisman C.L., Reller A. Photoinduced reactivity of titanium dioxide // *Progress in Solid State Chemistry*. 2004. № 32. Pp. 33-177.
9. Савинов Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // *Соросовский образовательный журнал*. 2000. Т.6. № 11. С. 52-56.
10. Евстратов А.А., Киш К., Малыгин А.А., Тольмез Ж.-М., Гудон П., Вэнсан Т. Распределение свободных носителей заряда на поверхности fotocувствительных материалов: зачем управлять и как управлять? // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. Хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2007. т. LI. № 6.
11. Хороших В.М., Белоус В.А. Пленки диоксида титана для фотокатализа и медицины // *Физическая инженерия поверхности*. 2009. Т. 7. № 3. С. 223-238.
12. Воронова Г.А. Перспективы применения электровзрывного нанопорошка диоксида титана в фотокатализе // *Известия Томского политехнического университета*. 2009. № 3. Т. 314. С. 41-45.
13. Герасименко Ю.В., Логачёва В.А., Ховив А.М. Синтез и свойства тонких пленок диоксида титана // *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2010. Т. 12. № 2. С. 113-118.
14. Нарцев В.М., Прохоренков Д.С., Осипенко Н.В., Зайцев С.В., Евтушенко Е.И. Исследование свойств TiO<sub>2</sub>-покрытий, формируемых с использованием вакуум-плазменных панелей // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 11 (часть 5). С. 1195-1200.

## **ПОВЫШЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ ВЫРАЗИТЕЛЬНОСТИ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ**

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,**

**Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,**

**Малюкова М.В., аспирант,**

**Морозова Т.В., магистрант**

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

Асфальтовая серость городов уходит в прошлое. Все чаще для устройства пешеходных дорожек, детских площадок, парковых зон, дачных участков используются элементы мощения из декоративного бетона. Тротуарная плитка является предпочтительным элементом благоустройства территории, как ландшафтных дизайнеров, так и строителей. И если последних, главным образом, интересуют технологические характеристики изделий и удобство укладки, то дизайнер хочет видеть разнообразие формы и расцветки [1-4].

Еще 2...3 года назад потребителю достаточно было предложить тротуарную плитку серого цвета стандартной формы («прямоугольник», «катушка», «квадрат» и т.д.), то в настоящее время наибольший спрос определяют эксклюзивные коллекции с фактурными формами и новым окрасом из нескольких цветов.

Но, несмотря на то, что изготовление цветных изделий отличается лишь незначительно от производства аналогичных неокрашенных изделий, в технологии производства возникает ряд вопросов.

По результатам накопленного производственного опыта и лабораторных исследований основными факторами, влияющими на цвет плит бетонных тротуарных, изготовленных методом полусухого вибропрессования являются: сырьевые компоненты; состав и водоцементное отношение бетонной смеси, а также режим твердения изделий [5-13].

Выбор пигментов имеет решающее значение для конечного цвета и качества продукта. Для окрашивания бетона используют натуральные и синтетические пигменты, а также их смеси на основе красящих пигментов. Натуральные пигменты – это различные окисы металлов, добываемые в рудниках. Синтетические – обычно производят на основе солей железа, из отходов сталелитейной продукции.

Анализ российского и зарубежного опыта окрашивания цветных бетонов показал, что лучшими характеристиками по стойкости окраски

обладают неорганические окисные пигменты, с помощью которых можно получить практически любой цвет, тон и оттенок. При этом красящие пигменты должны выдерживать агрессивное воздействие сильно щелочного цементного вяжущего; быть светостойкими и стойкими к атмосферному воздействию; не растворяться в воде затворения, а также окрашивая цементный камень прочно встраиваться в его структуру.

Интенсивность цвета пигментов является важнейшей качественной характеристикой, знание которой является обязательным при выборе производителя. Интенсивность цвета – способность пигмента переносить свой характерный цвет на окрашиваемую среду. Оптимальная дозировка пигмента оказывает решающую роль на конечный цвет готового продукта. С увеличением дозировки пигмента, добавляемого в бетонную смесь, интенсивность цвета сначала растет линейно. Однако затем наступает предел, при котором увеличение дозировок не приводит к значительному изменению цвета окрашиваемой бетонной поверхности [14].

Оптимальная дозировка пигментов, представленных на сегодняшний день на строительном рынке, колеблется в пределах 2...8% и зависит как от красящей способности самих пигментов, так и от состава бетонной смеси и получения желаемого цвета и оттенка бетона.

Поскольку визуально невозможно отличить цвет пигмента от цвета окрашенного бетона, мы воспринимаем некий смешанный оттенок. Значительное влияние на цвет оказывают, прежде всего, цвет цемента и мелкого заполнителя, а так же их содержание в бетонной смеси.

По величине частицы пигмента являются самыми мелкими среди всех компонентов бетонной смеси. Поэтому, сначала пигмент покрывает частицы цемента, а затем уже эта смесь покрывает частицы заполнителя, связывая их при этом между собой [5].

Серый приглушает все цвета. Поэтому бетон, изготовленный с использованием поргланццемента, будет иметь менее яркий оттенок в сравнении с бетоном, изготовленным с использованием белого цемента (рис. 1).





Рисунок 1 – Пример влияния характерного цвета цемента при одинаковой дозировке желтого пигмента  
(слева – изделие на белом цементе, справа – изделие на сером цементе)  
(слева – изделие на белом цементе, справа – изделие на сером цементе)

Чистые и яркие цвета бетонной поверхности возможно получать только применяя при производстве белый цемент. Однако, следует учитывать, о каком именно пигменте идет речь. Необходимо знать, что чистый черный и коричневый цвет можно получить и на сером цементе. Оттенки красного, изготовленного на белом и на сером цементе, будут отличаться незначительно. А вот для желтого и синего цвета, цвет цемента имеет первостепенное значение. Получить чистый оттенок желтого или синего цвета возможно только при применении белого цемента. Известно также, что цвет серого цемента может варьироваться от светло-серого до зеленовато-серого, что в свою очередь, оказывает роль при производстве цветных бетонных изделий.

Влияние мелкого заполнителя на конечный цвет окрашенного бетона не столь существенно, как цвет пигмента или цемента, но тоже значительно. Подкрашенное цементное вяжущее покрывает зерна мелкого заполнителя не полностью. Поэтому, на окончательный оттенок бетона повлияет характерный цвет заполнителя. Для производства цветных бетонных изделий наиболее подходящими являются пески белых, светло-серых и светло-желтых оттенков, которые практически не влияют на конечный цвет бетонной поверхности.

Крупный заполнитель не оказывает влияние на окраску бетонного изделия. При двухслойном производстве, когда верхний лицевой слой изготовлен из мелкозернистого бетона, его вообще не видно. Со временем, при длительной эксплуатации цветных бетонных изделий, из-за воздействия атмосферных осадков и износа бетонной поверхности, начнется обнажение мелкого и крупного заполнителя. И тогда уже цвет бетона будет восприниматься нашим глазом в искаженном варианте.

Следует отметить, что залогом получения стабильного цветового оттенка окрашиваемой бетонной поверхности является тщательный

подбор и входной контроль всех сырьевых компонентов. Конечно, из всех выше перечисленных компонентов, только пигмент и цемент являются наиболее стабильными по техническим характеристикам материалами. Контролировать цвет природного заполнителя практически невозможно, но при использовании песка с одного и того же карьера, можно добиться получения сырья незначительно отличающегося по характеристикам.

Соотношение цемент – песок окажет влияние на конечный цвет бетона, что связано с цветом самих компонентов бетонной смеси. И получение цветных бетонных изделий одного оттенка в пределах одного цвета, возможно лишь при точном соблюдении рецептуры бетонной смеси.

Следует исключить нарушения, связанные с дозированием сырья (пересыпания или недосыпания одного из компонентов), с перемешиванием (соблюдение режимов перемешивания и последовательности смешивания материалов) и с соблюдением водоцементного отношения бетонной смеси.

При производстве цветного бетона следует строго соблюдать последовательность смешивания компонентов. Рекомендуется сначала в бетономесителе подавать сухой заполнитель и пигмент. В целом, для того что бы получить однородную смесь, продолжительность перемешивания должна составлять примерно одну минуту, в течение которого разрушаются пигментные агломераты. Только после получения однородной смеси в месителе подается цемент. Дальнейшие процессы протекают так же, как и при производстве обычного бетона.

Испарение из бетоналишней воды приводит к образованию полостей в виде мелких пор, которые рассеивают падающий свет и, как результат, бетон осветляется. Цветные бетонные изделия с повышенным водоцементным отношением имеют более светлый оттенок, что характерно как для цветных, так и серых бетонных изделий. Тщательный подбор водоцементного отношения и его соблюдение в технологическом процессе производства позволит избежать разнотонности готовой продукции.

При производстве плит бетонных тротуарных методом полусухого вибропрессования соблюдение водоцементного отношения является одним из основных факторов, необходимых для получения высококачественной продукции. Если при использовании подвижных бетонных смесей разница в содержании воды в смеси в 2...3 литра будет практически не заметна, то при использовании жестких бетонных смесей, необходимых при производстве изделий методом полусухого

вибропрессования, такая разница приведет к колебанию цвета на 1...2 тона в пределах одной партии. Это связано с тем, что лишняя вода будет выдавливаться на поверхность свежесформованных изделий, что приведет к дефекту лицевой поверхности, так называемой «апельсиновой корке». Этот тип дефекта поверхности связан с тем, что в выдавленной на поверхность воде будут находиться самые мельчайшие компоненты бетонной смеси: цемент, мучнистое зерно и пигмент, концентрация которого будет непропорционально высока.

Условия твердения цветных бетонных изделий также оказывают существенное влияние на конечный оттенок бетонной поверхности. Цементный камень, образующийся в процессе гидратации цемента, состоит из кристаллов больших или меньших размеров. Размером этих кристаллов будет определяться, как рассеивается свет на бетонной поверхности [14].

Чем выше температура и влажность среды в камере твердения, тем интенсивнее идет образование мелких кристаллов игольчатой формы. Усиленное рассеивание такими кристаллами света, приводит к тому, что поверхность осветляется (рис. 2).



Рисунок 2 – Пример влияния температуры среды в камере твердения на цвет изделий (слева – образец, твердение которого происходило при  $t=23^{\circ}\text{C}$ , справа – при  $t=20^{\circ}\text{C}$ , по центру – при  $t=17^{\circ}\text{C}$ )

Цвет бетона зависит от многих факторов, и далеко не все из них находятся во власти производителя. После изучения каждого фактора встал вопрос, каким образом можно избежать колебания оттенков цветной бетонной поверхности. Ведь внешний вид и цвет это единственное, что покупатель продукции может оценить, не прибегая к дополнительным исследованиям. Покупая, к примеру, тротуарную плитку его в первую очередь будет интересовать цена и внешний вид изделий, а не ее технические характеристики.

Основываясь на опыте других производителей цветных бетонных изделий и маркетинговых исследованиях в данном секторе рынка, был предложен способ окрашивания бетонной поверхности, при котором

одно изделие окрашено в несколько цветов (рис. 3) [15]. Такой способ окрашивания, позволяет полностью избежать разнотонности изделий.



Рисунок 3 – Тротуарная плитка, окрашенная по системе «colour-mix»

Производство мелкоштучных изделий методом полусухого вибропрессования позволяет получать изделия различных форм, а современные технологии окрашивания, такие как «colour-mix», позволяют сделать из простой тротуарной дорожки произведение дизайнерского искусства, избежав при этом большого количества технологических проблем.

#### **Список литературы:**

1. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77-83.
2. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 9-12.
3. Прокопец В.С., Лесовик В.С. Производство и применение дорожно-строительных материалов на основе сырья, модифицированного механической активацией: монография. Белгород, 2005.
4. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов. Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, 2011.
5. Петер Вебер. Цветной бетон – влияние, оказываемое на цвет процессами производства, ухода и состаривания // СРІ - Международное бетонное производство, 2007. № 6. С. 32-37.
6. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Малюкова М.В. Высокоплотные составы вибропрессованных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 48-50.
7. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В. Высолы (выцветы) на поверхности бетонных изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 28-31.
8. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В. Повышение качества мелкоштучных изделий за счет равномерного заполнения формы жесткой смесью // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 56-60.

9. Kharkhardin A.N., Suleymanova L.A., Kara K.A., Maluykova M.V., Kozhukhova N.I. The Determination of Topological Properties in Polydispersed Mixtures on the Results of Sieve Laser and Particle Size Analysis // World Applied Sciences Journal. 2013. № 25. Т.2. С. 347-353.
10. Сулейманова Л.А., Лесовик Р.В., Глаголев Е.С., Сопин Д.М. Высококачественные бетоны на техногенном сырье для ответственных изделий и конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 4. С. 34-37.
11. Стрельцова Т.П., Соловьева Л.Н., Максакова Е.С., Никулина М.В. Особенности декоративных бетонов в зависимости от колорирующего компонента // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения) Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 223-225.
12. Лесовик В.С., Агеева М.С., Денисова Ю.В., Иванов А.В. Использование композиционных вяжущих для повышение долговечности брусчатки бетонной // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 52-54.
13. Нечаев А.Ф., Стрельцова Т.П., Мухачева В.Д., Ломаченко С.М. Некоторые аспекты агрегативной устойчивости пигментных суспензий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 122-124.
14. LANXESS. Цветные бетоны: указания к технологии изготовления // CPI - Международное бетонное производство, 2008. № 6. С.80-86.
15. Патент на изобретение № 2476312. Способ изготовления изделий из цветного архитектурного бетона и изделие, полученное этим способом / Н.Н. Щербин, А.А. Боблак, М.В. Малокова // Заявл. 27.09.11; опубл. 27.02.13. Бюл. № 6. 3 с.

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ПОРИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Коломацкая С.А., соискатель,  
Кондрашев К.Р., аспирант,  
Шорстов Р.А., студент**

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

Энергоэффективность зданий в настоящее время – одна из важных задач по сохранению окружающей среды и снижению энергопотребления. Усиливается тенденция заблаговременной оптимизации энергорасходов при проектировании энергосберегающих материалов и строительстве зданий на их основе. К таким материалам относится ячеистый бетон, высокая технико-экономическая эффективность которого подтверждена опытом производства и применения [1...4].

Для повышения эффективности взаимодействия системы «человек – материал – среда обитания» актуальным является переход на экологичное строительство. Для снижения энергоемкости такого строительства целесообразным представляется использование последних достижений в области строительного материаловедения, создание «зеленых» композиционных материалов, содержащих в своем составе природное и экологически безопасное техногенное сырье [5-9].

«Зелёные стандарты» [10] – это подход к строительству и эксплуатации зданий и сооружений, конечной целью которого является минимизация уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания – от проектирования до сноса, повышение комфорта внутренней среды помещений, экологической безопасности для людей и природы.

В связи с этим, вопросы энергосбережения и энергоэффективности, поиск и реализация энергоэффективных и энергосберегающих технологий являются приоритетными и предполагают использование в зеленом строительстве современных строительных материалов, одним из которых является ячеистый бетон.

Ячеистый бетон в строительстве практически универсален: он одновременно является и несущим, и теплоизоляционным материалом, позволяет возводить наружные ограждающие стены, отвечающие всем нормативным требованиям по тепловой защите зданий и сооружений

без дополнительного утепления. Ячеистый бетон, обладающий уникальным сочетанием теплофизических свойств, позволяет широко использовать его для утепления ограждающих конструкций и исключает основные недостатки, присущие многослойным системам утепления на основе минеральных и пенополистирольных изделий. К тому же монолитные ограждающие конструкции из неавтоклавного ячеистого бетона лишены недостатков мелкоштучных изделий из него и позволяют исключить «мостики холода», значительно сократить транспортные расходы, сроки и стоимость строительства. Теплоизоляция основы дома позволяет не только сберечь тепло, но и продлить срок службы всего строения за счёт своих высоких эксплуатационных свойств.

Эффективность ячеистого бетона заключается не только в сокращении потерь тепла при эксплуатации строений, но и при калькуляции затрат на возведение стен, соответствующих современным требованиям по тепловой защите зданий и сооружений.

Важно, что ячеистый бетон является экологически чистым строительным материалом и не выделяет токсичных веществ или вредных газов.

При этом решение вопросов энергоэффективного производства изделий из ячеистого бетона и их применения при строительстве зданий с улучшенной теплозащитой являются взаимосвязанными. Чем ниже средняя плотность выпускаемой продукции, тем меньше сырьевых материалов используется для приготовления смеси и меньше энергетических затрат требуется на стадиях производства изделий. С другой стороны, изделия с более низкой средней плотностью, но достаточным уровнем класса прочности, обеспечивают повышенную энергоэффективность ограждающих конструкций зданий. Однако тенденция снижения средней плотности стеновых изделий не является пропорциональной функцией эффективности ограждающих конструкций, особенно несущих, поэтому конструктивно-теплоизоляционные изделия со средней плотностью, например  $D300$ , необходимо рассматривать в несущих стенах и других конструкциях зданий с учетом не только тепловой защиты, но также и других значимых характеристик, определяющих несущую способность и долговечность конструкций. Развиваемый подход по энергоэффективности производства и применения газобетона позволит выявить резервы энергосбережения, существенно расширить сырьевую базу для его производства и повысить конкурентоспособность.

Основными путями получения ячеистого бетона с улучшенными структурой и показателями качества для зеленого строительства являются разработка композиционных вяжущих, формовочных смесей с эффективной вязкостью на их основе и приготовление высокопористых систем с использованием различных технологических приемов [11].

В качестве минеральной добавки при производстве композиционных вяжущих рекомендованы отсеvy дробления кварцитопесчаника Лебединского ГОКа Белгородской области.

Проведены масштабные исследования, разработана широкая номенклатура бетонов и железобетонных конструкций на породах сланцевой толщи и на кварцитопесчаниках. Опыта использования кварцитопесчаников в мировой практике ранее не было, потому что кварцитопесчаники относятся к породам зеленосланцевой степени метаморфизма и находятся обычно на глубине 300...500 метров и ниже. Естественно, с такой глубины нигде в мире не добывается нерудное сырье для получения строительных материалов. Кварц кварцитопесчаников зеленосланцевой степени метаморфизма существенно отличается от кварца песков, гранитов и гнейсов, которые используются в промышленности строительных материалов. Установлено, что для получения аналогичных прочностных характеристик, как у гранитов, необходимо использовать на 20...25% меньше цемента, за счет особенности кварца зеленосланцевой степени метаморфизма. Теоретически обоснована гипотеза о том, что кварцитопесчаник будет очень эффективен при получении композиционных вяжущих.

Коэффициент качества отсева дробления как кремнеземсодержащего компонента значительно выше, чем у кварца песков и гранитов. На основе кварцитопесчаника зеленосланцевой степени метаморфизма получены эффективные ячеистые бетоны как автоклавного, так и неавтоклавного твердения, композиционные, наноструктурированные вяжущие и другие материалы для зеленого строительства [12-19].

Отсевы дробления кварцитопесчаника с присущей им энергией кристаллической решетки минералов, накопленной в результате геологических и техногенных воздействий, позволяют получить композиционные вяжущие с лучшей размоломоспособностью, рациональной удельной поверхностью 500...550 м<sup>2</sup>/кг при начальной скорости помола  $U_0 = 9,13 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$  и коэффициенте торможения  $k_t = 0,0007 \text{ кг/м}^2$ , что обеспечивает снижение энергоемкости их помола. А топологическая оценка гранулометрии композиционных вяжущих с



отсевами дробления кварцитопесчаника показала наличие ниспадающих максимумов содержания фракций класса  $m = 5$ , что позволило отнести их к высокоплотным по плотности упаковки частиц.

Композиционные вяжущие на клинкерной основе с отсевами дробления кварцитопесчаника имеют оптимальные реологические характеристики, позволяющие совместить во времени период интенсивного структурообразования с периодом газовыделения при вспучивании газобетонной смеси.

Микронаполнители в составе композиционного вяжущего активно участвуют в процессах гидратации. При твердении в сравнении с цементом аморфная составляющая композиционного вяжущего с отсевами дробления кварцитопесчаника приводит к повышенной степени гидратации клинкерных минералов.

Композиционные вяжущие на клинкерной основе с содержанием до 30% техногенного песка с прочностью на сжатие не менее 80 МПа получены за счет использования энергетического потенциала микронаполнителей различного генезиса при полимодальном распределении частиц вяжущего с регулируемыми реологическими свойствами, сочетаемыми с процессом формирования пористой структуры энергоэффективного ячеистого бетона.

Композиционные вяжущие позволяют изготавливать монолитный газобетон в неблагоприятных построечных условиях в качестве теплоизоляционного материала. Разработанный монолитный газобетон со средней плотностью 270...300 кг/м<sup>3</sup> имеет высокие строительно-технические свойства: прочность на сжатие 1,5...1,7 МПа, теплопроводность  $\lambda = 0,06...0,07$  Вт/м·°С, морозостойкость F15...35.

Монолитная газобетонная смесь может быть изготовлена из исходных ингредиентов в построечных условиях, но рациональным приемом является использование в построечных условиях сухой газобетонной смеси.

Сухие газобетонные строительные смеси получены на основе композиционного вяжущего и комплексного порообразователя. За счет композиционного вяжущего, имеющего ускоренные процессы гидратации, фиксируется полидисперсная ячеистая структура газобетона.

Неавтоклавный ячеистый бетон, полученный из сухой строительной смеси, характеризуется высокими физико-механическими свойствами: марка по средней плотности D400, класс по прочности B1,5, коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,08$  Вт/(м·°С), марка по морозостойкости F50 [20].

На основе выявленных закономерностей формирования пористой структуры установлена повышенная эффективность газобетона неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих, обеспечивающая изготовление изделий, монолитного газобетона и сухих строительных смесей с улучшенными свойствами.

Энергоэффективный газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих с отсевами дробления кварцитопесчаника предназначен для применения при строительстве индивидуальных жилых домов, в обустройстве теплозвукоизоляционных оснований под полы и в качестве теплоизоляции в колодцевой кладке стен.

Совокупность представленных результатов позволила получить инвестиционно привлекательный газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих для зеленого строительства с нетрадиционными видами исходного сырья, которые не используются в широких масштабах для производства строительных материалов, имеются в «законсервированном» состоянии в земной коре, и которые со временем станут основой сырьевой базы ведущих стран мира.

#### **Список литературы:**

1. Гоманн Мартин Поробетон. Руководство; пер. с нем. под ред. А.С. Коломацкого. Белгород: Изд-во ЛитКараВан, 2010. 272 с.
2. Weber H., Hullmann H. Porobeton Handbuch. Planen und Bauen mit System. 5 Auflage. Gtersloh: BertelsmannSpringen Bauverlag, 2002. 278 p.
3. Сахаров Г.П. Развитие производства ячеистых бетонов на традиционной и альтернативной основе // Технологии бетонов. 2010. № 1-2. С. 18-22.
4. Сулейманова Л.А. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих: дис.... докт. техн. наук. Белгород, 2013. 390 с.
5. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 9-12.
6. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
7. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
8. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
9. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния

- сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
10. ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению. Введен 01.12.2012. 22 с.
  11. Сулейманова Л.А. Алгоритм получения энергоэффективного газобетона с улучшенными показателями качества // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 59-61.
  12. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
  13. Гридчин А.М. Повышение эффективности дорожных бетонов путем использования заполнителя из анизотропного сырья: автореф. дис...докт. техн. наук. Москва, 2002. 47 с.
  14. Строкова В.В. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом типоморфизма сырья: автореф. дис...докт. техн. наук. Белгород, 2004. 41 с.
  15. Stroková V.V. Estimation of quality of technogenous raw materials for building material industry // Gorniy Zhurnal. Issue 1. 2004. pp. 78-80.
  16. Фролова М.А., Лесовик В.С. «Зеленые» строительные композиты для архитектурной геоники Северо-Арктического региона // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительного-технологической утилизации техногенных отходов. Белгород, 2014. С. 29-33.
  17. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н., Ластовецкий А.Н. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья для производства строительных материалов\* // Региональная архитектура и строительство. 2008. № 2. С. 10-15.
  18. Алфимова Н.И., Жерновский И.В., Яковлев Е.А., Юракова Т.Г., Лесовик Г.А. Влияние генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 91-94.
  19. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. С. 10-20.
  20. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Строкова В.В. Сухие строительные смеси для неавтоклавных ячеистых бетонов. Белгород: КОНСТАНТА, 2009. 144 с.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО МОДИФИКАТОРА

**Сумин А.В.,  
Бухало А.Б., канд. техн. наук,  
Дмитриев М.Ю.**

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

На сегодняшний день наблюдается рост темпов гражданского строительства, неизбежно приводящий к увеличению производства важнейших видов строительных материалов (табл. 1).

Таблица 1 – Производствостроительной продукции за первое полугодие 2014 года [1]

Наименование	январь - июнь 2014 г.	Динамика изменения, (к соответствующему периоду 2013 г.), в %
Кирпич керамический строительный, млн. усл. кирпичей	3447,7	2,4
Цемент, тыс. т	31756,5	6,0
Известь строительная, тыс. т	1182,7	5,1
Гипс (алебастр), тыс. т	2146,9	4,5
Блоки стеновые мелкие из ячеистого бетона, млн. усл. кирпичей	4247,3	12,6
Товарный бетон, тыс. куб. м	13404,6	0,8
Раствор строительный (товарный выпуск), тыс. куб. м	1456,0	1,2

Основным строительным материалом является цемент, однако существующие технологии производства цементных вяжущих сопровождаются большими трудозатратами, а также включают в себя энергоемкие процессы (табл. 2) такие как, добыча материала из недр земли, его обогащение и многоступенчатая обработка (дробление, помол, сушка обжиг и т.д.). Кроме того производство цемента по традиционным технологиям приводит к загрязнению окружающей среды и нерациональному использованию природных ресурсов.

Таблица 2 – Расход условного топлива на производство основных видов строительных материалов и изделия [2]

<b>Вид материала и изделий</b>	<b>Расход топлива кг (в условном исчислении на 1 т продукции)</b>
Керамические камни и глиняный кирпич	50–80
Известь, цемент	115–240
Керамические плитки для полов	200–610
Облицовочные глазурованные плитки	360–1058
Стекло листовое	510–590
Санитарно-строительный фаянс	500–800
Керамзит	200–270

Присутствие энергоемких технологических этапов, приводит к высокой стоимости цементных вяжущих, бетонов и изделий на их основе.

В мировой и отечественной практике разработано много различных составов и технологий композиционных и смешанных вяжущих (в том числе и бесцементных) и бетонов с применением ультрадисперсных добавок, с показателями, не только не уступающими, а превосходящими традиционные [3,4].

Положительные результаты были получены за счет применения в качестве модифицирующего компонента бетона наноструктурированного вяжущего силикатного состава [5]. Модифицирующий компонент вводился взамен части цементного компонента, и его количество варьировалось в пределах 0–40% с шагом 10%. Полученные составы формовались по методике описанной в ГОСТ 30744-2001 «Цементы методы испытаний с использованием полифракционного песка» Согласно нормативным документам, ключевыми характеристиками композиционных вяжущих, являются: прочностные показатели, сроки схватывания.

Анализ сроков схватывания композиционного вяжущего различного состава свидетельствует о том, что введение модифицирующего компонента приводит к их смещению (рис. 1).

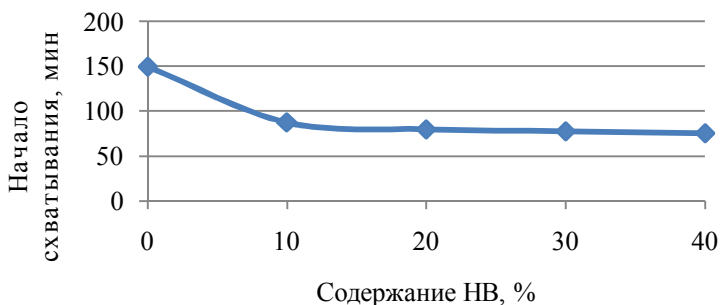


Рисунок 1 – Зависимость сроков схватывания от количества вводимого модификатора

При введении до 20% модификатора, наблюдается значительное снижение сроков схватывания, дальнейшее увеличение количества вводимого компонента и приводит к незначительному снижению сроков схватывания.

Основной характеристикой при оценке влияния вводимых компонентов в состав композиционных вяжущих, является прочность на сжатие. Вышеописанные составы были заформованы и подвергались тепло-влажностной обработке (ТВО) при температуре 70°C по режиму 2+6+2 ч. После ТВО образцы остывали на воздухе в течение суток и далее подвергались испытаниям на прочность (рис. 2).

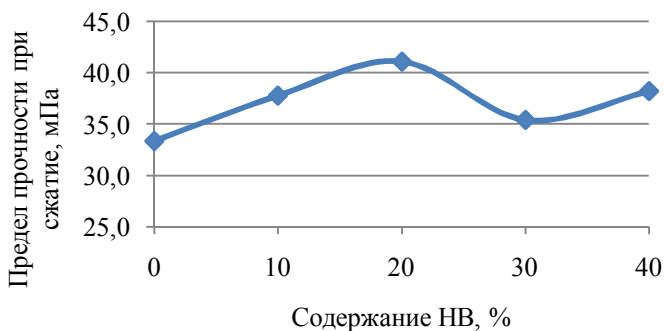


Рисунок 2 – Зависимость прочности на сжатие от количества модификатора

Анализ основных свойства композиционного вяжущего с применением наноструктурированного модификатора, позволяет говорить о его эффективности как за счет более высоких прочностных характеристик, так и за счет уменьшения доли цементной составляющей, что приводит к снижению стоимости конечного продукта.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что образцы с 20% содержанием модификатора имеют максимальную прочность. Вероятным объяснением данного факта является более полное связывание свободного портландита, образующегося при гидратации цемента, активными силикатами наноструктурирующего вяжущего. Установление зависимостей и механизмов влияния наноструктурированного вяжущего, используемого в работе в качестве активного модифицирующего компонента, станет одним из этапов дальнейшей работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках: государственного задания; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

#### **Список литературы:**

1. Федеральная служба статистики. 2014 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/accounts/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/) (дата обращения: 11.08.2014)
2. Жарковская Е.П. Анализ хозяйственной деятельности строительных организаций. М.: ЮНИТИ, 2002. С. 9.
3. Строкова В.В., Ерохина И.А., Бухало А.Б. Неавтоклавный ячеистый бетон на основе сухой строительной смеси // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 1. С. 4-5.
4. Строкова В.В., Бухало А.Б. Пенoгазобетон на нанокристаллическом порообразователе // Строительные материалы. 2008. № 1. С. 38-39.
5. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Сумин А.В. Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 20-25.

## ШТАМПОВАННЫЕ ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ДЕКОРАТИВНЫЕ БЕТОНЫ

**Толстой А.Д., канд. техн. наук, проф.**

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

Уровень развития технологии и условий получения высококачественного бетона, путей совершенствования его структуры, а также целесообразности и особенностей применения комплексных добавок-модификаторов к цементам, позволяет в настоящее время совершенствовать составы и технологию изготовления высокопрочных, в том числе порошковых бетонов без снижения качественных показателей конструкции [1-6]. Важным на этом пути является поиск возможностей удешевления как самого материала, так и технологических приемов его изготовления.

Составы, прочностные и эксплуатационные характеристики обычных бетонов не позволяют использовать их в целях создания изделий, повышающих архитектурную выразительность и декоративную окраску современных зданий и сооружений.

Из высокопрочного штампованного бетона изготавливают покрытия, напоминающие кладку из кирпича, булыжника или природного камня, брусчатки и даже деревянных досок. Эти покрытия имеют широкую область применения: от садовых дорожек и тротуаров, до устройства автомобильных дорог, городских площадей, аллей, полов в административных зданиях и жилых помещениях [7].

В технологии изготовления конструкций из декоративного высокопрочного бетона важное значение имеет как состав материала, так и сложность выполнения работ. Поэтому, начиная с 70-х годов прошлого века, многие специалисты занялись изучением способов модификации бетона искусственных продуктов, содержащих аморфный кремнезем, измельченные шлаки, золы-уноса и другие порошковые и пылевидные агрегаты, имеющие высокое содержание аморфного кремнезема.

Высокопрочный состав получали модифицированием его комплексной добавкой, состоящей из суперпластификатора и тонкомолотого минерального компонента. Содержание комплексной добавки составляло 32-34%. Доля суперпластификатора Melflux 2651 составляла 0,9% расхода цемента. Расход цемента был снижен на  $\approx$



18%. Точный расход материалов на 1 м<sup>3</sup> высокопрочного состава является предметом НОУ-ХАУ [8].

Декоративное покрытие из высокопрочного порошкового бетона укладывается на подготовленное основание, по нормам и требованиям технологического процесса, характерного для обычного бетона. После затвердевания поверхности основания, начинается процесс укладки декоративного слоя. Для чего на влажную поверхность бетона наносят цветной порошок и закрепитель цветов, что увеличивает прочность поверхности. Затем укладывают второй слой. Каждый слой разглаживается и пропитывается водой с порошком. После приобретения вторым слоем, пластичного состояния поверхность покрывают гидрофобным порошком, предотвращающий прилипание бетона к штампам (матам). Укладывают текстурные резиновые маты и аккуратно продавливаются с помощью ручной трамбовки.

В настоящее время нами получены результаты в изучении высокопрочных декоративных составов, структурированных органическими добавками, в составе которых присутствуют реакционноспособные тонкодисперсные наполнители различной природы. Эти органоминеральные твердеющие композиции обеспечивают быстрый набор прочности изделиями вследствие их взаимодействия как между собой, так и с поверхностью наполнителя [9-12].

Широкое разнообразие форм, текстур и цвета дает возможность создавать неповторимые поверхности и подбирать их в соответствии с архитектурным стилем при соблюдении высоких строительно-технических свойств: прочность 60-100 МПа, повышенная износ-, морозо- и коррозионностойкость.

Наряду с работами по оптимизации составов, нами проводятся исследования технологических приемов нанесения высокопрочных порошковых бетонов на подготовленное основание, которая осуществляется в несколько приемов, включающих подготовительные и финишные работы.

Обычно технологический процесс нанесения покрытия из штампованного бетона включает 5-6 этапов. Проведенные опыты показали возможность совмещения процесса первичного нанесения адгезионного состава с красящим материалом на увлажненную поверхность, без последующего сдувания или смывания остатков красителя, с поверхности. Укладка производится в один слой.

Также предполагается исключить в дальнейшем протравливание затвердевшей поверхности композиции кислотным травителем.

Результаты показали достаточную интенсивность отпечатка и его рельефность после применения набора штамповочных инструментов, состоящего из 2 гибких матов, что дает возможность обеспечить непрерывный процесс штампования, посредством их переключивания.

Для облегчения процесса разделены штампы и бетона используется смазочный материал, который совмещает функции закрепителя цветной фактуры. Эта консистентная смазка исключает загрязнение окружающей среды, не обладает запахом и безвредна для человека. Возможно использование в качестве дополнительного красителя цветного порошка в процессе замешивания. При этом небольшое количество порошка разводится в растворителе и распыляется равномерно по всей поверхности уже отвердевшей протампованной смеси [13].

После полного затвердевания поверхность имеет блестящий гляцевый вид и красивую фактуру.

Таким образом, получены новые данные о научно-практических положениях изготовления высококачественных бетонов на основе местных сырьевых материалов, о возможности управления их структурой и свойствами за счет применения комплексной добавки и упрочнения контактной зоны на границе «искусственный камень-наполнитель», а также оптимизации составов.

Введение комплексных добавок, включающих как органические, так минеральные тонкодисперсные продукты, вызывает ускорение твердения бетона до 50% прочности в возрасте трех суток твердения и повышение прочности в 28 суточном возрасте в 2,5 раза, а также обеспечивает увеличение прочности контакта на границе «искусственный камень-наполнитель» до 45% и более, что обуславливает увеличение конечной прочности бетона.

В результате совершенствования состава и структуры получены бетоны с марочной прочностью на сжатие 80 МПа, морозостойкостью F400, водонепроницаемостью W16, истираемостью 0,35 кг/м.

Использование местных сырьевых ресурсов и техногенных продуктов взамен дорогостоящих привозных снижает себестоимость покрытий из декоративных высокопрочных бетонов. Полученный из местного сырья высокопрочный декоративный бетон оказался более эффективным, а технология его нанесения – более экономичной.

В исследованиях была расширена группа дисперсных наполнителей многокомпонентного вяжущего техногенного происхождения и предложено использовать отходы керамического производства. Указанные отходы в результате предшествующего

процесса обжига содержат в своем составе муллитоподобные алюмосиликаты кальция или их смесь с дисперсным кварцем, представляющие собой готовые центры кристаллизации при твердении цемента. Отходы измельчались до удельной поверхности  $S_{уд} = 1500$  м<sup>2</sup>/кг. Высокопрочный состав получали модифицированием его комплексной органоминеральной добавкой, состоящей из суперпластификатора и тонкомолотого минерального компонента. Содержание комплексной органо-минеральной добавки составляло  $\approx 32\text{--}34\%$ . Доля суперпластификатора Melflux 2651 составляла 0,9% расхода цемента. Расход цемента был снижен на  $\approx 18\%$ .

Таким образом, совершенствование состава и технологии штампованного декоративного бетонного покрытия дает возможность повысить ряд конструктивных и технологических показателей:

- снижение расхода материалов при нанесении покрытий за счет уменьшения количества слоев всего изделия (на 7-9%);
- обеспечение более низкого расхода на единицу площади поверхности ресурсов и энергии (на 15%), производственных площадей (на 15%) и трудозатрат (на 25%).
- применение в основном нетоксичных и непожароопасных материалов – загрязнение окружающей среды сведено к минимуму.

#### **Список литературы:**

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ. 2006. 368 с.
2. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
3. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
4. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
5. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
6. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.

7. Казлитин С.А., Лесовик Р.В. К проблеме проектирования бетонов для устройства промышленных полов. / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 39-41.
8. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органоминеральные высокопрочные декоративные композиции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 67-69.
9. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
10. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
11. Вишневская Я.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 53-56.
12. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Клименко В.Г. Процессы структурообразования гипсосодержащих композитов с учетом генезиса сырья // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 4. С. 3-11.
13. Демьянова В.С., Калашников В.И., Борисов А.А. Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах // Жилищное строительство. 1999. № 1. С. 12-14.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ЦЕЛЕЙ

Толстой А.Д., канд. техн. наук, проф.,  
Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.,  
Ковалева И.А., аспирант,  
Гинзбург А.В.

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

В результате анализа научно-технической литературы по вопросу современного уровня развития технологии и условий получения высококачественного бетона, путей совершенствования его структуры, упрочнения зоны контакта на границе «цементный камень-наполнитель», а также целесообразности и особенностей применения комплексных добавок-модификаторов к цементам, можно сделать вывод о необходимости поиска путей удешевления стоимости этого материала и технологии его изготовления без снижения качественных показателей конструкции.

Научно-практической основой создания высококачественных бетонов являются исследования в области технологии бетонов, выполненные отечественными учеными, показавшими основные направления практического получения таких бетонов [1-6].

Применение добавок нового поколения таких как карбоксилатный гиперпластификатор – MF 1641, французский гиперпластификатор PREMIA 360 при его модификации водорастворимыми аддуктами нанокластеров углерода («Астраленам С») и др. дает возможность более эффективно и целенаправленно влиять на формирование структуры цементного камня и бетона, регулировать их качественные характеристики.

Наиболее перспективными применительно к высокопрочным и высококачественным бетонам являются комплексные добавки, вводимые в состав смеси в виде водных растворов, порошков и эмульсий. Большинство добавок растворимы в воде, и их вводят в бетоносмеситель в виде предварительно приготовленного раствора. Некоторые добавки вводят в виде эмульсии (ГКЖ-94) или в виде взвесей в воде (ПАК). Оптимальная дозировка добавки зависит от вида цемента, состава бетонной смеси, технологии изготовления конструкции. Обычно применяют (% от массы цемента): пластифицирующих добавок – 0,1 ... 0,3; суперпластификаторов – 0,5 ...

1; воздухововлекающих добавок – 0,01 ... 0,05; ускорителей твердения – 1 ... 2. На практике оптимальную дозировку добавки определяют опытным путем.

Опыт производства отделочных и декоративных работ с использованием высококачественных бетонов нового поколения дает возможность получать долговечные оригинальные покрытия. А широкое применение комплексных органоминеральных добавок, композиционных вяжущих широкой номенклатуры, где в качестве кремнеземистого компонента применяется сырье техногенного происхождения в комплексе с суперпластификаторами и гаперпластификаторами, произвело переворот в технологии получения высокопрочных покрытий, оригинальной фактуры и высокой степени долговечности [7-10].

Вместе с тем, механизмы формирования структуры высокопрочного бетона с органоминеральными комплексными добавками и техногенными компонентами остаются малоизученными. В связи с этим более глубокие исследования в данном направлении являются актуальными [11].

В основу данной работы положена рабочая гипотеза по которой предполагается возможность получения высококачественного бетона с заданными свойствами: прочностью не менее В60, морозостойкостью не менее F400, водонепроницаемостью не менее W12, истираемостью не более 0,4 г/см<sup>2</sup> путем последовательного совершенствования структуры цементного камня, контактной зоны с помощью комплексных добавок, состоящих из пластифицирующих материалов, а также управления структурой бетона через оптимизацию составов.

Из высокопрочного штампованного бетона получают покрытия, напоминающие кирпичную кладку, брусчатку, деревянных досок. Эти покрытия имеют широкую область применения: от садовых дорожек и тротуаров, до устройства автомобильных дорог, городских площадей, аллей, полов в выставочных залах, холлах, ресторанах и в жилых помещениях [1].

Вместе с работами, направленными на получение оптимальных составов высокопрочных декоративных бетонов, нами проводятся исследования технологических приемов их нанесения на подготовленное основание. Практически укладка штампа осуществляется в несколько приемов, которые включают подготовительные, основные и финишные работы.

Обычно технологический процесс нанесения покрытия из штампованного бетона включает 5-6 этапов. Проведенные опыты

показали возможность совмещения процесса первичного нанесения адгезионного состава с красящим материалом на увлажненную поверхность, без последующего сдувания или смывания остатков красителя, с поверхности. Укладка производится в один слой. Также предполагается исключить в дальнейшем протравливание затвердевшей поверхности композиции кислотным травителем.

Результаты показали достаточную интенсивность отпечатка и его рельефность после применения набора штамповочных инструментов, состоящего из 2 гибких матов, что дает возможность обеспечить непрерывный процесс штампования, посредством их переключивания. Для разделения штампов и бетона используется цветной смазочный материал, который также совмещает функции закрепителя цветной фактуры.

В работе использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2003) производства ОАО «Белгородцемент» с минералогическим составом: алит ( $C_3S$ ) – 61,5%, белит ( $C_2S$ ) – 16,8%, трехкальциевый алюминат ( $C_3A$ ) – 8,2%, четырехкальциевый алюмоферрит ( $C_4AF$ ) – 13,1%, добавка пластифицирующая – сухой суперпластификатор Melflux 2651, микрокремнезем с  $S_{уд} = 350 \text{ м}^2 / \text{кг}$ , выпускаемый в соответствии с ТУ 14-139-121-89, другие органоминеральные добавки техногенного происхождения.

Структура цементного камня и бетона изучалась в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях (температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , влажность 100%). Исследования выполнялись с использованием сканирующего электронного микроскопа разрешающей способностью до 5 нм.

Физико-механические характеристики контактной зоны на границе «искусственный камень-наполнитель» оценивались по показателю микротвердости при помощи прибора ПМТ-3, позволяющего сочетать оптические наблюдения с одновременным определением микротвердости камня в микрообъемах. Микротвердость определялась как в контактной зоне, так и в прилегающем к ней участке.

Цель работы заключалась в получении такого материала и технологии строительного производства, который бы позволил получить отделочный материал высокой прочности, а также его применение позволило бы снизить вес здания или сооружения, не уменьшая их конструктивной жесткости, устойчивости и долговечности.

Данная цель достигается, прежде всего, многокомпонентностью структур искусственных каменных материалов и изделий.

Конструирование структуры и свойств высококачественного бетона осуществлялась на основе местных сырьевых материалов и техногенных продуктов. Сущность этой схемы заключается в следующем:

– макроуровень (более  $10^{-1}$  м) – входные контролирующие функции – параметры приготовления рабочей смеси, твердения и набора прочности покрытия; выходные контролирующие функции – свойства бетона (плотность, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, истираемость), материальные и энергетические затраты;

– микроуровень ( $10^{-4}$  –  $10^{-6}$  м) – входные контролирующие функции – дисперсность и свойства наполняющих частиц, а также природа и свойства их поверхности, соотношение жидкой и твердой фаз; выходные контролирующие функции – структура и свойства искусственного камня и контактной зоны «вяжущее-наполнитель» [12].

Изучение сформировавшейся структуры высокоплотного бетона показало, что к 28-суточному сроку твердения бетон с комплексной добавкой отличается упорядоченной зернистой структурой с высокой плотностью за счет скорректированного состава твердеющей матрицы, введения оптимальных количеств тонкодисперсных техногенных продуктов, их плотнейшей упаковкой за счет сомоуплотняющего эффекта твердения вяжущего. Повышение плотности структуры наблюдали с нарастающим эффектом в течение времени твердения. Этим предопределилось получение высокопрочного бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками при применении комплексных добавок. За период твердения происходит ряд изменений в структуре формируемой бетонной смеси вследствие искусственной контракции, уменьшения пористости, исключения части пластических деформаций. В конце периода твердения, когда искусственный камень достиг своей максимальной плотности, а следовательно, и динамических характеристик, происходит интенсивный процесс образования связки из цементного геля. В жидкой фазе завершается доуплотнение зернового состава с перекомпоновкой дисперсных частиц.

Результаты позволяют перейти к дальнейшему совершенствованию производства высококачественных декоративных бетонов.

Таким образом, получены новые данные о научно-практических положениях изготовления высококачественных бетонов на основе местных сырьевых материалов, о возможности управления их структурой и свойствами за счет применения комплексной добавки и



упрочнения контактной зоны на границе «искусственный камень-наполнитель», а также оптимизации составов.

Введение комплексных добавок, включающих как органические, так минеральные тонкодисперсные продукты, вызывает ускорение твердения бетона до 50% прочности в возрасте трех суток твердения и повышение прочности в 28 суточном возрасте в 2,5 раза, а также обеспечивает увеличение прочности контакта на границе «искусственный камень-наполнитель» до 45% и более, что обуславливает увеличение конечной прочности бетона.

В результате совершенствования состава и структуры получены бетоны с марочной прочностью на сжатие 80 МПа, морозостойкостью F400, водонепроницаемостью W16, истираемостью 0,35 кг/м<sup>2</sup>.

Использование местных сырьевых ресурсов и техногенных продуктов взамен дорогостоящих привозных снижает себестоимость покрытий из декоративных высокопрочных бетонов. Полученный из местного сырья высокопрочный декоративный бетон оказался более эффективным, а технология его нанесения – более экономичной.

В исследованиях была расширена группа дисперсных наполнителей многокомпонентного вяжущего техногенного происхождения и предложено использовать отходы керамического производства. Указанные отходы в результате предшествующего процесса обжига содержат в своем составе муллитоподобные алюмосиликаты кальция или их смесь с дисперсным кварцем, представляющие собой готовые центры кристаллизации при твердении цемента. Отходы измельчались до удельной поверхности  $S_{уд} = 1500 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Высокопрочный состав получали модифицированием его комплексной органоминеральной добавкой, состоящей из суперпластификатора и тонкомолотого минерального компонента. Содержание комплексной добавки составляло  $\approx 32\text{--}34\%$ . Доля суперпластификатора Melflux 2651 составляла 0,9% расхода цемента. Расход цемента был снижен на  $\approx 18\%$ . Точный расход материалов на 1 м<sup>3</sup> высокопрочного состава является предметом НОУ-ХАУ.

Таким образом, совершенствование состава и технологии штампованного декоративного бетонного покрытия дает возможность повысить ряд конструктивных и технологических показателей:

– снижение расхода материалов при нанесении покрытий за счет уменьшения количества слоев всего изделия (на 7–9%);

– обеспечение более низкого расхода на единицу площади поверхности ресурсов и энергии (на 15%), производственных площадей (на 15%) и трудозатрат (на 25%).

Данный материал предназначен для применения в отделочных изделиях и декоративных покрытиях, в том числе находящихся в жестких природных условиях эксплуатации.

#### Список литературы:

1. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А., Якимович И.В., Лукутцова Н.П. Высокопрочные материалы для декоративных целей // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С 51-53.
2. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва, 2008.
3. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
4. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
5. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
6. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
7. Frolova M.A., Tutygin A.S., Aizenstadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. Т. 2. № 4. С. 120-125.
8. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77-83.
9. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов. Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, 2011.
10. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
11. Казлитин С.А., Лесовик Р.В. К проблеме проектирования бетонов для устройства промышленных полов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 39-41.
12. Бетоны: ставка на науку // Вестник строительного комплекса. 2007. № 4. С. 19-22.

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ  
С ДОБАВКАМИ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ  
МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Тюкавкина В.В., канд. техн. наук,  
Касиков А.Г., канд. хим. наук,  
Гуревич Б.И., канд. техн. наук,  
Майорова Е.А.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья  
им. И.В.Тананаева Кольского научного центра  
Российской академии наук*

В последние десятилетия в нашей стране и за рубежом ведутся интенсивные исследования по разработке эффективных магнезиальных вяжущих. Магнезиальные вяжущие привлекают строителей своими уникальными свойствами: высокой прочностью и плотностью, быстрым твердением, совместимостью практически с любыми заполнителями. Они обладают бактерицидными свойствами и являются экологически безопасными, их получают путем низкотемпературного обжига, что значительно дешевле по сравнению с портландцементом. Существенным недостатком магнезиальных вяжущих является их низкая водостойкость и склонность к растрескиванию.

В литературных источниках приведены различные способы улучшения свойств магнезиальных вяжущих как на стадии изготовления материалов и изделий, так и на стадии монтажа изделий. Наиболее распространенным способом регулирования свойств магнезиальных вяжущих и материалов на их основе является использование добавок, способствующих образованию водонерастворимых комплексов. Чаще всего используют промышленные отходы: шлаки, золы, микрокремнезем и другие.

Однако введение в состав оксихлоридного магнезиального вяжущего отвалных гранулированных шлаков медно-никелевого производства комбината «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК», состоящих в основном из магнезиально-железистого стекла и содержащих 35-40 мас.%  $\text{SiO}_2$ , не принесло существенного эффекта. Прочность оксихлоридного магнезиального вяжущего через 28 суток в зависимости от содержания шлака составила 36.8-67.6 МПа, водостойкость при твердении образцов в воде – 0.35-0.43 [1].

С учетом того, что в литературе имеются сведения о влиянии коллоидного кремнезема на формирование более плотной структуры магнезиального вяжущего [2], а присутствие аморфного диоксида кремния обеспечивает формирование водостойких гидросиликатов магния [3], в данной работе изучена возможность применения кремнийсодержащих продуктов переработки отвальных шлаков медно-никелевого производства в качестве добавки, обеспечивающей повышение водостойкости магнезиальных цементов.

При обработке отвальных шлаков медно-никелевого производства растворами серной и соляной кислотами были получены растворы, содержащие одновременно сульфаты железа и магния, а также золь кремневой кислоты. Концентрация основных компонентов раствора солянокислотного выщелачивания составляла, г/л: 10.9-24.4 Fe, 13.2-26.8 SiO<sub>2</sub>, 2.8-8.1 MgO, pH 0.2-2.2; раствора сернокислотного выщелачивания, г/л: 17.5-37.5 Fe, 19.3-36.0 SiO<sub>2</sub>, 3.3-11.0 MgO, pH 0.1-3.0. Плотность растворов составляла 1.1-1.3 г/см<sup>3</sup>. Экспериментально было установлено, что устойчивость растворов к полимеризации зависела, главным образом, от концентрации кремневой кислоты и pH раствора. Быстрая коагуляция кремневой кислоты происходила как при высокой остаточной кислотности (pH<0.1), так и при pH более 3.0. При pH фильтратов 0.5-2.2 в хлоридных или сульфатных растворах процессы полимеризации протекали достаточно медленно и растворы в течение нескольких суток практически не меняли свою вязкость.

Полученные из шлаков растворы соляно – и сернокислотного выщелачивания использовали для получения магнезиального вяжущего. В качестве вяжущего использовали порошок магнезитовый каустический (ПМК) ОАО «Комбинат Магнезит», следующего химического состава, мас. %: 82.9 MgO, 1.23 CaO, 0.9 SiO<sub>2</sub>, 1.27 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.29 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5.95 потери при прокаливании. Для затворения магнезиальных вяжущих применяли растворы солей хлористого магния плотностью 1.21 г/см<sup>3</sup> и сернокислотного магния плотностью 1.156 г/см<sup>3</sup>.

Вяжущее готовили путём смешения расчетного количества компонентов до получения однородной консистенции, затем формовали образцы размерами 2x2x2 см, которые в течение 1 суток твердели на воздухе в формах, далее одна часть образцов твердела на воздухе, а другая – в воде. По истечению 1, 28 суток образцы испытывали на прочность при сжатии. Водостойкость (коэффициент размягчения) определяется отношением прочности материала в возрасте 28 суток, насыщенного водой ( $R_{сж.нас.}$ ) к прочности сухого материала ( $R_{сж.сух.}$ ).

Введение в состав вяжущего в качестве добавки раствора соляно – или серноокислотного выщелачивания медно-никелевого отвального шлака обеспечивает получение водостойкой несклонной к растрескиванию структуры вяжущего и снижение расхода затворителя. Добавка в количестве 12-20 мас.% позволяет получить водостойкое вяжущее без снижения его прочности. Оптимальное содержание каустического магнезита должно составлять 55-63 мас.%, при таком количестве вяжущее обладает водостойкой структурой и достаточной прочностью (таблица 1).

Таблица 1 – Состав и основные свойства магнезиального вяжущего

Состав, мас. %					Прочность при сжатии через ...сут твердения ..., МПа			Коэф. разм., $\frac{R_{сж.нас.}}{R_{сж.сух.}}$
ПМК	MgCl <sub>2</sub>	р-р солян. кисл. выщ.	MgSO <sub>4</sub>	р-р серн. кисл. выщ.	на воздухе		в воде	
					1	28		
					58	-	42	
58	25	17	-	-	37.0	52.2	50.1	0.96
55	25	20	-	-	20.0	48.4	49.3	1.02
58	-		-	42	5.6	11.4	16.2	1.42
57	-		29	14	10.5	20.4	21.7	1.06
60	-		21	19	10.8	23.4	22.7	0.97

Однако применение на практике склонных к полимеризации кремнийсодержащих растворов не всегда возможно. Вместе с тем, получение строительных материалов в последнее время связано с использованием ультрадисперсных добавок на основе кремнезема.

Для выделения диоксида кремния растворы выщелачивания шлака обезвоживали путем выдержки на воздухе при температуре 40-50°С. Процесс образования диоксида кремния проходил стадию гелеобразования, а затем обезвоживания геля. В результате получали смесь аморфного диоксида кремния и сульфата железа (II). Для удаления сульфата полученный продукт промывали и снова высушивали до постоянной массы.

Диоксид кремния получали также при постепенной загрузке измельченного шлака в нагретый до 60-80°С раствор 20-30% соляной кислоты. В этих условиях железо и цветные металлы переходили в раствор, а диоксид кремния концентрировался в остатке.

Порошки аморфного кремнезема, полученные из шлаков, характеризуются высокой удельной поверхностью 270 – 753 м<sup>2</sup>/г (табл.2). Свойства порошков зависят от дисперсности исходного сырья и условий образования диоксида кремния. Наибольшей удельной поверхностью обладают порошки кремнезема, выделенные из кремнийсодержащих растворов, полученных при сернокислотном выщелачивании шлаков медно-никелевого производства (пробы 3-5).

Таблица 2 – Физико-химические показатели порошков кремнезема

Показатели	Остаток солянокислотного выщелачивания на основе SiO <sub>2</sub>		SiO <sub>2</sub> из раствора сернокислотного выщелачивания		
	1	2	3	4	5
Внешний вид	серый порошок		белый порошок		
Структура	аморфная				
Содержание SiO <sub>2</sub> , мас. %	76.3	88.4	93.0	92.2	77.4
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	270	333	385	548	753
Объем пор, см <sup>3</sup> /г	0.615	0.697	0.170	0.369	0.415
Средний диаметр пор, нм	11.84	10.37	2.89	3.32	3.17
Средняя глубина пор, нм	6.94	6.94	2.58	3.40	2.94

Использование порошков кремнезема в составе композиции на основе ПМК и раствора хлористого магния способствует повышению водостойкости затвердевшего камня, наибольший коэффициент размягчения магниезального вяжущего соответствует составам, содержащим 5 мас.% SiO<sub>2</sub> (таблица 3). Водостойкость затвердевшего камня, содержащего добавку SiO<sub>2</sub>, выделенную из раствора сернокислотного выщелачивания, несколько выше, по сравнению с коэффициентом размягчения вяжущего с добавкой SiO<sub>2</sub>, полученной при солянокислотном выщелачивании шлака, что, вероятно, связано с более развитой поверхностью кремнезема, обеспечивающей его более высокую активность. Прочность вяжущего при твердении на воздухе меняется в зависимости от массового содержания и удельной поверхности добавки и носит немонотонный характер. Наибольший прирост прочности наблюдается для составов модифицированных добавкой кремнезема с удельной поверхностью 753 м<sup>2</sup>/г.

Таким образом, кремнийсодержащие продукты переработки отвалных шлаков медно-никелевого производства являются эффективной добавкой для получения водостойкого композиционного магнезиального вяжущего.

Таблица 3 – Состав и свойства магнезиального вяжущего с добавкой кремнезема

№ пробы SiO <sub>2</sub>	Состав, мас.%			Прочность при сжатии через ...сут твердения ..., МПа				Коэф. разм.,
	SiO <sub>2</sub>	ПМК	MgCl <sub>2</sub>	на воздухе			в воде 28	
				1	28	90		
	-	57	43	35.5	51.6	55.6	24.0	0.45
1	3	54	43	23.5	54.1	54.0	31.1	0.58
	5	53	42	24.4	58.3	47.8	35.4	0.61
	7	50	43	22.0	53.0	47.4	29.9	0.56
2	5	50	45	27.5	42.7	39.3	28.9	0.68
	10	39	51	12.7	30.3	32.6	17.8	0.59
3	1	56.5	42.5	35.6	54.1	57.9	36.7	0.68
	3	55	42	37.7	58.7	67.2	44.7	0.76
	5	54	41	30.0	49.2	58.2	47.2	0.96
	6	53	41	29.2	46.9	55.4	39.1	0.83
	10	46	44	26.7	40.6	39.2	27.4	0.67
	3	55	42	35.3	59.8	71.0	37.4	0.62
	5	54	41	33.3	51.4	55.4	45.7	0.89
5	3	55	42	29.2	60.8	-	41.0	0.67
	5	54	41	32.3	61.9	-	49.8	0.80
	7	53	40	29.1	64.7	-	46.5	0.72

#### Список литературы:

1. Тюкавкина В.В., Крашенинников О.Н., Гуревич Б.И. и др. Смешанные магнезиальные вяжущие / Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН. Апатиты, 2010. 20 с. Деп. в ВИНТИ 15.03.2010. №158-В2010.
2. Брыков А.С. Силикатные и кремнеземсодержащие растворы и их применение // Техника и технология силикатов. 2010. № 1. С. 2-18.
3. Пат. 2246464 РФ, МПК<sup>7</sup> C04B28/30. Композиция на основе магнезиального вяжущего / Леонтьев И.В., Крамар Л.Я., Королев А.С., Трофимов Б.Я., Баранов Р.С.; ООО «Уралгерметик». - №2001122345/03; заявл.08.08.2001; опубл. 20.02.2005, Бюл.№ 5.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО НАНОМОДИФИКАТОРА В ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕТОНА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**Урханова Л.А., д-р техн. наук, проф.,**  
**Лхасаранов С.А., канд. техн. наук, ассистент,**  
**Миняева А.А., магистр,**  
**Семенов А.П., д-р техн. наук, проф.,**  
**Смирнягина Н.Н., д-р техн. наук, доц.**  
*Восточно-Сибирский государственный*  
*университет технологий и управления,*  
*Институт физического материаловедения СО РАН*

Использование углеродных наноструктур при модифицировании цементной матрицы является перспективным направлением и изучалось во многих работах [1-6]. Отмечается, что их можно использовать не только как центры кристаллизации, но и как объекты, изменяющие направление и регулирующие скорость физико-механических процессов в твердеющих системах.

Механизм действия добавок, содержащих фуллерены, не раскрыт в достаточно полном объеме, поэтому целью проводимых исследований является изучение возможности модификации портландцемента при введении углеродного наномодификатора (УНМ), полученного на установке – плазмохимическом реакторе [7,8], и определение эффективного способа его распределения в цементной матрице.

Установка ранее успешно апробирована для синтеза фуллереновой смеси при препарировании мишеней, распыляемых ионным и испаряемых электронным пучками. Мишени использовались при синтезе покрытий производных фуллеренов [9]. В основе работы установки лежит эрозия графитовых электродов в плазме дугового разряда [7]. Разряд инициируется при давлении  $10^5$  Па путем пропускания через электроды тока частотой 44-66 кГц. Эрозия стержней происходит в замкнутом герметичном объеме, заполненном гелием.

Из углеродного конденсата, содержащего 10-12% фуллеренов, бензолом были выделены фуллерены. УНМ содержит, массовые части: 0,8 –  $C_{60}$ ; 0,15 –  $C_{70}$ ; остальное – высшие фуллерены и оксиды  $C_{60}O$  и  $C_{70}O$ .

В проводимых исследованиях были использованы портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 32.5Н ООО «Тимлойский цементный завод» (Республика



Бурятия), углеродный наномодификатор, полученный на высокопроизводительной установке для синтеза нанодисперсных веществ на основе углерода, суперпластификатор (СП) SikaViscoCrete 5 neu<sup>®</sup>, суперпластификатор С-3<sup>®</sup>.

Наибольший эффект от введения углеродных наноматериалов достигается при обеспечении равномерного их распределения в структуре композита. Способы распределения углеродных наноматериалов включают: модификацию поверхности с помощью обработки ультразвуком (Cwirzen и соавт.), обработка ультразвуком с поверхностно-активным веществом (Konsta-Gdoutos и соавт.), обработку поверхности УНМ озоном (Chung), серной и азотной кислотами (Li и соавт.), использование гуммиарабика (Saezdelbarraи др.), выращивание УНМ на цементных частицах (Насибулин и др.).

В работе для равномерного распределения агломератов УНМ в воде затворения был использован ультразвуковой способ, который основан на использовании эффекта кавитации. Данный способ является предпочтительным, поскольку не требует использования специальных веществ и компонентов, которые могут негативно повлиять на процессы гидратации цементного вяжущего. Вместе с тем для усиления эффекта распределения УНМ в воде затворения вводились ПАВ различного химического состава, которые традиционно используются для модификации портландцемента.

Результаты исследований по определению оптимального времени обработки воды с фуллеренсодержащей добавкой представлены на рисунках 1 и 2. Оценка эффективного способа равномерного распределения добавки производилась по показателю электропроводности и водородного показателя рН модифицированной воды.

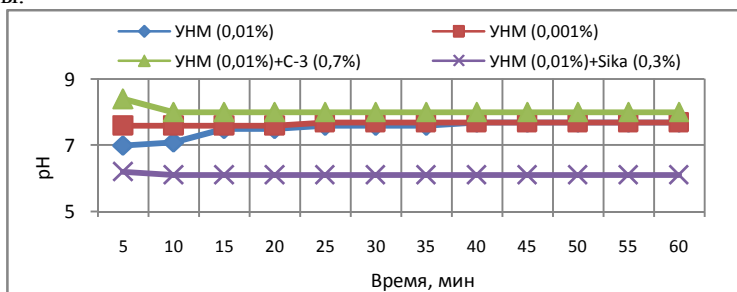


Рисунок 1 – Влияние времени ультразвуковой обработки на изменение удельной электропроводности модифицированной воды

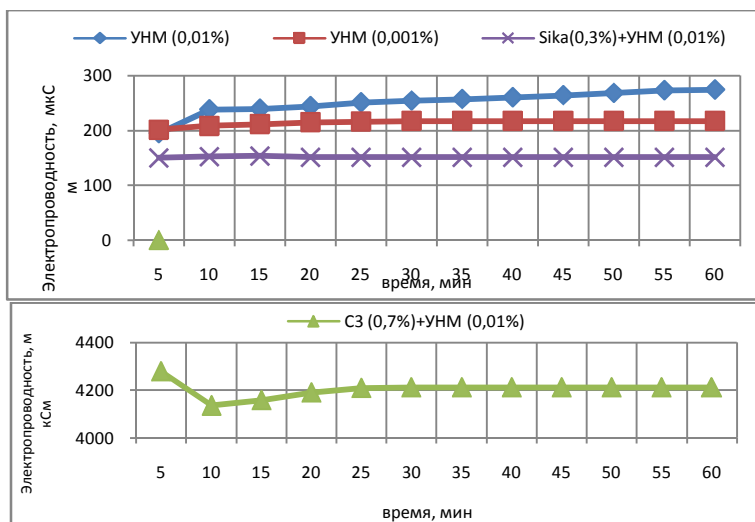


Рисунок 2 – Влияние времени ультразвуковой обработки на изменение рН модифицированной воды

Анализ результатов показывает, что при использовании суперпластификаторов в интервале времени 5-10 мин происходит наибольшее изменение показателей модифицированной воды. В дальнейшем происходит выравнивание показателей на определенный уровень. Это свидетельствует о том, что данного времени достаточно для равномерного распределения углеродного наномодификатора в объеме воды. Показатели свойств воды при введении нанодобавки без суперпластификаторов выравниваются на определенный уровень при времени обработки 35-40 мин.

Введение УНМ в состав цемента приводит к изменению физико-механических характеристик. В таблице 1 приведены прочностные характеристики цементного камня с УНМ после 7 и 28 суток твердения в нормальных условиях.

Анализ полученных результатов показал, что введение углеродного наномодификатора в количестве 0,01% от массы цемента приводит к увеличению прочности на 10%, а в количестве 0,001% – на 35%. Это свидетельствует о том, что эффект действия УНМ имеет экстремальный характер и в наибольшей мере проявляется в количестве  $10^{-2} - 10^{-3}$ .

Таблица 1 – Прочностные показатели цементного камня с УНМ

Состав цементных композиций	Предел прочности, МПа, после	
	7 суток твердения	28 суток твердения
Контрольный	40	61
УНМ 0,01%	38	67
УНМ 0,001%	44	82
С-3 <sup>®</sup> 0,7%	47	50
С-3 <sup>®</sup> 0,7% + УНМ 0,01%	42	67
С-3 <sup>®</sup> 0,7% + УНМ 0,001%	58	74
SikaViscoCrete 5 neu <sup>®</sup> 0,3%	43	63
SikaViscoCrete 5 neu <sup>®</sup> 0,3% + УНМ 0,01%	42	69
SikaViscoCrete 5 neu <sup>®</sup> 0,3% + УНМ 0,001%	40	68

Введение добавки в количестве 0,001% совместно с СП С-3<sup>®</sup> повышает активность цемента на 21%. В случае использования СП SikaViscoCrete 5 neu<sup>®</sup> совместно с УНМ происходит незначительное увеличение прочности – на 5-11%. Это может связано с тем, что СП на основе поликарбоксилатов, хотя и эффективен для равномерного распределения наномодификатора, но в большей степени происходит обволакивание частиц наномодификатора, препятствующего взаимодействию с цементным зерном. Эффект действия СП поликарбоксилатного типа основан на стерическом эффекте в отличие от СП на основе сульфированных нафталин-формальдегидных поликонденсатов, где преобладает эффект электростатического отталкивания [10]. СП обоих типов создают вокруг частиц УНМ адсорбционный слой, причем в случае СП С-3<sup>®</sup> строение его молекул характеризуется линейной формой полимерной цепи. Для СП SikaViscoCrete 5 neu<sup>®</sup> характерно строение молекул с поперечными связями и двух- или трехмерная форма. Данная форма молекул с поперечными связями способствует созданию более объемного адсорбционного слоя по сравнению с линейной формой молекул, при этом силы отталкивания частиц, вызываемые СП поликарбоксилатного типа почти вдвое больше чем при использовании СП на основе нафталин-формальдегидных поликонденсатов.

Таким образом, использование ультразвуковой обработки совместно с суперпластификаторами, является эффективным для распределения УНМ в объеме воды затвердения, кроме того СП С-3<sup>®</sup>, обладающий меньшим адсорбционным слоем, способствует лучшему

взаимодействию частиц УНМ и цемента и приводит к более высоким физико-механическим свойствам по сравнению с СП SikaViscoCrete 5 neu®.

*Работа поддержана грантом Президиума Российской академии наук (Программа «Арктика», проект №84).*

#### **Список литературы:**

1. Артамонова О.В., Сергуткина О.Р. Строительные наноматериалы: тенденции развития и перспективы // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. С. 13-23.
2. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Пудов И.А., Лушникова А.А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 47-51.
3. Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У., Никитин В.А. Структура и свойства наномодифицированных цементных систем, Наука и инновации в строительстве. Современные проблемы строительных материалов и технологий: Сб. трудов междунар. конф., Воронеж, Кн. 2, Т. 1, 2008. С. 424-429.
4. M.S. Konsta-Gdoutos, Z.S. Metaxa, S.P. Shah, Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials, Cem. Concr. Res. 40 (2010) 1052-1059.
5. A. Cwirzen, K. Habermehl-Cwirzen, V. Penttala, Surface decoration of carbon nanotubes and mechanical properties of cement/carbon nanotube composites, Adv. Cem. Res. 20 (2) (2008) 65-73.
6. L. I. Nasibulina, I. V. Anoshkin, A. G. Nasibulin, A. Cwirzen, V. Penttala, and E. I. Kauppinen Effect of carbon nanotube aqueous dispersion quality on mechanical properties of cement composite, Journal of Nanomaterials, Vol. 2012, 1-6.
7. Чурилов Г.Н. Способ синтеза фуллереновой смеси в плазме при атмосферном давлении // Патент RU 2320536 C2, 27.03.2008. МПК C01B31/00, B82B3/00.
8. Чурилов Г.Н. Фуллерены: синтез и теория образования: монография / Г.Н. Чурилов, Н.В. Булина, А.С. Федоров; ред. В. Ф. Шабанов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 227 с.
9. Семенов А.П., Семенова И.А. Способ синтеза покрытий производных фуллеренов // Патент на изобретение RU № 2517706 C1. Бюл. № 15 от 27.05.2014.
10. Каприелов С.С. Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. 1999. № 6. С. 6-10.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТВЕРДЕНИЯ И СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С МИКРОДОБАВКАМИ КРЕМНЕЗЕМА

Урханова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Салдаруева Н.С., аспирант,  
Архинчеева Н.В., канд. хим. наук, доц.,  
<sup>1</sup>Кулик Н.В.

*Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления,  
<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время в технологиях цементных композиций все больший интерес вызывает использование высокодисперсных добавок, влияющих на формирование структуры и свойств цементного камня и материалов на его основе. Следует отметить, что в литературе отсутствуют сведения о влиянии микродозировок известных активных минеральных добавок (АМД) на процессы гидратации и твердения цемента. В тоже время известно, что при переходе к ультра- и нанодисперсным частицам резко меняется дозировка добавок от десятых до тысячных долей процента от массы цемента.

Высокодисперсные кремнезёмсодержащие минеральные добавки, такие как микрокремнезем, зола уноса и др., хорошо изучены в интервале дозировок от 5% до 40% в технологии производства портландцемента и пуццоланового портландцемента. Известно, что при введении их в состав цементов более 20% повышается эффект пуццоланизации, но при этом снижается скорость гидратации и твердения цемента.

В представленной работе исследовалось влияние микродозировокизвестных АМД на свойства цемента и бетона, а также изменение активности кремниевой кислоты при переходе от золя к гелю.

В проводимых исследованиях для модификации цемента и мелкозернистого бетона были использованы следующие сырьевые материалы: портландцементЦЕМ I 32,5 Н ГОСТ 31108-2003 ООО «Тимлюйский цементный завод», кварц-полевошпатовый песок с модулем крупности  $M_{кр}=2,3$  и добавки: микрокремнезем-отход ЗАО «Кремний»(г.Шелехов, Иркутская область), зола уноса Гусиноозерской ГРЭС (Республика Бурятия), искусственные сорбенты – вспученный перлит и потребительский кремнегель – силикагель, а также щелочной

золькремнекислоты, полученный в результате 20-ти кратного разбавления товарного жидкого стекла. Добавки силикагель и вспученный перлит предварительно измельчались в лабораторном виброистирателе в течение 30 сек, микрокремнезем и зола уноса использовались без домола, в исходном состоянии.

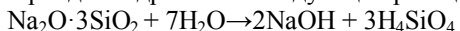
Микрокремнезем является сертифицированным товарным продуктом, на который имеются технические условия ТУ 5743-048-02495332-96 «Микрокремнезем конденсированный». В работе применялся микрокремнезем марки МК-85.

Зола – унос Гусиноозерской ГРЭС по содержанию аналитически определяемого оксида кальция ( $\text{CaO}$  4,20 – 5,20 %) относится к низкокальциевым золам (класс F согласно стандарту ASTM C 618), которые благодаря высокому содержанию кремнезема и глинозема состоят в основном из алюмосиликатного стекла – от 66,32 до 81%.

Силикагель, согласно ГОСТ 3956-76, имеет формулу  $x\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  или  $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и содержит в своем составе не более 8% химически связанной воды.

Золь кремнекислоты представляют собой коллоидную систему нанодисперсных размеров, обладающих высокой удельной поверхностью – до 100 м<sup>2</sup>/г. Ряд исследований доказывают преимущество использования для модификации цементного камня золя кремниевой кислоты [1,2]. В основном все исследования отличаются способами получения зольей, а именно обработкой жидкого стекла органическими или неорганическими кислотами или путей разбавления его с последующим удалением ионов натрия через катионитовые колонки, что является дорогостоящим технологическим переделом. В нашей работе использован другой подход для получения золя кремнекислоты, а именно, гидролиз жидкого стекла  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  без удаления катионов натрия  $\text{Na}^+$ .

При сильном разбавлении жидкого стекла – до 0,2 % концентрации раствора идет гидролиз по следующей реакции:



Используемые добавки отличались содержанием  $\text{SiO}_2$ : от 55% в золе до 92% в силикагеле. Расчеты показали, что в щелочном растворе золя кремнекислоты содержится приблизительно 1,38%  $\text{SiO}_2$ . Дозировка вышеперечисленных добавок составляла от 0,1 до 1,2% от массы цемента. Для оценки оптимальной дозировки модифицирующих добавок образцы размером 2x2x2 см, сформованные при нормальной густоте 25%, подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) в течение 5 часов, затем испытывались на предел прочности при сжатии.

Результаты эксперимента предоставлены в таблицах 1,2. Эффективность действия добавок оценивалась как отношение прочности при сжатии цемента с добавками к прочности бездобавочного цемента.

Таблица 1 – Влияние вида и количества добавок на прочность цементного камня после ТВО

Вид добавки	Характеристика добавок		Предел прочности при сжатии (МПа) в зависимости от количества добавки, % от массы цемента							
	Содержание SiO <sub>2</sub> , %	Суд, м <sup>2</sup> /кг	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Золь кремнекислоты	1,5	-	36	-	37	49	51	54	50	46
Силикагель	92	684	-	46	50	52	51	61	51	-
Микрокремнезем	85	1700	-	42	47	45	46	48	45	-
Вспученный перлит	7,5	455	-	36	39	41	43	41	42	-
Зола уноса	55	520	43	43	46	48	49	42	39	-

Таблица 2 – Эффективность действия добавок

Вид добавки	Rсж с добавкой / Rсж контрольного состава в зависимости от количества добавки, % от массы цемента						
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Золь кремнекислоты	-	1,04	1,38	1,45	1,52	1,41	1,30
Силикагель	1,29	1,42	1,47	1,42	1,73	1,44	-
Микрокремнезем	1,19	1,32	1,28	1,31	1,35	1,28	-
Вспученный перлит	1,03	1,11	1,16	1,22	1,15	1,20	-
Зола уноса	1,01	1,02	1,13	1,15	1,0	0,93	-

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

– все исследованные добавки в интервале дозировок от 0,1 до 1,2% упрочняют цементный камень после ТВО по сравнению с контрольным составом;

– силикагель повышает прочность цементного камня на 29-73% во всем интервале дозировок с максимумом при дозировке 0,8%. Микрокремнезем повышает прочность от 19 до 35% также во всем исследованном интервале дозировок. Золя кремнекислоты повышает прочность при сжатии на 30-52%, начиная от дозировки 0,4%, максимальный прирост получен при дозировке 0,8%;

– меньший эффект прироста прочности показали добавки – вспученный перлит и зола уноса на 15-22% и 13-15% соответственно.

Отличительной особенностью силикагеля является наличие большого количества активных центров, обусловленных способом получения из растворов щелочных силикатов, в отличие от АМД – микрокремнезем, зола уноса, вспученный перлит, образующихся при высокотемпературном синтезе. Если максимальная эффективность у силикагеля достигает при введении 0,74%  $\text{SiO}_2$  и составляет 74%, то в случае использования золя кремниевой кислоты она составляет 52% при введении 0,011%  $\text{SiO}_2$ . Это, вероятно, связано с тем, что коллоидные частицы кремниевой кислоты попадают в интервал размеров наночастиц и более активно реагируют с известью, выделяющейся при гидратации цемента. В то же время известно, что силикагель вступает во взаимодействие с известью не ранее 20 часов.

Для образцов с оптимальным содержанием добавки силикагеля – 0,8% была исследована кинетика твердения цементного камня (табл.3).

Таблица 3 – Кинетика набора прочности цементного камня при содержании 0,8% силикагеля

Показатели		Время (τ) твердения, сутки			
		1	3	7	28
Контрольные образцы	Прочность при сжатии Rсж, МПа	23,5	29,1	37,4	52,5
	Rсж, τ/Rсж,28с, %	45	57	72	100
Образцы с добавкой – силикагелем	Прочность при сжатии Rсж, МПа	30,2	37,7	46,8	71,5
	Rсж, τ/Rсж,28с, %	50	63	78	100
Эффективность добавки	Rсж сд/Rсжконтр	1,29	1,27	1,29	1,37



Полученные результаты подтверждают эффективность добавки силикагеля при естественном твердении цемента в течение 28 суток твердения. Прирост прочности модифицированного цемента во все сроки твердения составил в среднем 27-37%, что ниже, чем при тепловлажностной обработке. При этом кинетика набора прочности выше, чем у контрольных образцов, на 5-6%. Полученные данные согласуются с известными литературными данными: во влажных условиях ТВОповышается активность силикагеля. Действительно, силикагель в количестве от 1,5 до 14%, эффективен при производстве автоклавных материалов: газосиликата и силикатного кирпича.

Эффективность золя кремнекислоты была подтверждена при естественном твердении в течение 7 суток (табл.4). Это еще раз доказывает, что частицы золя кремнекислоты отличаются не только высокой химической активностью, но и способностью при переходе в гели заполнять самые тонкие капилляры цементного камня и повышать основные физико-механические свойства: прочность, водонепроницаемость, морозостойкость.

Таблица 4 – Влияние количества золя кремнекислоты на прочность цементного камня после 7 суток твердения во влажных условиях

Показатели	Количество добавки, % от массы цемента					
	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
Рсж, МПа	34,7	41,6	43,5	44	50,7	45,4
Рсж с д/Рсж контр	1	1,2	1,26	1,27	1,47	1,31

Эффективность действия добавок силикагеля и золя кремниевой кислоты оценивалась не только применительно к цементу, но и к мелкозернистому бетону при соотношении цемента к песку 1:3. При подборе состава бетона часть цемента – до 30% заменялась на золу уноса. Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

– прирост прочности при сжатии мелкозернистого бетона с модифицирующими добавками составил в 3 суток – 39-76%, а при замене 30% цемента на золу уноса – на 37-46%; в 7 суток – на 23-80%, а в зольных составах – на 12-23% соответственно. Эффективность действия добавок после 28 суток твердения бетона незначительна и составляет 10-16%, что подтверждает, что действие добавок проявляется в ранние сроки гидратации и твердения цемента и бетона на его основе.

Таким образом, результаты исследований показали, что микродозировки силикагеля и золя кремниевой кислоты, полученной при гидролизе жидкого стекла, являются эффективными ускорителями гидратации и твердения цемента и бетона на его основе. Применение этих добавок позволяет сэкономить до 30% цемента и при этом получать быстротвердеющие композиции.

**Список литературы:**

1. Лукутцова Н.П., Матвеева Е.Г. Наномодифицированный мелкозернистый бетон // Вопросы применения нанотехнологий в строительстве: сб. докладов участников круглого стола. М.: МГСУ, 2009. 120 с.
2. Комохов П.Г. Золь-гель как концепция нанотехнологии цементного композита // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 89-90.

## УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ БИТУМА И АСФАЛЬТОБЕТОНА ВВЕДЕНИЕМ УГЛЕРОДНОГО НАНОМОДИФИКАТОРА

Урханова Л.А.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Шестаков Н.И.<sup>1</sup>, аспирант,  
Буянтуев С.Л.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Семенов А.П.<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Смирнягина Н.Н.<sup>2</sup>, д-р техн. наук, доц.

<sup>1</sup>*Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления*

<sup>2</sup>*Институт физического материаловедения СО РАН*

В настоящее время нанотехнологии и наноматериалы стали очень важной составляющей прорыва во многих отраслях нашей жизни, в том числе и в строительстве. Разнообразные синтезированные и природные наноматериалы могут значительно улучшить качество строительных материалов. Для изменения и придания новых, уникальных свойств строительным материалам используют целый ряд различных нанодобавок: углеродные наноматериалы, наночастицы  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и т.д.

В последние годы большой интерес для научных исследований в области материаловедения представляют наноразмерные углеродные модификаторы. Так в работах [1-5] для получения дорожно-строительных материалов использовали углеродные нанотрубки, введение которых в состав асфальтобетона повышает прочность, водостойкость, морозостойкость и долговечность битума и асфальтобетона на его основе. При этом следует отметить, что влияние фуллеренов на модификацию битума и изменение свойств асфальтобетона изучено крайне мало.

Известно, что модифицирование цементного камня фуллеренами приводит к значительному улучшению физико-механических и эксплуатационных показателей цементных композитов. По мнению ряда исследователей, механизм действия наночастиц углеродного типа заключается в образовании дополнительных центров зародышеобразования кристаллогидратов, способствующих ускорению процесса гидратации цемента и упрочнению контактного слоя на границе раздела фаз [6].

Целью работы является изучение влияния углеродных наномодификаторов, полученных различным способом, на свойства дорожно-строительных материалов.

Для решения этой задачи были выбраны два вида углеродных нанодобавок. Синтез первого углеродного наномодификатора (УНМ) проводился на – плазмохимическом реакторе [7,8] (рис. 1). Установка ранее нами успешно апробирована для синтеза фуллереновой смеси при препарировании мишеней, распыляемых ионным и испаряемых электронным пучками. Мишени использовались при синтезе покрытий производных фуллеренов [9].

В основе работы установки лежит эрозия графитовых электродов в плазме дугового разряда [8]. Разряд инициируется при давлении 105 Па путем пропускания через электроды тока частотой 44 - 66 кГц. Эрозия стержней происходит в замкнутом герметичном объеме, заполненном гелием.

Установка содержит охлаждаемую водой камеру 1, в которой происходит плазменный синтез. К нижней и верхней части камеры через фланцы крепятся азотные ловушки 2. В корпусе камеры предусмотрены смотровые окна для визуального наблюдения. Крышка камеры съемная. К нижней съемной части камеры подсоединены штоки 3 с системой, обеспечивающей их перемещение по мере выгорания стержней и системой согласования с нагрузкой 4. Синтезированный углеродный конденсат собирается со стенок камеры в накопителе 5. Камера располагается на стойке 6. Электрическое питание установки осуществляется от генератора напряжения ВБГ-16, с номинальной мощностью 16 кВт. Максимальный ток эрозии графитовых стержней 160 А. Среднее время синтеза 10 мин.

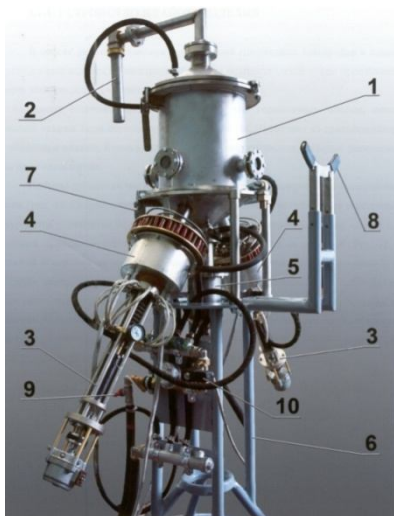


Рисунок 1 – Общий вид установки (плазмохимического реактора): 1– камера для синтеза, 2–азотная ловушка, 3–штоки, 4–блок согласования с нагрузкой, 5–накопитель углеродного конденсата, 6–стойка, 7– зажимы, 8–упор, 9–кран, 10–клапан управления подачей холодной воды

Из углеродного конденсата, содержащего 10-12% фуллеренов, бензолом были выделены фуллерены. УНМ содержит, массовые части: 0,8 –  $C_{60}$ ; 0,15 –  $C_{70}$ ; остальное – высшие фуллерены и оксиды  $C_{60}O$  и  $C_{70}O$  (рис. 2).

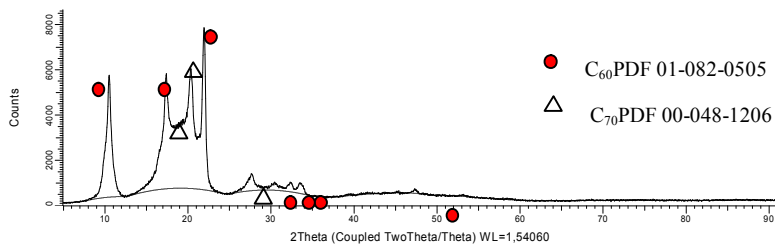


Рисунок 2 – Дифрактограмма УНМ

Второй вид УНМ был получен как побочный продукт плазменной обработки угля в плазменном реакторе. При плазменной обработке угля под действием электродуговой плазмы из материала электродов и угля, подаваемого для газификации, в одной установке образуются синтез-газ ( $CO+H_2$ ), активированный уголь (сорбент) и углеродные наноматериалы – фуллеренсодержащая сажа (ФСС). При этом в процессе плазменной обработки ФСС может образовываться не только из материалов электродов (по известным методам), но и что очень важно, из угля, проходящего плазменную обработку в плазменном реакторе [10-12].

Полученная при плазменной обработке ФСС имеет как компактную, так и волокнистую ультрадисперсную структуру, что указывает на наличие в ней таких основных форм наночастиц, как «луковичные углеродные структуры» (многослойные, гиперфуллерены) и «нитевидные углеродные структуры» (нанотрубки, нановолокна). Полученный углеродный наноматериал имеет средний размер первичных частиц не более 100 нм.

Для определения фазового состава ФСС были сняты дифрактограммы порошкообразных образцов ФСС, после экстракции оксидолом, на дифрактометре D8 Advance (BrukerAXS),  $CuK\alpha$ -излучение, детектор Vantec. Основные фазы в составе исходной ФСС и после экстракции представляют собой сформировавшиеся фуллереновые структуры, которые могут быть индексированы в кубической гранцентрированной структуре, состоящей из  $C_{60}$ . Это свидетельствует, что преобладающим компонентом в составе ФСС является фуллерен  $C_{60}$  – приблизительно 1,5 – 2% (рис. 3).

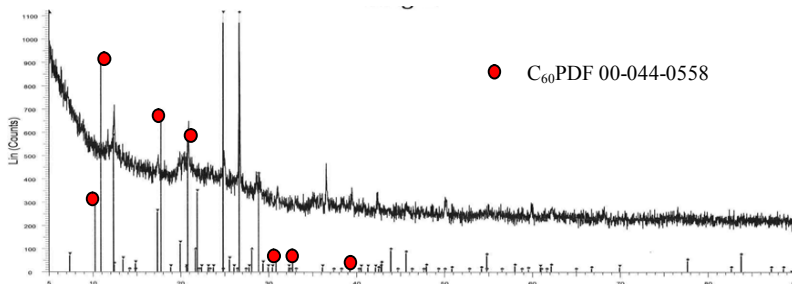


Рисунок 3 – Дифрактограмма ФСС

На начальном этапе работы исследовали свойства битума при введении углеродных модификаторов в количестве 0,1-0,5% от массы битума. Изменения основных свойств битума при введении наномодификаторов различной концентрации и способа получения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменения основных свойств битума

Способ получения добавки	Состав	Температура размягчения, °С	Глубина проникновения иглы, 0,1 мм	Температура хрупкости, °С	Дуктильность, см	Индекс пенетрации
-	Битум БНД 90/130	46	98	-25	Свыше 150	-0,77
Синтез в плазмохимическом реакторе (УНМ)	Битум +0,1% УНМ	44	92	-29	136	-1,35
	Битум +0,25% УНМ	42	89	-24	112	-2,1
	Битум +0,5% УНМ	40	76	-25	83	-3,19
Продукт плазменной обработки угля в плазменном реакторе (ФСС)	Битум +0,1% ФСС	43	89	-28	131	-1,78
	Битум +0,25% ФСС	42	87	-23,3	107	-2,17
	Битум +0,5% ФСС	40	71	-25,3	77	-3,33

Анализ результатов показал, что с введением и увеличением количества содержания нанодобавки, не зависимо от способа ее

получения, температура размягчения битума снижается. Снижение вязкости битума в области технологических температур способствует лучшему смачиванию поверхности каменного материала – заполнителя органическим вяжущим. Вероятно, смолы, отвечающие за пластичность битума, взаимодействуя с фуллеренами, проявляют свои свойства лучше. В то же время глубина проникновения иглы снижается, битум становится более твердый, следовательно, асфальтены, определяющие степень его твердости, так же взаимодействуют с фуллеренами.

Кроме того, наблюдается понижение температуры хрупкости битума при добавлении 0,1% модификатора, что свидетельствует о повышении качества битума. Однако, при добавлении модификатора и увеличении его концентрации в битуме, идет уменьшение его растяжимости. Известно, что повышение растяжимости битумов не всегда соответствует улучшению их свойств. По показателю растяжимости нельзя судить о качестве дорожных битумов, так как условия испытания (растяжение со скоростью 5 см/мин) отличаются от условий работы битума в дорожном покрытии, где деформация не превышает 1–1,5 мм и динамическая нагрузка действует 0,1–0,01 сек. На наш взгляд, при введении нанодобавок битум приобретает новые, уникальные свойства.

При анализе данных по изменению свойств модифицированного битума очевидно, что оптимальным процентным содержанием добавки является 0,1мас. %.

На основе модифицированного битума были изготовлены образцы плотного, горячего, мелкозернистого асфальтобетона типа «Б». Приготовление асфальтобетонной смеси производили на лабораторном смесителе ЛС-АБ-10, формовка образцов асфальтобетона – на прессе П-125т, согласно ГОСТ 12801-98. Для испытаний асфальтобетона использовали универсальную разрывную машину Instron 6637 (USA). Определение прочностных характеристик асфальтобетона проводили согласно ГОСТ 12801-98 (табл.2).

Таблица 2 – Свойства асфальтобетона с модифицированным битумом

Способ получения добавки	Концентрация добавки в битуме, %	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Водонасыщение, %	Предел прочности при сжатии, МПа			Коеф-т водостойкости
				R <sub>50</sub>	R <sub>20</sub>	R <sub>0</sub>	
Контрольный	0	2,36	3,22	0,91	2,53	4,31	0,94

Синтез в плазменно-химическом реакторе (УНМ)	0,05	2,38	2,98	1,05	2,5	4,70	0,95
	0,1	2,39	2,31	1,53	2,75	4,95	0,98
Продукт плазменной обработки угля в плазменном реакторе (ФСС)	0,05	2,37	2,69	1,16	2,87	5,18	0,96
	0,1	2,39	2,52	1,36	2,77	5,28	0,97
Требования ГОСТ 9128-2009			1,5%-4,0%	Не менее 0,9 МПа	Не менее 2,2 МПа	Не более 10,0 МПа	Не менее 0,9

Анализ представленных результатов показал, что асфальтобетон на модифицированных битумах обладает большей прочностью во всем интервале температур, а также повышенной водостойкостью. Наблюдается значительное увеличение прочности при 50°C, особенно при введении большого количества наномодификатора – 0,1%.

Из литературных данных [13] известно, что асфальтены придают битумам твердость и теплостойкость, смолы определяют пластичность и растяжимость, а масла оказывают пластифицирующее действие. Поэтому можно предположить, что входящие в состав асфальтенов и смол ароматические, полициклические структуры, включающие гетероциклы с азотом и серой, имеющие  $\pi$ -связь и атомы с неподеленными электронными парами, взаимодействуя с фуллеренсодержащими наномодификаторами, могут образовывать прочные структурные кластеры. Из-за пространственно объемной молекулы фуллерена рост кластеров идет по всему объему вяжущего и, переплетаясь, образуют прочную и жесткую пространственную сеть, увеличив тем самым твердость и теплостойкость битума.

Известно, что молекулы органических веществ, входящих в состав битума, являются сложными и содержат большое количество разнообразных функциональных групп, можно предположить, что связь между молекулами фуллерена и соединениями, входящими в состав битума, будут образовывать прочные связи. В тех случаях, когда существует сразу несколько точек, в которых молекула присоединяется даже через водородные связи к поверхности, десорбция такого вещества оказывается по существу не обратимой [14]. При повышении концентрации добавки в составе битума идет рост центров кластеров и следовательно рост и плотность образования полимерной матрицы, что в свою очередь и повышает прочностные характеристики.

Таким образом, углеродные наномодификаторы можно считать эффективными добавками для дорожно-строительных материалов, так



как позволяет при малых дозировках позволяют значительно улучшать свойства битума и асфальтобетона.

#### Список литературы:

1. Иноземцев С.С. Структура и свойства наномодифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов с повышенными показателями эксплуатационных: автореф. дис. к.т.н. Москва, 2013
2. Пат. 2515007 Российская Федерация, МПК C08L95/00, C04B26/26. Способ упрочнения асфальтового дорожного покрытия углеродным наноматериалом / Запороцкова И.В., Сипливый Б.Н. // ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет» RU № 2013104593/05, заявл. 04.02.2013, опубл. 10.05.2014
3. Пат. 2412126 Российская Федерация, МПК C04B24/36 C04B20/10 B82B3/00. Наноструктурирующий модификатор для асфальтобетона / Кондратьев Д.Н., Гольдин В.В., Меркелене Н.Ф. // ООО «Электронинвест» RU № 2009142640/03, заявл. 19.11.2009, опубл. 20.02.2011
4. Ярцев В.П., Полежаева Е.С., Бучнев А.Ю. Влияние углеродных нанодобавок (таунит) на свойства на физико-механические характеристики и долговечность битума // Вестник ТГТУ. 2011. Том 17. 1053 с.
5. Нанополимерные мембраны // Сайт о нанотехнологиях в России. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/news/2007/nanomembrany>.
6. Модифицирование цементных композитов смешанным наноуглеродным материалом фуллероидного типа / Ю. В. Пухаренко и др. // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов (XIX научные чтения): сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5–8 окт. 2010 г. Белгородский гос. технолог. ун-т. Ч. 1. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. С. 282–286.
7. Чурилов Г.Н. Способ синтеза фуллереновой смеси в плазме при атмосферном давлении // Патент RU 2320536 C2. Бюл. № 9 от 27.03.2008.
8. Чурилов Г.Н., Булина, Н.В., Федоров А.С. Фуллерены: Синтез и теория образования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 230 с.
9. Семенов А.П., Семенова И.А. Способ синтеза покрытий производных фуллеренов // Патент на изобретение RU № 2517706 C1. Бюл. № 15 от 27.05.2014.
10. Пат. 2488984 Российская Федерация, МПК H05H1/00, 82B 1/00. Способ получения углеродных наноматериалов с помощью энергии низкотемпературной плазмы и установка для его осуществления /С.Л. Буянтуев, А.С. Кондратенко, Б.Б. Дамдинов; патентообладатель ФГБОУ ВПО Бурятский гос. ун-т. - №2011106679/07; заявл. 22.02.2011; опубл. 27.07.2013, Бюл. № 21. – 11 с.ил.

11. Буянтуев С.Л., Дамдинов Б.Б., Кондратенко А.С. Фуллерены как конденсированная фаза при обработке угольной пыли низкотемпературной плазмой // Наноматериалы и технологии. Наноразмерные структуры в физике конденсированного состояния. Технологии наноразмерных структур: сб. трудов 2-ой научно-практ. конф. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2009. С. 230-232.
12. Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С., Хмелев А.Б. Особенности получения углеродных наноматериалов методом комплексной плазменной переработки углей // Вестник ВСГУТУ. 2013. №3(42). С. 21-25.
13. Асадуллина З.У. Механизм старения и пластификации битума гудроном // Строительные материалы. 2012 № 1. С. 51-53.
14. Ядыкина В.В. Повышение качеств асфальто- и цементобетона из техногенного сырья с учетом состояния его поверхности. Автореферат. Белгород, 2004.

## **К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Усенко М.В., магистрант,  
Захаров С.А., магистрант,  
Челядник М.С., студент**

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

Проведенные за последние годы мероприятия по переоснащению производственной базы строительства показали, что потенциал отрасли по производству конкурентоспособной и импортозамещающей продукции возрос, и наряду с другими причинами способствовал стабилизации работы промышленности строительных материалов и росту объемов промышленной продукции [1].

Строительный комплекс Белгородской области обладает мощным производственным, научным, кадровым потенциалом, способным обеспечить реализацию практически любого инвестиционного проекта любой сложности. На жилищное строительство направлена деятельность специально созданных фондов, обеспечивающих кредитами на льготной основе, предоставляющих материалы индивидуальным застройщикам. Сектор малоэтажного строительства считается самым быстрорастущим сегментом строительного рынка [2].

Малоэтажное домостроение в последнее время часто называется перспективным сегментом жилищного строительства. Ожидается, что более активное строительство малоэтажных домов предоставит реальную возможность снизить себестоимость квадратного метра жилья в России, а также будет способствовать решению жилищных проблем многих слоев населения, в том числе и молодежи. Что становится возможным и благодаря внедрению энергосберегающих технологий, использованию техногенного сырья, что отражено во многих научных работах [3-7].

В настоящее время при производстве наружных ограждающих конструкций в стране наблюдается тенденция к замене керамзита другими видами утеплителей. Что объясняется его достаточно высокой средней насыпной плотностью, составляющей порядка 550 кг/м<sup>3</sup>. В связи с вводом в строительную практику СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» дальнейшее существование действующей структуры производства стеновых материалов весьма проблематично, так как для соблюдения новых норм теплового сопротивления ограждающих

конструкций необходима следующая минимальная толщина стены: из деревянного бруса – 0,5 м, из кирпича – 2 м, из железобетонных панелей – 4 м. Поэтому в условиях повышения требований к термическому сопротивлению наружных стеновых панелей, использование рядового керамзита при их производстве становится затруднительным.

Кроме того существует также проблема достаточно высокой стоимости керамзита, что тормозит его применение при изготовлении конструкционного бетона. Стоимость щебня ниже стоимости керамзита из-за высоких энергетических затрат на производство последнего, что является основанием для проектирования и производства большинства несущих конструкций из тяжелого бетона.

Однако в России создана мощная база керамзитовой продукции, поэтому следует определить основные пути возможного применения керамзита применительно к создавшимся условиям.

Одним из путей решения данной проблемы является организация производства особо легкого керамзита с насыпной плотностью 150-200 кг/м<sup>3</sup>. На этом керамзите возможно производство однослойных наружных стеновых панелей, удовлетворяющих новым требованиям по теплозащите и энергосбережению. Однако толщина этих панелей на обычном керамзитобетоне на керамзитовом песке составит порядка 70 см при термическом сопротивлении 3,2 (м<sup>2</sup>°C)/Вт при средней плотности бетона 600 кг/м<sup>3</sup> и расчетном коэффициенте теплопроводности бетона 0,20 Вт/(м °C) при влажности бетона 5% (теплопроводность бетона в сухом состоянии – 0,16 Вт/(м °C)). Для понижения теплопроводности наружных стеновых панелей наиболее эффективным методом в настоящее время является способ поризации керамзитобетонных смесей [8-9].

Фирмы "Тектон", "Новые Технологии" (С-Петербург) предлагают новый перспективный материал – стеновой камень из неавтоклавногазифицированного легкого бетона (СКАБ), который готовится в скоростном аэрозольном турбулентном типе [10].

СКАБ – это конструктивно-теплоизоляционный композит, сочетающий в себе свойства пенобетона и легкого бетона на пористом заполнителе. Мелкопористая структура материала формируется активным вихревым вращением. Бетонная смесь пластична, заполняет форму, что обеспечивает изделиям гладкую поверхность и точность геометрических размеров. Основные технические свойства СКАБ (патент РФ №2070874):

- Номинальные размеры – 400х200х200 мм.
- Средняя плотность – 800 - 1000 - 1200 кг/куб.м.

– Теплопроводность – 0,24 - 0,30 - 0,35 Вт/мК.  
– Предел прочности при сжатии – 5 - 7,5 - 10 МПа.  
– Морозостойкость (F) – 25-35 циклов. Материал негорюч, экологически безвреден. Гладкая поверхность не требует оштукатуривания, достаточно грунтовки и покраски. Материал пилится, гвоздится, фрезеруется. Невысокая цена, его габариты и масса делает СКАБ привлекательным для индивидуального застройщика при возведении зданий малой этажности: коттеджное строительство, возведение сельскохозяйственных построек, хозблоков, гаражей и т.п. Аэрированная легкобетонная смесь (АЛБ) легко транспортируется пневмоустановкой или растворонасосом и может использоваться для устройства монолитных стен коттеджей как в утепленной несъемной, так и в сборно-разборной опалубке.

С целью снижения массы керамзитоблоков, повышения их теплотехнических показателей, выпускаются стеновые блоки с термовкладышами из пенополиуретана или пенополистирола. Эти элементы обладают всеми лучшими свойствами традиционных керамзитобетонных элементов и высокой теплоизоляционной способностью поропластов. Например, фирма НВ-ВЕТОНІ (Финляндия) выпускает набор теплоизоляционно-конструктивных элементов "НВ-Isoblock": стандартные (рядные) 590x290x190 мм и 590x240x190 мм, угловые 590x290x190 мм (правого и левого исполнения) и П-образные.

Таким образом, производство особо легкого керамзита, выпуск пенокерамзитобетона и проведение других мероприятий позволит в значительной степени решить вопрос об эффективных недефицитных материалах, пригодных для выпуска современных ограждающих и несущих конструкций.

#### **Список литературы:**

1. 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. – August 2014. Vol. 9. № 8. P. 1381-1385.
2. Агеева М.С., Сопин Д.М., Гинзбург А.В., Калашников Н.В., Лесовик Г.А. Разработка композиционных вяжущих для закладочных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 43-47.
3. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов алмазообогащения // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30-31.

4. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
5. Агеева М.С., Лесовик Г.А., Калашников Н.В., Митрохин А.А. Закладочные смеси // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 9. № 2. С. 14-19.
6. Ключев С.В., Авилова Е.Н. Бетон для строительства оснований автомобильных дорог на основе сланцевого щебня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 38-41.
7. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Шакарна М.И.Х. Efficient Binding Using Composite Tuffs Of The Middle East World Applied Sciences Journal. № 24(10). pp. 1286-1290.
8. Комиссаренко Б.С. Перспективы развития производства керамзита и керамзитобетона с учетом современных задач стройиндустрии // Строительные материалы. 2000. № 6.
9. Лозовая С.Ю., Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Огурцова Ю.Н., Гринев А.П. Исследования влияния тонкомолотого цементного камня на свойства цементного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 56-60.
10. Коломиец И.В. Аэрированные легкие бетоны и растворы с пористыми заполнителями и их применение в производстве стеновых камней и плит перегородок: :дис. ... канд. техн. наук : 05. 23. 05.

## ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЙ ПЕНОБЕТОН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ФИБР

**Федоров В.И., аспирант**

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова*

Разработка энергосберегающих строительных материалов является приоритетным направлением в строительной индустрии РФ. Именно от свойств того или иного материала зависит надежность и долговечность строительных конструкций в целом. Одним из перспективных материалов, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, является пенобетон.

Для улучшения эксплуатационных характеристик пенобетона следует решить противоречивую задачу, суть которой заключается в следующем: для повышения прочностных показателей увеличивают плотность, что приводит к повышению коэффициента теплопроводности, поэтому предстоит решение задачи оптимизации соотношения плотности и прочности.

Для решения поставленной задачи, следует изучить механику разрушения строительного композита. Разрушение любого строительного материала начинается с так называемого «слабого места». Другими словами, в местах, где концентрируются внутренние напряжения и в последующем появляются микротрещины, которые при дальнейшем нагружении расширяются и постепенно начинается процесс разрушения материала [1]. Трещина, в свою очередь, расширяется под воздействием растягивающих напряжений внутри пенобетона. Из-за наличия таких дефектных мест, пенобетон полностью не использует свою несущую способность. Таким образом, следует равномерно распределить внутренние напряжения по всему объему материала для предотвращения концентрации напряжений. Наиболее рациональным способом является введение фибр, который позволяет получить эффект пространственного армирования [1]. Данный технологический прием позволяет передать растягивающую нагрузку от матрицы композита к фибре. Получаемый эффект передачи напряжений позволяет замедлить процесс образования и раскрытия трещин, тем самым повышая механические характеристики пенобетона.

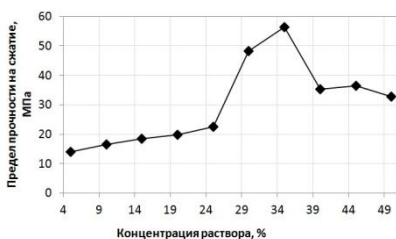
В наших исследованиях были использованы не традиционные виды фибр, а целлюлозные фибры, полученные переработкой обыкновенной макулатуры. На практике обычно применяют стальные, базальтовые, стеклянные и полимерные виды фибр. Но из-за гидрофобности

(несмачиваемости) и ровности их поверхности у них наблюдается низкое сцепление с минеральной матрицей бетона. У фибр на основе переработанной макулатуры поверхность гидрофильная, шереховатая и пористая, что приводит к высокому сцеплению фибры с минеральной матрицей.

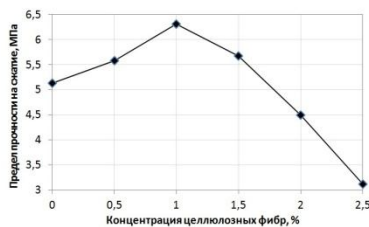
Для получения целлюлозной фибры из макулатуры, ее подвергают диспергированию в сухом состоянии [2]. Другими словами, макулатура измельчается до образования отдельных волокон-фибр в ножевой дробилке. На основе такой фибры нами изучен неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный целлюлозными фибрами. В качестве связующего использовано магниальное вяжущее ( $\text{MgO}$ ), затворителем – раствор хлорида магния ( $\text{MgCl}_2$ ), а в качестве порообразователя – пенообразователь марки «ПБ-Люкс» ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ ).

Необходимо отметить, что при неправильном подборе соотношения  $\text{MgO}:\text{MgCl}_2$  изделия растрескиваются [3,4], что значительно снижает механические характеристики пенобетона. Исходя из этого, составлены десять составов магниального вяжущего с различной концентрацией хлорида магния. На основе каждого состава изготовлены образцы-балочки размером 40x40x160 мм (ГОСТ), которые были испытаны после достижения 7 суток твердения в воздушно-сухих условиях, результаты испытаний приведены на рис. 1.

Из рис. 1а видно, что оптимальная концентрация раствора хлорида магния достигается при 35%. На основе полученных данных изготовлены образцы пенобетона с различной концентрацией целлюлозных фибр. После достижения 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях, образцы испытаны на прочность при сжатии, результаты испытаний приведены на рис. 1б.



а – Изменение прочности на сжатие от концентрации раствора хлорида магния



б – Влияние концентрации целлюлозных фибр на прочность при сжатии

Рисунок 1 – Результаты испытаний образцов



Согласно рабочей гипотезы, введение целлюлозных фибр приведет к повышению прочности пенобетона на сжатие. Из рис. 16 видно, что оптимальная концентрация целлюлозных фибр составляет 1%, так как при этом значении достигается максимальная прочность на сжатие. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к постепенному снижению прочности. Данный эффект объясняется тем, что при излишнем количестве волокон, структура пенобетона разрыхляется, тем самым нарушается однородность стенок пор.

При оптимальном содержании целлюлозных фибр прочность пенобетона на сжатие увеличивается на 18,7% относительно пенобетона без содержания фибр. Исходя из всего вышерассмотренного, пенобетоны с применением целлюлозной фибры могут быть перспективным строительным материалом. За счет повышения прочности при сохранении плотности возможно снижение толщины ограждающей конструкции на его основе с сохранением основных физико-механических и звукоизоляционных свойств.

#### **Список литературы:**

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. М.: Издательство АСВ, 2004. С. 560.
2. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры: Учеб.пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2011. Ч. I. С. 99.
3. Лукаш Е.В., Кузьменков М.И. Неавтоклавный пенобетон на основе магнезиального цемента // Строительные материалы. 2012. № 11. С. 33-35.
4. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: Учебник. М.: Стройиздат, 1979. С. 476.

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СВОЙСТВ АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Фомина Е.В., канд. техн. наук,  
Сулим К.П., магистрант,  
Фомин А.Е., магистрант**

*Белгородский государственный технический  
университет им. В.Г. Шухова*

Одним из приоритетных направлений в строительстве является создание и усовершенствование свойств строительных материалов полифункционального назначения. Эффективным путем улучшения технических свойств автоклавных вяжущих является изменение условий фазообразования при твердении за счет применения нетрадиционного вида сырья [1–3].

Высокой тенденцией спроса на строительном рынке пользуются материалы автоклавного твердения. Успешная разработка эффективных составов автоклавных изделий может осуществляться различными технологическими приемами. Значительная часть современных автоклавных строительных материалов содержит в качестве кристаллической связки различные составы гидросиликатов кальция, синтезированные в процессе гидротермальной обработки. Конечной целью химического взаимодействия является получение низкоосновного гидросиликата кальция, что обусловлено хорошими связующими свойствами этого минерала, обеспечивающими высокие физико-механические показатели изделия. Невысокая стоимость и технологичность производства этих материалов очевидны. Вместе с тем они имеют определенные недостатки, например неустойчивость в агрессивных средах. В этой связи одним из эффективных путей совершенствования их свойств является синтез в гидротермальных условиях материалов с кислотостойкой и щелочестойкой кристаллизационной связкой. Такой связкой могут служить синтезированные аналоги природных минералов щелочных алюмосиликатов.

Теоретическими предпосылками синтеза аналогов природных минералов в системе  $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$  послужили данные геологии о том, что в результате непрерывных процессов распада и образования алюмосиликатных горных пород, последние под действием химического выветривания разрушаются до дисперсных грунтов, при взаимодействии которых с соединениями щелочных металлов в

условиях коры выветривания, а так же в зоне гидротермального и термального метаморфизма, образуются щелочные алюмосиликатные минералы [3,4]. Для синтеза щелочных алюмосиликатов в составе кристаллической связки вяжущего автоклавного твердения может применяться широкодоступное сырье в виде эффузивных пород вулканического происхождения (перлит, цеолитизированный туф, пепел), содержащее в своем составе аморфную алюмосиликатную фазу, сформированную из силикатных кластеров с различной степенью полимеризации, которая является реакционно-активной составляющей при гидратации сырьевой смеси вяжущего газобетона. В этих породах так же содержится значительное количество оксидов натрия и калия, которые в составе силикатной смеси вступают в катионный обмен с гидроксидом кальция. Кроме того, важную роль в синтезе щелочных алюмосиликатов помимо температуры, давления, состава примесей играет временной фактор, поэтому интенсифицировать процессы их образования возможно в гидротермальных условиях автоклава.

Кристаллические особенности синтезированных соединений зависят от исходного сырья, концентрации щелочного раствора способа и времени обработки изделия. Изменяя эти факторы, можно регулировать состав новообразований.

В проведенных исследованиях [5,6] изучено влияние алюмосиликатной породы на структурные и фазовые изменения ячеистых бетонов автоклавного твердения. Часть кварцевого компонента в традиционных составах газобетона была замещена на алюмосиликатную породу – перлит.

Таблица 1 – Химический состав перлита

Оксиды	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	S O <sub>3</sub>	ппп
Масс. %	75,5	13,6	1,0	1,0	0,3	0,1	4,8	3,8	5,3	-	-

В отличие от кварцевого песка основная масса перлита представлена наноразмерной стеклофазой, которая активно вступает в химические реакции взаимодействия в насыщенных известковых смесях уже на ранних стадиях гидратации с дальнейшим ростом в гидротермальных условиях стабильных кристаллов высокопрочных фаз с повышением прочности автоклавированных изделий.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики образцов газобетона

Показатель	Доля замены кварцевого песка на перлит, масс. %				
	0	5	10	15	20
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	562,7	526,2	473,9	453,3	435,7
Прочность, МПа	2,72	3,14	3,46	3,68	3,57

Из таблицы 2 следует, что плотность изделия снижается в сравнении с контрольным составом (без содержания перлита), возможно, что образование кристаллического каркаса на начальных этапах твердения ячеистобетонной массы способствует стабилизации сырьевой смеси в момент газовыделения, исключая усадку сырца. По результатам исследований максимальная активность приходится на образцы вяжущего с заменой 15% кварцевого компонента перлитом. Дальнейшее увеличение алюмосиликатной породы до 20% при снижении доли кварца вызывает снижение прочности, но во всех рассматриваемых случаях она остается выше контрольного состава.

С целью количественного определения концентраций гидратных новообразований в автоклавированных образцах был проведен РФА (табл. 3).

Таблица 3 – Концентраций гидратных фаз в автоклавированных образцах

Минеральные компоненты	Концентрация перлита (масс. %)		
	0	10	15
Кварц	43	40	22
Кальцит	17	25	27
$\alpha$ -C2SH	26	13	3
11Å-тоберморит	14	22	47
Цеолит L	-	-	1

Установлено, что в насыщенных известковых смесях в результате катионообменных реакций с алюмосиликатной породой, в которой содержится значительное количество  $K_2O$ ,  $Na_2O$  (табл. 1), образуются дополнительные гидроксиды щелочных металлов, что способствует растворению кварца, связыванию его в гидросиликаты кальция с понижением их основности, при этом свободная известь карбонизируется (табл. 3). Алюминатные фазы, вносимые перлитом и присутствующие в цементе, участвуют в образовании соединений тоберморита. В этом случае в насыщенных щелочных смесях ион  $Al^{3+}$  способен изоморфно замещать ион  $Si^{4+}$  в кристаллической решетке тоберморита с образованием 11Å-(Al) тоберморита. Образование цеолитоподобных соединений обусловлено протеканием катионного

обмена гидросиликатной фазы со щелочными металлами  $K_2O$ ,  $Na_2O$ . Катионы  $Na^{3+}$  и  $K^+$  встраиваются в гидросиликатный комплекс, образуется аналог природного цеолита  $L - K_{11.7}(Al_{1.8}Si_{34.2}O_{72})$ .

Таким образом, введение в состав алюмосиликатной породы перлит улучшает физико-механические показатели ячеистого бетона, способствует положительному влиянию на синтез гидросиликатов кальция с возможностью получения аналогов природных щелочных алюмосиликатов типа цеолит, прогнозируя тем самым коррозионную стойкость, а следовательно и долговечность изделия. Предложенный подход дает основание для реализации дальнейших исследований и будет являться одним из эффективных путей совершенствования изделий автоклавного твердения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках: Гранта Президента Российской Федерации МК 6170.2013.8 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова*

#### **Список литературы:**

1. Шейченко М.С., Карацупа С.В., Яковлев Е.А., Шаповалов Н.Н., Богусевич В.А., Шадский Е.Е. Обогащение как способ повышения эффективности использования техногенного сырья в качестве компонента композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 1. С. 16-21.
2. Володченко А.Н., Ходыкин Е.И., Строкова В.В. К проблеме использования попутно добываемого сырья угольных месторождений для производства автоклавных силикатных материалов // Технологии бетонов. 2013. № 6 (83). С. 40-41.
3. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Влияние сырья вулканического происхождения и режимов твердения на активность композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 52-55.
4. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции // Докл. и тез. докл. 3-й Всесоюз. научн.-практич. конф. В 2-х т. / Редколлегия: В.Д. Глуховский и др. Киев: Изд-во КИСИ, 1989. Т. 1. 256 с.
5. Жерновский И.В., Строкова В.В. К проблеме фазово-размерной гетерогенности минерального сырья как фактора структурообразования строительных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31 (50). Ч. 2. Строительные науки. С. 112-118.
6. Фомина Е.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Особенности фазообразования силикатных ячеистых изделий автоклавного твердения с алюмосиликатным сырьем // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 38-40.

## КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ПОЛИСТИРОЛБЕТОН С АДГЕЗИОННЫМИ ДОБАВКАМИ

Цыдыпова А.Ц., аспирант,  
Урханова Л.А., д-р техн. наук, проф.  
*Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления*

В настоящее время особую актуальность приобрела необходимость поиска новых подходов к решению проблем по теплозащите зданий и сооружений в соответствии с современными требованиями действующей нормативной документации в строительстве. В связи с этим возникла потребность в применении новых конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов и изделий, отвечающих повышенным требованиям энергоресурсосбережения в области строительства. Данным требованиям сегодня в полной мере может соответствовать строительный материал, использующийся в России и странах СНГ под названием полистиролбетон. Неуклонный рост интереса к нему на рынках строительных материалов не только в России, но и за рубежом обуславливается высокой эффективностью применения изделий из полистиролбетона и пенополистиролбетона.

**Введение.** Строительство индивидуального и малоэтажного жилья необходимо вести в промышленных масштабах, снижая его стоимость до доступного уровня. Одной из основных целей республиканской целевой программы «Жилище» Республики Бурятия (РБ) на 2011-2015 годы является комплексное развитие малоэтажного жилищного строительства. Развитие малоэтажного строительства предусматривает вопрос использования традиционных строительных материалов, в частности полистиролбетона.

В строительной индустрии РБ все шире используется полистиролбетон, приготовленный по традиционной технологии в соответствии с ГОСТ Р 51263-99. За 2012-2013 гг. ООО «Селенгинский завод ЖБИ» (п. Селенгинск, Кабанский район) и Производственная компания «Ермак» (г. Улан-Удэ) выпустили около 10000 м<sup>3</sup> полистиролбетона. Предприятиями выпускается полистиролбетон с марками по плотности D 200 – D 600, области применения которых: монолитная теплоизоляция чердаков, производство трехслойных панелей, несущих блоков для наружных стен.

Известно, что данный вид бетона обладает особым набором прочностных и деформационных свойств. По зависимости между

плотностью и модулем упругости полистиролбетон близок к легким бетонам, по отношению кубиковой прочности к призмной похож на мелкозернистый или крупнопористый керамзитобетон, по предельным деформациям сжатия он приближается к тяжелым бетонам, а по макроструктуре полистиролбетон схож с ячеистыми бетонами. Кроме того, известно, что в образцах из ячеистого бетона, как и в полистиролбетонных, разрушение от нагрузки происходит не по зернам заполнителя, а по оболочкам ячеек [1].

В современной строительной науке до настоящего времени считалось, что полистиролбетон можно рассматривать как ячеистый, но с большими размерами пор, заполненными полистиролом, с меньшей проницаемостью и с демпфирующим эффектом. На самом деле в этом материале реализована двумодальная пористость – крупные поры формируют гранулы пенополистирола, а мелкие – излишки не вступившей в реакцию с цементом и испаряющейся в дальнейшем воды.

Характерной особенностью полистиролбетона в сравнении с другими легкими бетонами на пористых заполнителях является огромное (в 20-30 раз) различие между плотностью гранул заполнителя и цементной матрицы.

В последние годы мнение о полистиролбетоне неоднозначно. С одной стороны, следует принять во внимание, что полистиролбетон по сравнению с ближайшим аналогом – ячеистым бетоном – обладает повышенной в среднем прочностью на растяжение при изгибе – в 2,5 раза и прочностью на сжатие – в 1,15 раза, пониженными водопоглощением – в 1,5 раза и теплопроводностью – в 1,2 раза и паропроницаемостью – в 2-7 раза, морозостойкостью. Полистиролбетон может воспринимать нагрузки от конструктивных элементов, он может использоваться в любых строительных изделиях, в том числе армированных, являющихся одновременно теплоизоляционными и несущими. В полистиролбетонных конструкциях металлическая арматура в отличие от ячеистого бетона не требует защитных покрытий, от ста циклов и более, химической и биологической стойкостью [2].

С другой стороны, исследователи считают, что присутствие пенополистирольных гранул понижает прочностные характеристики полистиролбетона, имеет место деструкция и распад материала в течение короткого времени. Но основными условиями для распада полистирола являются влияние ультрафиолетовых лучей и превышение температуры эксплуатации. В полистиролбетоне полистирольные гранулы не испытывают данных влияний из-за присутствия цементной массы, обволакивающей полистирольные гранулы, таким образом

температурный режим полистиролбетона стабилен, условий для деструкции материала нет.

В настоящее время в строительстве практически используется только полистиролбетон с низкой плотностью –  $150-600 \text{ кг/м}^3$ , как теплоизоляционный материал, хотя для стеновых камней учитывается и возможность восприятия нагрузки от собственного веса. Как конструкционный материал, полистиролбетон в диапазоне плотностей от  $700$  до  $1450 \text{ кг/м}^3$  практически не исследовался. Использование полистиролбетона в изделиях, выполняющих функцию несущих, требует изучения целого ряда вопросов. В первую очередь необходимо изучить свойства полистиролбетона как конструкционного материала в целом.

Очевидно, что конструкционный полистиролбетон в диапазоне плотностей  $1200-1450 \text{ кг/м}^3$  и класса В7,5 – В15 востребован для проектирования конструкций в районах России с сейсмическими зонами 8-9 баллов (например, РБ), так как удовлетворяет требованиям СНиП П-7-81 "Сейсмика" (раздел: здания с несущими стенами из кирпича или каменной кладки, п. 3.38).

Целью работы является разработка рациональных составов, выбор оптимальных химических добавок, способа получения, гранулометрического состава полистирольного заполнителя, изучение прочностных, деформационных, теплоизоляционных характеристик полистиролбетона.

Известно, что основным недостатком полистиролбетона является расслаивание смеси в процессе приготовления в результате гидрофобности пенополистирольного заполнителя по отношению к цементному тесту. Решение этой проблемы освещалась в работах Н.В. Архинчевой, О.В. Журба, где использовались различные химические добавки для повышения гидрофильности полистирола [3].

В развитии этих работ, авторами решались вопросы поиска новых эффективных химических добавок, повышающих адгезию пенополистирола к цементу. Учитывая, что основным условием формирования адгезионно-когезионных контактов в системе полистиролбетона является уменьшение поверхностного потенциала пенополистирольных гранул, поэтому необходимо использование химических добавок, повышающих гидрофильность пористого заполнителя.

**Методология.** Для решения этого вопроса в состав полистиролбетона вводились различные химические добавки. Исследовались свойства полистиролбетона в зависимости от вида и



количества добавки, температуры водной фазы, гранулометрического состава пенополистирола. Подбор состава и испытание полистиролбетона проводился с учетом требований ГОСТ 27006, ГОСТ 10180, ГОСТ 12730.1.

Для получения полистиролбетона использовался портландцемент ООО «Тимлойский цементный завод» ЦЕМ I 32,5Н, песок природный кварц-полевошпатовый с модулем крупности 2,2-2,3, пенополистирольный вспененный гранулированный наполнитель (ПВГ) с размером зерен 5-10 мм и 10-20 мм и регенерированные гранулы, полученные из упаковочного пенополистирола с размером зерен 5-10 мм и 10-20 мм и насыпной плотностью 10-15 кг/м<sup>3</sup>. Для повышения гидрофильности пенополистирола были использованы адгезионные добавки производства Mead Westvaco Corporation Asphalt Innovations, USA: Pave 192 Morlife 5000; адгезионная добавка производства Akzo Nobel Surface Chemistry AB, Швеция: Wetfix BE (таловые масла, конденсаты сложных полиаминов); воздухововлекающая добавка производства концерна Sika, Швеция: Sika Aer 200 S и классическая добавка – смола древесная омыленная СДО. Добавки вводились в количестве 0,05; 0,1; 0,15 и 0,20 % от массы цемента из расчета на сухое вещество, растворялись в воде при температурах 40°С и 60°С. Количество воды подбиралось исходя из требуемой удобоукладываемости бетонной смеси. Состав конструкционно-теплоизоляционного полистиролбетона: расход цемента, песка, пенополистирола во всех опытах оставался неизменным. Результаты исследований полистиролбетона с химическими добавками представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние адгезионных добавок на прочностные характеристики полистиролбетона

Вид добавки	Предел прочности при сжатии (МПа) в зависимости от количества и вида добавки (в % от массы цемента), 28 сут				Предел прочности на растяжение при изгибе (МПа) в зависимости от количества и вида добавки (в % от массы цемента), 28 сут			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2
Wetfix BE	4,2	4,42	5,73	6,98	2,33	2,4	2,74	4,01
Pave 192	4,68	5,43	8,63	9,67	2,71	3,01	3,16	4,11
Morlife 5000	2,05	2,69	2,75	4,92	0,98	1,31	2,64	2,77
СДО	2,54	2,71	2,92	5,01	1,01	1,21	1,22	2,5

**Основная часть.** Анализ результатов исследований показал, что полистиролбетонная смесь с добавлением СДО более пластична,

расслаивания смеси не наблюдалось. Полистирольный наполнитель полностью обволакивается цементным тестом, таким образом, формируется однородный каркас с равномерным распределением полистирольного наполнителя в цементной матрице. Тогда как при формировании образцов из полистиролбетонной смеси без добавления добавок наблюдалось расслаивание смеси и неравномерность распределения наполнителя в объеме. Предел прочности при сжатии и предел прочности на растяжение при изгибе бездобавочного полистиролбетона в возрасте 28 суток составляет 4,45 МПа и 2,35 МПа. Добавка СДО в количестве 0,2% от массы цемента позволила получить полистиролбетон с прочностью на сжатие и прочностью на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток 5,01 МПа и 2,5 МПа соответственно. Таким образом, добавка СДО позволяет получить полистиролбетон с более лучшими прочностными характеристиками по сравнению с бездобавочным бетоном, облегчается технология приготовления полистиролбетона в производственном масштабе ввиду хорошей удобокладываемости полистиролбетонной смеси.

Введение адгезионной добавки Morlife 5000 в количестве 0,2% от массы цемента дало незначительное увеличение прочности при сжатии – на 0,47 МПа по сравнению с контрольными образцами, тогда как при дозировках 0,05-0,15% было отмечено понижение прочности на сжатие. При температуре воды 40°C добавка не растворялась, поэтому добавке Morlife 5000 требовалась более высокая температура затворения воды для повышения гидрофильности пенополистирола к цементу. Было отмечено пластифицирующее действие добавки, снижение водопотребности полистиролбетонной смеси на 7,5%.

Более высокие показатели по прочности при сжатии показали образцы с адгезионными добавками Pave 192, Wetfix BE. При введении добавки Wetfix BE в количестве 0,2% от массы цемента, предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток увеличивается в среднем на 2,0 – 2,5 МПа, предел прочности при изгибе на 1,1-1,3 МПа по сравнению бетоном без добавок. Адгезионные добавки Pave 192 и Wetfix BE увеличили прочность при сжатии, что связано с увеличением адгезии пенополистирола к цементу. Отмечено увеличение окатываемости пенополистирольных гранул цементным тестом, снижение водопотребности смеси на 8,0-15,0. Снижение водопотребности, хорошая пластичность смеси при дозировке добавки 0,2% от массы цемента дало снижение плотности образцов до 920 кг/м<sup>3</sup>, по сравнению с малыми дозами добавки.

Добавка Pave 192 при дозировке 0,2% по сравнению с другими добавками дала наибольшее увеличение показателей предела прочности при сжатии и предела прочности на растяжение при изгибе: в среднем на 4,9 – 5,2 МПа и 1,5-1,7 МПа соответственно по сравнению с бетоном без добавок, при плотности бетона 850 – 860 кг/м<sup>3</sup>. Водопотребность смеси снизилась на 15,0%.

Таким образом, экспериментально было установлено, что введение адгезионных добавок, применяемых в дорожном строительстве, эффективно и для получения полистиролбетона с улучшенными физико – механическими характеристиками. Введение адгезионных добавок увеличили гидрофильность пенополистирола к цементу за счет снижения поверхностного натяжения на границе поверхностей гранул с цементом. Хорошая окатываемость пенополистирольных гранул позволила получить смесь с однородной структурой, с равномерным распределением заполнителя в каркасе бетона.

Известно, что в мире выпускается ежегодно 130 млн. тн пластмасс с годовым приростом 10%, объем только полистирольных пластиков достигает до 50 тыс. тн в год. Полистирольный пластик может быть регенерирован и вторично использован в производстве полистиролбетона.

Поэтому представляет интерес получение полистиролбетона из регенерированных гранул с оптимальными дозировками адгезионных добавок Pave 192 и Wetfix BE 0,2% от массы цемента при температуре воды затворения 60°C. Положительные стороны регенерированного сырья: простота дозирования, удобство формования образцов, хорошая удобоукладываемость. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние вида адгезионных добавок на прочность и кинетику твердения полистиролбетона

Вид добавки	Предел прочности при сжатии (МПа) полистиролбетона при оптимальных дозировках добавок (0,2 % от массы цемента) после			
	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.
Без добавки	3,78	4,15	4,67	5,44
Pave 192	4,21	6,8	8,6	9,14
Wetfix BE	4,11	6,15	8,12	8,54

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что полистиролбетон на основе регенерированных гранул с введением Pave 192 0,2% от массы цемента в возрасте 28 суток превышает прочность при сжатии по сравнению с бетоном без добавок на вспененном заполнителе на 105%, введение Wetfix BE в количестве 0,2% по массе цемента – на 91%.

Образцы на регенерированном сырье с добавкой Wetfix BE показывает увеличение прочности по сравнению с образцами на вспененном полистироле в среднем на 1,4 – 1,5 МПа, что обуславливается более шероховатой поверхностью регенерированных гранул, более высокой сцепляемостью с цементом. Показатели образцов с добавлением Pave 192 ниже в среднем на 0,3 – 0,5 МПа, хотя некоторые образцы превышали значения полученные на вспененном полистироле.

Отсюда следует, что введение адгезионных добавок повышают гидрофильность пенополистирола к цементу, увеличивают прочность при сжатии – в 1,5 раза, прочность на растяжение при изгибе – в 1,3 раза по сравнению с традиционной добавкой СДО. Введение добавок также снижают водопотребность, улучшают удобоукладываемость и предотвращают расслаивание бетонной смеси.

Анализ работ В.А. Рахманова, В.Г. Довжик, В.М. Хрулева и других показывает, что прочность полистиролбетона зависит от многих факторов: от прочности заполнителя, от качества исходного материала бисерной смолы, прочности цементного теста, адгезионно-когезионных контактов в системе пенополистирол-цемент. Исследовалось влияние гранулометрического состава полистирола на прочностные характеристики полистиролбетона. Образцы с ПВГ с размером зерен 5-10 мм показали прочность при сжатии на 20-25% выше по сравнению с образцами с применением полистирола 10-20 мм.

**Выводы.** В результате исследований был получен полистиролбетон с марками по плотности 860-1200 кг/м<sup>3</sup>, марками по прочности 2,87 – 9,67 МПа, что позволяет использовать данный материал не только для теплоизоляции зданий, но и как конструкционно-теплоизоляционный материал в малоэтажном строительстве. Использование этого материала должно способствовать развитию инновационных технологий малоэтажного строительства в рамках государственной программы "Жилище".

Кроме того, появляется возможность использования вторичного регенерированного сырья, что решит экономические и экологические вопросы, возникающие в процессе производства полистиролбетона.

Введение адгезионных добавок, используемых в дорожном строительстве, в полистиролбетон позволяет улучшить качество готового продукта, увеличить срок эксплуатации изделий. Отрицательная черта новых добавок несколько высокая стоимость по сравнению с СДО, но оптимальная дозировка меньше, также

прочностные показатели выше, таким образом суммарный экономический эффект увеличивается по сравнению с добавкой СДО.

Правильно подобранный состав бетона с оптимальным количеством вводимых добавок позволяет снизить расход цемента, повысить прочностные, деформативные характеристики полистиролбетона.

#### **Список литературы:**

1. Носков А.С., Беляков В.А. Конструкции из полистиролбетона для строительства жилых зданий // Жилищное строительство. 2008. № 5. С. 24-25.
2. Рахманов В.А. Полистиролбетон – высокоэффективный материал для ограждающих конструкций жилых и общественных зданий // Строительство: новые технологии-новое оборудование. 2011. № 9. С. 16-19.
3. Журба О.В., Щукина Е.Г., Архинчеева Н.В., Константинова К.К. Конструкционно – теплоизоляционный полистиролбетон на основе регенерированного сырья // Строительные материалы. 2007. № 3. С. 50-52.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА В БЕСЦЕМЕНТНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ**

**Череватова А.В., д-р техн. наук, проф.,  
Фишер Х.Б., проф.,**

**Войтович Е.В., канд. техн. наук,  
Алехин Д.А., магистрант,  
Сивушова С.А., студент**

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

На данный момент основная доля материалов на основе гипса производится из низкомарочных гипсовых вяжущих, в связи с чем наиболее часто применяются композиции на их основе (гипсопуццолановые вяжущие), с улучшенными эксплуатационными свойствами. Поэтому получение композиционных гипсовых вяжущих, связано с приобретением нового комплекса свойств, которые нехарактерны исходным компонентам. Однако, введение минеральных компонентов и повышение прочностных свойств связано как с изменением сроков схватывания и подвижности вяжущего, так и с изменением характера структурообразования, что в гипсовых материалах играет большую роль [1–4].

В связи с этим целью данного исследования явилась возможность создания бесцементного композиционного гипсового вяжущего с использованием кремнеземного компонента (НКК).

В работе использовали полуводный гипс, в качестве кремнеземного компонента применялось наноструктурированное силикатное вяжущее которое представляет собой неорганическую полидисперсную, минеральную вяжущую систему, имеющую силикатный состав и обладающую высокой концентрацией активной твердой фазы, содержащей нанодисперсный компонент в количестве 5–10%. Данное вяжущее получали путем помола кварцевого песка по мокрому способу в шаровой мельнице [1].

В рамках данной работы проводились предварительные исследования с целью установления оптимальной области концентрации НКК в гипсовой системе, где выходными параметрами являлись механические характеристики. В ходе эксперимента при получении композиционного гипсового вяжущего, НКК вводился от 10 до 30% (по массе). Расход воды на 1 м<sup>3</sup> формовочной смеси

регулировался в зависимости от нормальной густоты гипсового теста. В качестве контрольного, выступал бездобавочный состав вяжущего. Водогипсовое отношение для контрольного образца составило 0,5, и было принято неизменным для экспериментальных составов с учетом влажности НКК [2].

В ходе выполнения эксперимента установлен наиболее рациональный способ получения КГВ, заключающийся в предварительное введение НКК в воду, для получения водной суспензии и дальнейшее введение гипса. Этот способ позволяет получить однородную смесь в течении 30 сек. перемешивания после введения гипсового вяжущего.

При получении экспериментальных составов следует учитывать тот факт, что НКК имеет вид минеральной суспензии с влажностью 14–20%, поэтому предложено введение НКК при пересчете на сухое вещество.

Для определения прочностных характеристик – предела прочности на сжатие и растяжение при изгибе, гипсовые композиты были подготовлены и испытаны согласно ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

Результаты испытаний физико-механических характеристик представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики композиционного гипсового вяжущего

№ п/п	Состав вяжущего, %		Расплав конуса, см	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности на сжатие, МПа через		Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа через		Водопоглощение, %
	НКК	ГВ			2 ч	24 ч*	2 ч	24 ч*	
1	-	100	18,0	1201,1	5,04	10,19	2,69	3,7	31,02
2	10	90	18,2	1263,2	4,91	11,88	2,62	4,0	28,07
3	15	85	18,6	1285,4	4,68	14,13	2,56	5,1	27,54
4	20	80	19,2	1307,5	4,42	13,97	2,49	5,0	27,07
5	25	75	18,3	1318,9	4,29	11,61	2,40	4,3	26,24
6	30	70	17,8	1330,2	4,05	9,46	2,34	3,5	24,97

\*

Изотермическая выдержка при температуре 35°С

При изучении влияния НКК на реологические характеристики вяжущей системы был оценён расплав конуса экспериментальных составов. При введении НКК в диапазоне до 25% наблюдается пластифицирующий эффект, увеличение концентрации до 30% приводит к снижению подвижности вяжущей системы.

Анализируя полученные результаты образцов, выдержанных в естественных условиях, в течение 2 часов после формовки, при

введении НКК в гипсовую систему и его увеличении наблюдается снижение прочностных показателей экспериментальных образцов.

В сравнении, после изотермической выдержки в течении суток, композиты с содержанием НКК от 15 до 20% дают наибольшие показатели прочности на сжатие и изгиб. Они превышают значения контрольного до 40%. При этом плотность у данных образцов с увеличением введения НКК повышается.

Так же, было оценено водопоглощение экспериментальных образцов, после изотермической выдержки, которые были погружены в воду в течение 4 ч. Из чего следует, что увеличение НКК также снижает водопоглощение.

В ходе эксперимента был выявлен оптимальный диапазон введения НКК в гипсовую систему который составил 15-20%.

Так же, в качестве подтверждения результатов эксперимента был проведен анализ характера пористости по кинетике водонасыщения и нанопористости (адсорбции азота).

Образцы оптимальных составов изготавливали по предложенному способу. Формовались кубы размером 7x7x7 после 28 суток хранения их высушивали до постоянной массы. Образцы взвешивали до и после проведения испытания. После чего погружали в воду и при выдерживании их до прекращения водонасыщения (в течении 4 –х часов). В конце испытания производили гидростатическое взвешивание образца.

После чего, по результатам испытаний экспериментальных образцов на водопоглощение, вычисляли значения водопоглощения, по которому определили объем суммарной пористости. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость пористости гипсовых систем от концентрации НКК

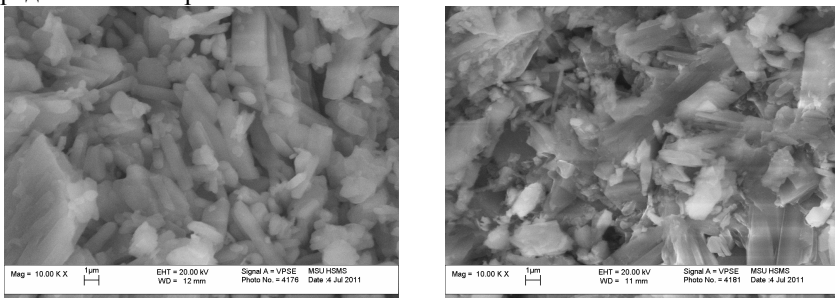
№ п/п	Состав вяжущего, %		Суммарная пористость см <sup>3</sup> /г	Объем пор с R меньше 94,6 нм, см <sup>3</sup> /г
	НКК	ГВ		
1	-	100	0,3065	0,02
2	15	85	0,2071	0,04
3	20	80	0,1798	0,04

При введении НКК в гипсовое вяжущее наблюдается снижение общего объема пор по сравнению с контрольным образцом. При этом размер нанопористости увеличивается что может быть обусловлено получением более плотной упаковки кристаллов, а также смещением



макро- и мезапористости в диапазон нанопористости, которая увеличивается в 2 раза по сравнению с контрольным образцом.

С целью изучения морфологии сделаны и изучены РЭМ-изображения контрольного и экспериментального состава которые представлены на рис. 1 .



**а** **б**  
Рисунок 1 – Микроструктура гипсовых вяжущих:  
а – контрольный образец; б – КГВ (15 % НКК)

Анализ микроструктуры, выполненный на сканирующем электронном микроскопе, показал, что структура контрольного состава отличается наличием более крупных кристаллов, с контактами срастания в отдельных точках. Это, в свою очередь, ведет к формированию крупных кристаллов с высокой дефектностью, и появлением крупных пор в структуре образца, что увеличивает общую пористость и снижает количество контактов между кристаллами (рис. 1, а).

При введении НКК в гипсовую систему изменяется размер и морфология кристаллов, что способствует формированию мелкокристаллической структуры, увеличению площади контактов между новообразованиями что, способствует повышению прочностных характеристик экспериментальных составов (рис. 1, б).

Кроме того, необходимо отметить, что по ранее проведенным исследованиям, установлено образование в системе КГВ нового третьего компонента, который является структурным буфером между гипсом и кварцем. Полученные на основе рентгенодифракционного и ИК-спектроскопического изучения КГВ результаты дают основание считать, что в процессе образования композита формируется сульфосиликатная фаза – гидроксиллестадит [3].

В ходе выполненной работы установлен характер воздействия концентрации НКК на физико-механические свойства композиционного гипсового вяжущего.

Результаты эксперимента показали, что оптимальное содержание НКК в системе составляет 15–20%. Такое количество НКК обеспечивает прирост прочности до 40%. Дальнейшее увеличение содержания НКК в системе нецелесообразно, так как происходит снижение прочностных свойств, что может быть объяснено перенасыщением системы твердой фазы и недостатком дисперсионной среды участвующей в процессе гидратации.

Экспериментально установлено, что введения НКК в оптимальном диапазоне оказывает пластифицирующий эффект, что в дальнейшем позволит снизить водогипсовое отношение. При этом, так же определена роль данного компонента как микронаполнителя, что подтверждено результатами исследования пористости структуры.

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова и гранта РФФИ «Разработка новых подходов к созданию нано- и микроструктурированных строительных композитов на основе природных и техногенных полифункциональных прото- и сингенетических наносистем».*

#### **Список литературы:**

1. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Dudweiler Landstr. 99, 661123 Saarbuckten, Germany, 2011. 170 с.
2. Войтович Е.В., Жерновский И.В., Череватова А.В. Новые виды гипсовых вяжущих с применением наномодификаторов // Сухие строительные смеси. 2011. № 3. С.18-19.
3. Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 9-12.
4. Фомина Е.В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алумосиликатной породы в составе композиционных вяжущих / Е.В. Фомина, М.И. Кожухова, Н.И. Кожухова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013 № 5. С. 31-35.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ УТИЛИЗАЦИИ КАРБОНАТКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА НИТРОАММОФΟΣКИ

**Черных Д.И., инженер,**  
**Чернышов Е.М., акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.,**  
**Потамошнева Н.Д., канд. техн. наук**  
*Воронежский государственный  
архитектурно-строительный университет*

При производстве сложного минерального удобрения – нитроаммофоски на ОАО «Россошанский комбинат минеральных удобрений» образуется побочный продукт – конверсионный карбонат кальция в количестве до 300.000 т. в год. При строительстве комбината планировалась переработка карбоната кальция в известь, но из-за того, что свойства отходов при проектировании завода извести не были учтены должным образом [1], их утилизация оказалась невозможной. В настоящее время большая часть карбонаткальциевых отходов подлежит захоронению в отвалах. Каждый год требуется отвод новых земель под хранилища отходов. При этом площадь пахотных земель уменьшается, ухудшается экологическая обстановка в районе. Руководством комбината неоднократно предпринимались и предпринимаются попытки по утилизации конверсионного карбоната кальция. Среди возможных направлений утилизации можно выделить: 1) производство извести и цемента; 2) микронаполнение бетонов и растворов; 3) производство сухих строительных смесей; 4) производство асфальтобетона; 5) производство пластмасс; 6) производство стекла. Необходимо отметить, что ни одно из этих направлений не способно обеспечить масштабную переработку карбонаткальциевых отходов. В этой связи было предложено изучить направление переработки карбонаткальциевых отходов для получения искусственного заполнителя с последующим использованием его для основания и дополнительных слоев основания при укладке дорожного полотна.

В ходе исследований коллективом авторов [2] окомкованием при гранулировании на тарельчатом грануляторе был получен искусственный заполнитель в форме гравия. Оптимальный состав сырьевой смеси, обеспечивающий получение искусственного заполнителя в форме гравия марки по дробимости не ниже 300, следующий: конверсионный карбонат кальция, измельченный до дисперсности  $S_{уд}=4000 \text{ см}^2/\text{г}$ , – 90% по массе, портландцемент ЦЕМ

142,5 Н – 10% по массе, вода – 9% сверх 100% сухих компонентов [3]. Условия подачи сырьевой смеси на тарельгранулятора и её увлажнения, при которых процесс гранулирования протекает устойчиво: 1) тип пульверизатора – среднedisперсный, 2) расстояние от головки пульверизатора до орошаемой сырьевой смеси на тарелигранулятора – 5 см, 3) расход сырьевой смеси – 50 г/мин, 4) расход влаги – 7,5 мл/мин, 5) место подачи влаги и сырьевой смеси – область интенсивного роста гранул [4]. Гранулирование осуществлялось на стендовом тарельчатом грануляторе (диаметр тарели  $D_m=1,5$  м, высота борта  $H_0=0,3$  м) в режиме переката при оптимальных параметрах работы: частота вращения тарели  $\omega=10$  об/мин, угол наклона  $\beta=52,5^\circ$ , масса гранул на тарели  $m=1,7$  кг [4]. Непосредственно после гранулирования наполнитель подвергался тепловлажностной обработке по режиму 1,5+5+1,5 ч с выдержкой при температуре  $t=85^\circ\text{C}$ . Возможны варианты получения искусственного наполнителя: с обработкой поверхности органоминеральным вяжущим, с последующей обсыпкой кварцевым песком или опудриванием (Рис.1)



Рисунок 1 – Варианты получения искусственного наполнителя в форме гравия. Слева направо – с обработкой поверхности битумом, с последующей обсыпкой кварцевым песком или опудриванием конверсионным карбонатом кальция

Свойства и предлагаемая номенклатура искусственного наполнителя в форме гравия представлены в таблице 1.

Технологическая схема получения искусственного наполнителя в форме гравия приведена на рис. 2.

Для производства искусственного заполнителя разработаны предпроектные решения технологической линии мощностью 120.000 м<sup>3</sup> заполнителя в год. Компонировка технологической линии отображена на рис. 3.

На основании полученных характеристик искусственный заполнитель в форме гравия может рекомендоваться к применению при возведении дорог IV-V категории (СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги»). Для грунтового основания с модулем упругости 40 МПа предложена конструкция дорожного полотна (Рис. 4).

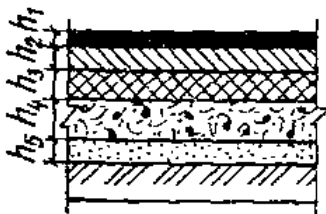


Рисунок 4 – Толщина конструктивных слоёв дорожного полотна

$h_1$  – мелкозернистый асфальтобетон Iи IIмарок,

$h_2$  – крупнозернистый асфальтобетон Iи IIмарок,

$h_3$  – черный гравий,

$h_4$  – смесь искусственного заполнителя в форме гравия и гранитных отсеков,  $h_5$  – песок среднезернистый

Использование гравия предусмотрено в варианте «черного гравия» в качестве капиллярно-прерывающего (дренирующего) слоя. Для получения чёрного гравия поверхность искусственного заполнителя в форме гравия обрабатывалась битумом, затем опудривалась конверсионным карбонатом кальция или кварцевым песком. Для снижения пустотности слоя гравия предложено применить смесь гравия фракций 5..10 и 15..20 и гранитные отсеки – отход дробления щебня Павловского ГОКа. Расход искусственного заполнителя в форме гравия для двухполосной (ширина полосы 3 м) дороги IV категории составляет 1800 м<sup>3</sup> на 1 км дорожного полотна или 1350 м<sup>3</sup> на 1 км для дороги V категории (ширина полосы 4,5 м). С учётом годовой производительности возможно возведение дорог IV категории общей протяженностью 66 км или дорог V категории протяжённостью 88 км.

Таблица 1 – Номенклатура полученного искусственного заполнителя и его свойства

Наименование материала	Наименование показателя								
	Насыпная плотность $\rho_n, \text{г/см}^3$	Плотность в зрне $\rho_m, \text{г/см}^3$	Механическая прочность, $V_{\text{из}}, \%$	Водопоглощение по массе, $W_{\text{в}}, \%$	Дробимость, $D_p, \%$	Удельная работа на разрушения $A_{\text{уд}}, \text{кДж/см}^2$	Дробимость после замачивания битумного покрытия Др, %	Удельная работа разрушения после замачивания битумного покрытия $A_{\text{уд}}, \text{кДж/см}^2$	Марка по дробности после замачивания битумного покрытия
Искусственный гравий марки по дробности 300 фракции 5.10	1,06	2,07	48,79	13,6	35,24	22,17	-	-	-
	Расход сырьевых компонентов на 1 м <sup>3</sup> заполнителя: Цемент 42,5 I Н – 95 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 840 кг								
Искусственный гравий марки по дробности 300 фракции 10.20	1,05	2,12	50,47	14,4	30,67	32,10	-	-	-
	Расход сырьевых компонентов на 1 м <sup>3</sup> заполнителя: Цемент 42,5 II Н – 95 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 840 кг								
Искусственный гравий марки по дробности 300 фракции 10.20, обработанный битумом	1,07	2,12	49,53	2,00	22,12	93,47	13,28	174,81	600
	Расход сырьевых компонентов на 1 м <sup>3</sup> заполнителя: Цемент 42,5 I Н – 95 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 840 кг; Битум БНД 60 90 – 120 кг								
Искусственный гравий марки по дробности 300 фракции 10.20, обработанный битумом, с обильной кварцевым песком	1,07	2,12	49,53	4,28	30,67	32,10	23,85	74,33	400
	Расход сырьевых компонентов на 1 м <sup>3</sup> заполнителя: Цемент 42,5 I Н – 95 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 840 кг; Битум БНД 60 90 – 120 кг; Кварцевый песок – 25 кг								
Искусственный гравий марки по дробности 300 фракции 10.20, обработанный битумом, сульфурный конверсионный карбонатом кальция	1,07	2,12	49,53	3,26	30,67	32,10	23,85	74,33	400
	Расход сырьевых компонентов на 1 м <sup>3</sup> заполнителя: Цемент 42,5 I Н – 95 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 840 кг; Битум БНД 60 90 – 120 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 25 кг								
Искусственный гравий марки по дробности 400 фракции 10.20	1,16	2,23	47,98	6,38	22,12	93,47	-	-	-
	Расход сырьевых компонентов на 1 м <sup>3</sup> заполнителя: Цемент 42,5 I Н – 210 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 845 кг;								
Искусственный гравий марки по дробности 400 фракции 10.20, обработанный битумом	1,16	2,23	47,98	2,00	22,12	93,47	13,28	174,81	600
	Расход сырьевых компонентов на 1 м <sup>3</sup> заполнителя: Цемент 42,5 I Н – 210 кг; Конверсионный карбонат кальция дисперсностью 4000 см <sup>2</sup> /г – 845 кг; Битум БНД 60 90 – 120 кг								

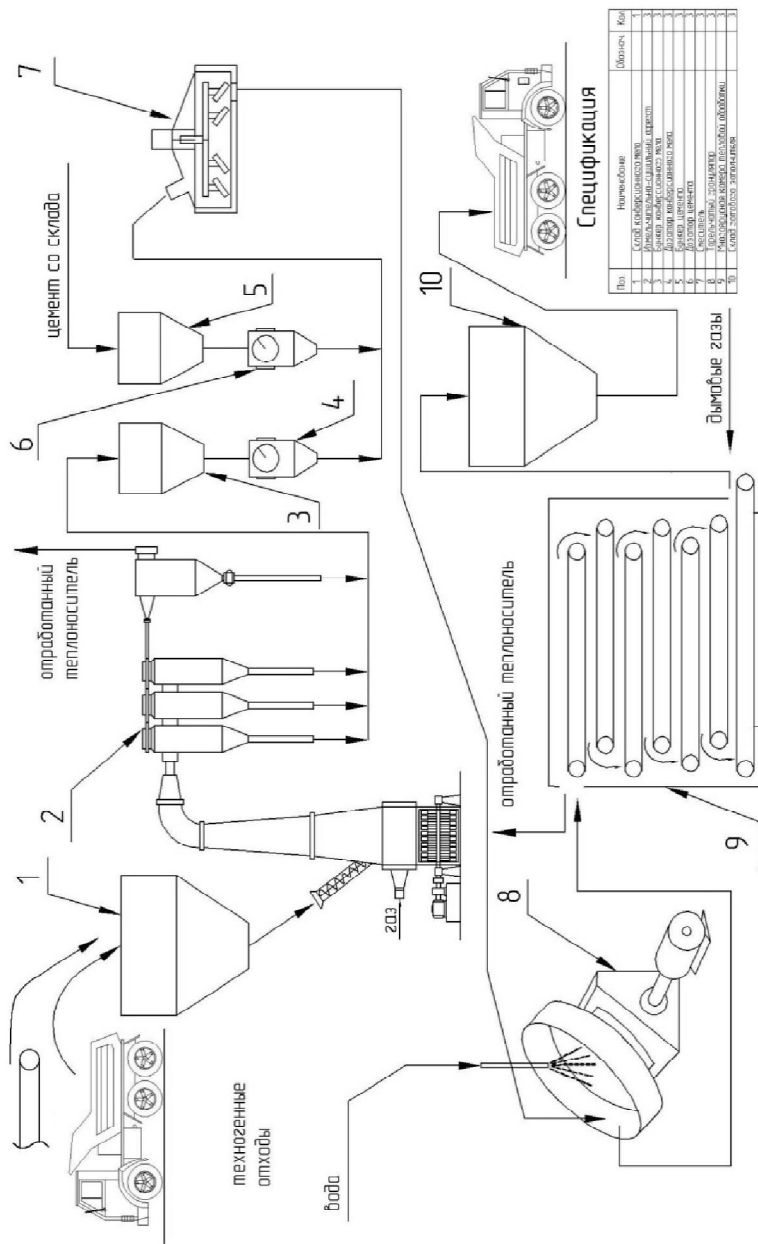


Рисунок 2 – Технологическая схема получения искусственного заполнителя гранулированием

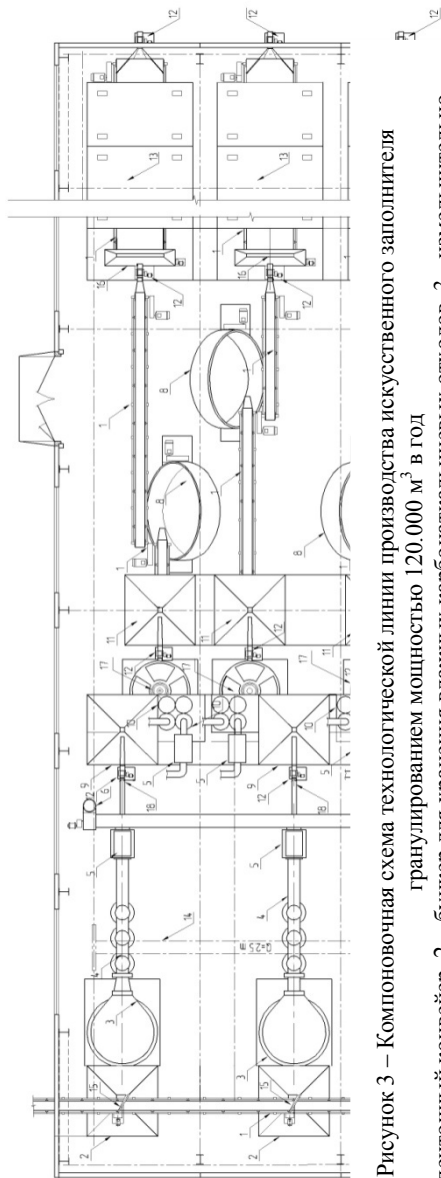


Рисунок 3 – Компонентная схема технологической линии производства искусственного заполнителя гранулированием мощностью 120.000 м<sup>3</sup> в год

- 1 – ленточный конвейер, 2 – бункер для хранения влажных карбонаткальциевых отходов, 3 - измельчительно-сушильный агрегат, 4 – циклон, 5 – рукавный фильтр, 6 – дымосос, 7 – тарельчатый питатель, 8 – тарельчатый гранулятор, 9 – бункер высушенных и измельченных карбонаткальциевых отходов, 10 – бункер цемента, 11 – бункер сырьевой смеси, 12 – ковшовый элеватор, 13 – многоярусная камера тепловой обработки, 14 – электроталь, 15 – плужковый сбрасыватель, 16 – слоевой подготовитель, 17 - смеситель, 18 – шнековый питатель, 19,20 – автоматические весовые дозаторы цемента и карбонаткальциевых отходов, 21 - гидродульверизатор.



Также на основе искусственного заполнителя в форме гравия фракции 10..20 марки по дробимости 300 были получены образцы тяжелого бетона М150 (В12,5), что позволяет прогнозировать использование искусственного заполнителя для производства тяжёлых бетонов классов по прочности В3,5-В12,5.

Выводы:

1. Разработаны варианты получения искусственного заполнителя в форме гравия фракции 5..10, 10..15, 15..20.
2. Запроектирована технологическая линия производства искусственного заполнителя мощностью 120.000 т в год.
3. Для принятой конструкции дорожного полотна возможно возведение дорог IV и V категории общей протяженностью 66 и 88 км соответственно.
4. Представленные решения по строительно-технологической утилизации карбонаткальциевых и гранитных отсеков могут способствовать улучшению экологической обстановки в регионе.

#### **Список литературы:**

1. Труфанов Д.В. Совершенствование технологии производства извести по мокрому способу из мела высокой чистоты // Строительные материалы. 2009. № 11. С. 92-94.
2. Черных Д.И., Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д. Получение искусственного гравия с использованием карбонаткальциевых отходов производства нитроаммофоски // Научные исследования наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии: Сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. Ч.2. Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. С. 304-307.
3. Черных Д.И., Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д. Композиты на основе утилизации техногенного (конверсионного) карбоната кальция. Модели и возможные механизмы структурообразования // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2014. № 3(35). С.38.
4. Черных Д.И., Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д. Оптимизация технологических режимов производства искусственного заполнителя на основе утилизации техногенного (конверсионного) карбоната кальция // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2014. № 3 (35). С. 51.

## **БЕСКЛИНКЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ПОРТЛАНДИТОВОЙ МАТРИЦЕЙ**

**Чернышов Е.М.,** акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.,  
**Потамошнев Н.Д.,** канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**Степанова М.П.,** канд. техн. наук, ст. преподаватель

*Воронежский государственный  
архитектурно-строительный университет*

Данная работа является развитием исследований в области разработки технологии строительных композитов, получаемых с применением известковых (портландитовых) систем твердения [1,2].

С 90-х годов мы занимаемся проблемой получения искусственного портландитового камня. Известно, что из-за «взрывного характера реакции гидратации извести» невозможно образование кристаллического сростка и получения монолита [3,4]. Для решения этой проблемы было предложено отделить процесс получения индивидуальных нано-и микроразмерных кристаллов портландита от процесса формирования из него сростка. Для этого синтезировали индивидуальные кристаллы портландита различного энергетического состояния, а затем путем их компактирования прессованием, реализуя механизм контактно-конденсационного твердения, получали монолит. Удалось получить камень с прочностью до 30 МПа непосредственно после формования. Портландитовый камень с такой прочностью рассматривается нами в качестве матрицы для структурообразования бесклинкерных строительных композитов. В сочетании данной матрицы с наполнителями карбонаткальциевого, силикатного, алюмосиликатного типа природного или техногенного происхождения по энергосберегающей технологии произведены строительные композиты с «мгновенной» прочностью не менее 10 МПа [5].

На сегодняшний день, опираясь на полученные знания, мы ставим задачи, решение которых позволит расширить возможности получения строительных композитов.

Одной из задач наших исследований является выбор и обоснование роли возможных разнообразных алюмосиликатных компонентов для формирования структуры композита.

При выборе наполнителей для получения композитов необходимо руководствоваться взаимосвязью «состав – структура – состояние». Применительно к проблеме создания строительных материалов это означает, что необходимы согласованные исследования как

механических, физических, химических характеристик сырьевых компонентов, так и механических, физико-химических процессов структурообразования строительных материалов.

Приведение областей варьирования химических составов силикатного и алюмосиликатного природного и техногенного сырья к тройной диаграмме  $Al_2O_3 - SiO_2 - CaO$  (рис.1) позволяет прогнозировать возможность и целесообразность их сочетания в композициях с матрицей из кристаллов портландита.

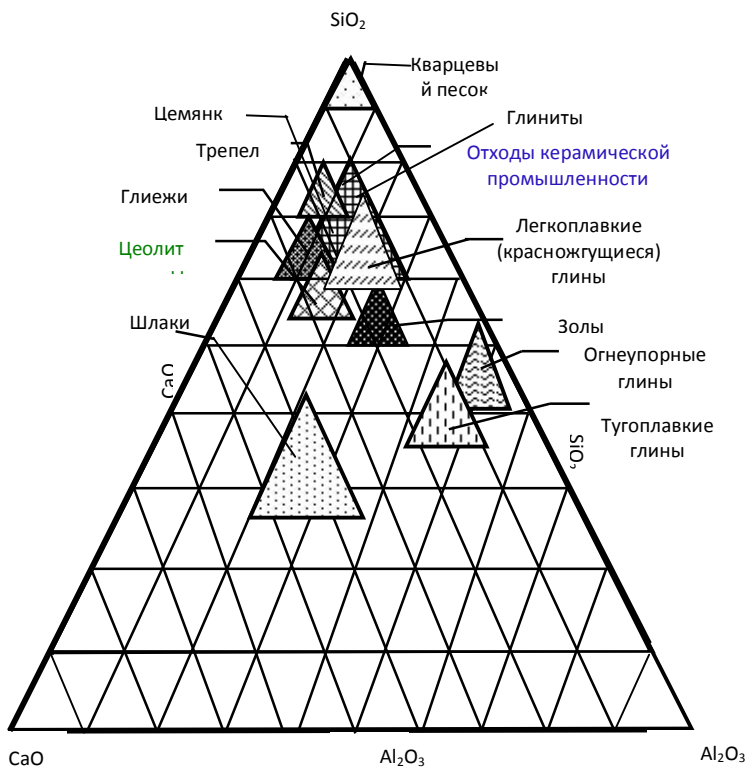


Рисунок 1 – Положение компонентов на диаграмме  $Al_2O_3 - SiO_2 - CaO$

Близость химических составов алюмосиликатных компонентов как природного, так и техногенного происхождения определяет

перспективность их применения и свидетельствует о возможности протекания окислительно-восстановительных, обменных реакций, реакций замещения в композите при сочетании данных алюмосиликатных наполнителей с матрицей из искусственного портландита.

Алюмосиликатным наполнителем для композита может явиться компонент, который образовался в результате техногенных воздействий или сформировался как отход или побочный продукт производства, а также компонент природного происхождения.

Природные силикаты слагают наружную оболочку земли – литосферу, которая состоит в основном из гранита – плотных сростков из полевых шпатов, слюды, пироксенов, а также из гранитоподобных, но более тяжелых силикатных пород – габбро, диабазы, базальты и др. Разнообразие пород объясняется процессами дифференциации магмы, ассимиляцией вмещающих пород и зависит от геологических условий образования [6].

В результате механического, химического и биохимического выветривания разлагаются главные породообразующие минералы земной коры. При этом под действием химических реакций, таких как гидролиз, окисление и восстановление, гидратация, происходит образование пород силикатного и алюмосиликатного состава. Составной частью осадочного слоя являются, в частности, глины, основа которых – силикатный минерал каолинит.

Некоторые из процессов образования камневидных пород проходят при температурах и давлениях близких к тем, которые на сегодняшний день применяют при изготовлении строительных материалов и, следовательно, могут моделироваться в строительной промышленности. Подобно тому, как в природе под действием различных процессов и в результате химических реакций происходит изменение и образование пород, в техногенных процессах похожие состояния минералов могут явиться результатом реализации технологии.

Особенности фазовых превращений и процессы, протекающие в глинистых породах при нагревании и приводящие к образованию высокотемпературных фаз, предопределяются особенностями их минералогического состава.

В процессе повышения температуры глинистая порода, которая содержит в своем основном составе каолинит (монтмориллонит), гидрослюда, галлуазит, кварц, карбонатные включения, железистые включения, щелочные оксиды и различные примеси органической природы, начинает претерпевать изменения состояния. При этом

состояние и свойства продукта есть результат разложения, взаимодействия, преобразования и перехода составных минералов глинистой породы.

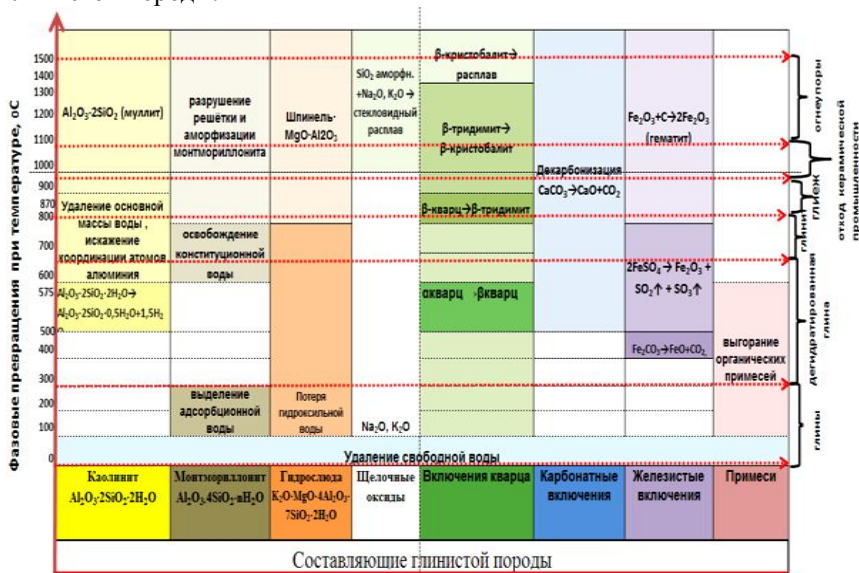


Рисунок 2 – Матрица фазовых превращений и состояний (генезис) глинистой породы при термической обработке в диапазоне 20÷1500°C

При анализе фазообразований глинистой породы в результате повышения температуры от 100°C до 1500°C, необходимо рассмотреть особенности фазовых преобразований кварца, алюминатных составляющих, превращений в железистых и других видах включений, а также совокупность процессов их возможного взаимодействия на каждом этапе формирования керамического черепка.

Если соотнести состояния глины как характеристики, представляющие интерес для взаимодействия с портландитовой матрицей, то можно убедиться что их различной реакционной способности.

Условия, определяющие химико-минералогические, физико-химические и технологические свойства алюмосиликатного сырья состоят как в возможности придания ему «особого» состояния, так и в соответствии минерального состава и в степени совершенства структуры минералов.

Вся эта цепочка представляет совокупность природных состояний, техногенных состояний как следствие природного или целевого воздействия на глинистую породу, для получения компонента специально для технологии портландито-алюмосиликатных систем.

Таким образом, анализ состояний фазообразования при температурной обработке керамических масс позволил раскрыть новые пути достижения реакционно-активного состояния алюмосиликатных наполнителей для соединения их с портландитовой матрицей.

#### **Список литературы:**

1. Чернышов Е.М., Степанова М.П., Потамошнев Н.Д. Портландито-алюмосиликатные контактно-конденсационные системы твердения и композиты на их основе: возможные механизмы структурообразования // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. Воронеж, 2012. № 3(27). С. 86-95.
2. Степанова М.П., Потамошнев Н.Д., Чернышов Е.М., Баженов Ю.М. Наноструктурные портландито-алюмосиликатные контактно-конденсационные системы твердения и композиты на их основе // Вестник МГСУ. Москва, 2013. № 2. С. 114-122.
3. Чернышов Е.М., Потамошнев Н.Д. Искусственный камень на основе кристаллизации портландита // Современные проблемы строительного материаловедения / Академические чтения РААСН: Материалы к Междунар. конф. Самара, 1995. С. 20-21.
4. Чернышов Е.М., Потамошнев Н.Д. Идентификация характеристик структуры искусственного портландитового камня контактно-конденсационного твердения // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Пятых акад. Чтений РААСН. Воронеж, 1999. С. 534-538.
5. Чернышов Е.М., Потамошнев Н.Д., Кукина О.Б. Портландитовые и портландито-карбонатные бесцементные системы твердения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2002. Ч.1. № 4. С. 12; Ч.2. № 5. С. 8-9.
6. Булах А.Г. Общая минералогия / Изд. второе, испр. и перераб.: Учебник. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1999. 356 с.

## **ВЛИЯНИЕ МЕХАНО- И ХЕМОАКТИВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ**

**Чижов Р.В., аспирант,  
Кожухова Н.И., канд. техн. наук,  
Бондарева Е.Н., аспирант,  
Калашникова В.А., магистрант,  
Данакин Д.Н., студент**

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

Одним из главных направлений решения проблемы энерго- и ресурсосбережения в области строительного материаловедения на сегодняшний день является разработка и применение малоцементных и бесцементных вяжущих и материалов на их основе с использованием альтернативных видов сырья природного и техногенного происхождения [1–3].

Согласно механизму структурообразования в геоплимерной системе, одним из определяющих параметров протехания химических процессов, а также, в формировании физико-механических характеристик геоплимерного камня является показатель рН среды на ранних стадиях твердения системы. Согласно ранее проведенным исследованиям [4–6], для инициации вяжущих свойств исходного сырья, а также, эффективного протекания процессов геополимеризации и последующего структурирования и твердения вяжущей системы необходимо обеспечение стабильной высокощелочной среды с рН показателем не менее 13 в течение длительного времени (в течение 12–24 часов).

В те же время, существует гипотеза, что при увеличении дисперсности алюмосиликатов путем механической активации увеличивается содержание аморфной составляющей, которая является активным компонентом процессе геополимеризации, благоприятно сказываясь на эксплуатационных свойствах конечного материала.

С целью изучения влияния отмеченных параметров на свойств геополимера были изучены алюмосиликатные компоненты природного и техногенного происхождения. В качестве природных алюмосиликата был использован перлит Мухор-Талинского месторождения. В качестве техногенных представителей алюмосиликатного сырья были взяты золы-уноса Новотроицкой ТЭС и

Троицкой ГРЭС. Химический и минеральный составы используемых алюмосиликатов представлены в табл. 1–3.

В качестве агентов, обеспечивающих щелочную среду для протекания геополимеризационных процессов были использованы: натрия гидроксид NaOH (ЧДА, ГОСТ 2263-79), известь-пушонка (ГОСТ 9179-77).

Таблица 1 – Химический состав исследуемых алюмосиликатных компонентов

Содержание, %											
Al-Si комп. онент *	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI
1	75,5	13,6	1,0	1,0	0,3	0,1	4,8	3,8	5,3	-	-
2	58,6	24,3	5,32	2,28	0,48	0,86	0,7	0,4	-	0,3	6,0
3	57,4	32,74	0,48	0,43	2,16	0,08	0,3	1,2	-	-	5,19

\*1 – Перлит; 2 – Зола-уноса Новотроицкой ТЭС; 3 – Зола-уноса Троицкой ГРЭС

Таблица 2 – Минеральный состав исследуемых техногенных алюмосиликатов

Алюмосиликатный компонент	Содержание минеральных составляющих, %					
	Кварц	Муллит	Анортит	Магнетит	Гематит	Стеклофаза
ЗУ Новотроицкой ТЭС	10,7	23,5	4,3	1	-	60,5
ЗУ Троицкой ГРЭС	6,4	13,5	-	7,2	4,5	68,4

Таблица 3 – Минеральный состав перлита Мухор-Талинского месторождения

Содержание компонентов (вес, %)		Размер кристаллитов, нм	
тридимит	кristобалит	тридимит	кristобалит
3	97	1,6	1

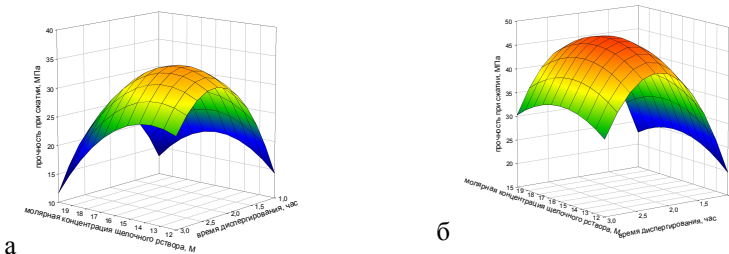
Согласно данным химического и минерального анализа используемые алюмосиликатные сырьевые материалы являются кислыми, в которых содержание оксида CaO не превышает 10 %

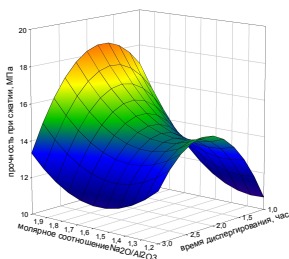


(согласно ГОСТ 25818-91 – для зол-уноса), а также в исследуемых системах присутствует высокое содержание реантеноаморфной составляющей: свыше 60% – для алюмосиликатов техногенного происхождения – зол-уноса; около 100% – для природного аналога – перлита.

На основании полученных результатов, а также с учетом данных ранее проведенных исследований [7,8] изучаемые алюмосиликатные компоненты по своим минерально-химическим характеристикам потенциально являются эффективным сырьем для производства геополлимерных вяжущих.

Одним из важных факторов формирования структурообразующих процессов в системе геополлимерного вяжущего является содержание щелочного активатора в формовочной системе. Опытным путем было выявлено, что оптимальное молярное соотношение основных оксидов вяжущей системы  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  для производства геополлимерного вяжущего на основе Новотроицкой и Троицкой зол-уноса, месторождения составляет 0,75. Для перлита Мухор-Галинского месторождения – 2. Данные оптимальные значения щелочного компонента в дальнейшем использовались в работе. Для определения влияния генетических особенностей исследуемого алюмосиликатного сырья, а также его химической и механической активации в рамках работы разработана матрица планирования эксперимента (рис.1).





в

Рисунок 1 – Номограммы зависимости предела прочности при сжатии от времени диспергирования материала и молярной концентрации щелочного раствора на основе а) Новотроицкой золы- уноса; б) Троицкой золы- уноса; в) перлита Мухор-Талинского месторождения

На основании данных матрицы планирования построены номограммы для исследуемых зол-уноса, а также перлита в системе «молярная концентрация щелочного раствора (молярное соотношение Na/Al) – время диспергации золы уноса – прочность при сжатии (рис. 1).

Анализ полученных экспериментальных данных позволил определить оптимальные составы вяжущих: время диспергирования – 2 часа; молярная концентрация щелочного раствора – 16М – для зол-уноса; 13М – для перлита. При данных условиях обеспечиваются наиболее высокие показатели прочности на сжатие для изучаемых вяжущих (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели предела прочности при сжатии образцов вяжущего в зависимости от состава

Алюмо-силикатный компонент	Оптимальное время диспергирования, ч	Молярная конц. щелочного раствора, М	Молярное соотношение $Na_2O/Al_2O_3$	Предел прочности при сжатии, МПа
Новотроицкая Зола-уноса	2	16	0,75	34,13
Троицкая зола уноса	2	16	0,75	47,3
Перлит Мухор-Талинского месторождения	2	13	2	18,4

На основании данных аналитического анализа (табл. 4) используемое в работе алюмосиликатное сырье по своим минерально-химическим характеристикам потенциально является эффективным для производства геопалимерных вяжущих.

Выявлены закономерности изменения свойств геопалимерного вяжущего в зависимости от степени химической и механической

активации алюмосиликатного сырья, получены математические зависимости и графические интерпретации этих зависимостей, которые позволяют дать количественную и качественную оценку влияния каждого фактора в отдельности, а также в их совокупности на изменение системы «состав – свойства» и могут быть использованы для производственных рецептур вяжущего и прогнозирования их физико-механических свойств.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках: государственного задания, Гранта Президента Российской Федерации МК 6170.2013.8 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова*

#### **Список литературы:**

1. Fomina E.V., Strokhova V.V., Kozukhova N.I. Application of natural aluminosilicates in autoclave cellular concrete // World Applied Sciences Journal. 2013. № 25 (1). P. 347-354.
2. Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строкова В.В. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья // Строительные материалы. 2014. № 1-2. С. 38-41.
3. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.А., Абросимова О.С. Эксплуатационные характеристики силикатного кирпича, изготовленного с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 11-14.
4. Davidovits J. Geopolymers and Geopolymeric Materials // Journal of Thermal Analysis. 1989. Vol. 35. № 2. P. 429-441.
5. Кожухова Н.И., Жерновский, И.В., Строкова, В.В. Оценка биопозитивности геопалимерных вяжущих на основе низкокальциевой золы-уноса // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 84-85.
6. Калашников В.И., Хвастунов Н.И., Мактридин А.А., Карташов В.Л. Новые геопалимерные материалы из горных пород, активированные малыми добавками шлаков и щелочей // Строительные материалы. 2006. № 6. С. 93-95.
7. Фомина Е.В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алюмосиликатной породы в составе композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 31-35.
8. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Sobolev K.G. The effect of Silica Polymerization in Fly Ash on the Strength of Geopolymer / N.I. Kozhukhova, I.V. Zhernovsky, K.G. Sobolev // XXII International Material Research Congress – MRS, Cancun. 2013.

## **САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН НА КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ КМА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОЛОВ**

**Шаповалов Н.Н.,  
Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.,  
Милькина А.С.**

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

Устройство полов имеет большое значение для дальнейшей эксплуатации помещений. Материалы для их изготовления должны выбираться с учетом характера воздействий, а также требований, выполнение которых обеспечит их эксплуатационную надежность и долговечность [13]. Полы из бетона применяются на тех этапах строительства, когда необходимо качественно выровнять основание и создать прочную, износостойкую поверхность или поверхность, способную самостоятельно воспринимать нагрузки (например, на грунт). Различают бетонные полы промышленного или гражданского значения, которые отличаются составом, методами изготовления и показателями прочности.

Для изготовления бетонных полов гражданского значения используется мелкозернистый бетон, как правило, представляющий из себя цементно-песчаную смесь [7,10]. Песок служит наполнителем бетонной смеси, в качестве связующего используется цемент, который схватывается при добавлении воды. Как и на промышленных объектах, к полам гражданского значения могут предъявляться повышенные требования по прочности и износостойкости, например, при устройстве бетонных полов на лестничных площадках, балконах жилых домов и т.п.

Применение отходов дробления щебня в составе бетонов позволяет повысить физико-механические свойства бетона и решить вопрос утилизации отсеков. Использование их в качестве наполнителей самоуплотняющихся бетонов позволит снизить затраты при производстве и повысить экономическую привлекательность данного материала. В настоящее время в развитии технологии мелкозернистого бетона актуальным является снижение расхода цемента и получение однородной структуры материала за счет применения композиционных вяжущих, на основе техногенного сырья [1-6].

Анализ месторождений КМА показал, что наиболее перспективным сырьем для получения самоуплотняющихся бетонов являются крупнотоннажные мелкозернистые отходы отсева дробления кварцитопесчанника [12,14,15].

Самоуплотняющийся бетон представляет собой материал, который способен уплотняться под действием собственного веса, полностью заполняя форму даже в густоармированных конструкциях [9]. Он находит все более широкое применение. Перспективным является его использование для производства сборного железобетона, устройства монолитных высокопрочных бесшовных полов, торкретбетонирования, реставрации и усиления конструкций. Достоинства самоуплотняющихся бетонов определяются многими показателями, но основными являются: высочайшая однородность бетона, уложенного в густоармированные конструкции и при сложных очертаниях опалубки, наименьшие трудовые затраты (как на стадии укладки консистенции, так и при финальной обработке поверхностей), отсутствие необходимости в дорогом вибрационном оборудовании, ускорение темпов бетонных работ и понижение шума на стройплощадке. Бетонная смесь для самоуплотняющегося бетона характеризуется низким водоцементным отношением (0,38...0,4), при этом достигая очень высокого показателя удобоукладываемости – до 70 см. Прочность получаемого материала составляет до 100 МПа.

Повышенная плотность материала, отсутствие в его структуре крупных пор и капилляров препятствуют проникновению агрессивной среды вглубь бетона, снижая риск развития процессов коррозии. Важной составной частью самоуплотняющихся бетонов является полимер нового поколения поликарбоксилат – высокоэффективный комплексный химический модификатор, появившийся в 1990-х годах. Принцип его работы заключается в том, что поликарбоксилаты адсорбируются на поверхности цементных зерен и сообщают им отрицательный заряд [11]. В результате этого цементные зерна взаимно отталкиваются и приводят в движение цементный раствор, а также минеральные составляющие. Чем длиннее цепи, которые создают молекулы суперпластификатора, тем интенсивнее это отталкивание. Эффективность пластификации становится более высокой, а ее действие продлевается при постоянном перемешивании. Длительность пластификационного эффекта поликарбоксилатов, как минимум, в 3–4 раза больше, чем при применении обычных суперпластификаторов, за счет большой длины молекул поликарбоксилатов. Состав самоуплотняющейся бетонной консистенции позволяет достигнуть

более высокого свойства поверхности конструкций. Высочайшее качество поверхности принципиально для всех конструкций, и в особенности для изготавливаемых из строительного бетона. Можно выделить четыре основные особенности касающиеся структуры самоуплотняющихся бетонных смесей:

- смеси должны быть малощебеночными и малопесчаными, что требует увеличения в их объеме содержания водно-дисперсной матрицы;

- в матрице должны практически отсутствовать капиллярные и воздушные поры, вследствие чего она становится очень плотной и прочной;

- в структуре цементной дисперсной матрицы должны обязательно содержаться микрочастицы дисперсной горной породы, и поэтому не только высокопрочные реакционно-порошковые, но и щебеночные бетоны будущего должны выпускаться с каменной мукой из беспористых и прочных горных пород; такие бетоны будут бетонами нового поколения;

- в структуре цементной матрицы должны обязательно содержаться наночастицы (верхний масштабный наноуровень) плотных пуццоланических веществ, быстро связывающих гидролизную известь портландцемента в тоберморит  $C_5S_6H_6$  или, в идеальном случае, более прочный ксонотлит  $C_4S_5H_4$ . В этой связи высокопрочные бетоны должны быть обязательно многокомпонентными, что позволяет реализовать в них научные положения реологии многокомпонентных дисперсных систем.

Цели и задачи работы. Повышение эффективности производства самоуплотняющегося мелкозернистого бетона за счет использованием композиционных вяжущих веществ и техногенного заполнителя. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование состава и свойств отсева дробления кварцитопесчанников КМА как минеральной добавки в композиционные вяжущее и заполнителя высококачественного мелкозернистого бетона;

- разработка составов, получение и исследование свойств композиционных вяжущих;

- подбор составов и изучение свойств самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов;

Свойства техногенных песков, бетонных смесей и бетонов на их основе зависят от многих факторов, обусловленных свойствами

исходных пород, способами их измельчения и методами обогащения полученного продукта [8]. Наиболее существенное влияние оказывают прочность, структура и состав породы. При сопоставлении свойств природных и техногенных песков обращают на себя внимание основные принципиальные различия этих материалов (табл. 1). Если первые являются в основном кварцевыми, с округлой формой зерен и гладкой поверхностью, то вторые имеют существенные различия по составу и свойствам исходных пород, форме зерен и шероховатости их поверхности.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики заполнителя

Наименование показателя	Отсев дробления КВП	Таволжанский песок
Модуль крупности	3,50	1,38
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1490	1448
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2710	2630
Пустотность, %	47,8	44,9
Водопоглощаемость, %	5,5	7

#### Список литературы:

1. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходькин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
2. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53-55.
3. Лесовик В.С., Володченко А.А. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 6-11.
4. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84-87.
5. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.
6. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77-83.
7. Баженов Ю.М. Новому веку новые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. № 2. С. 10-11.

8. Борисов А.А. О возможностях использования дисперсных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах // Строительные материалы. 2004. № 8. С. 36-37.
9. Рыбьев И.А. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1999. 376 с.
10. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2004. 236 с.
11. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. М.: Высшая школа, 2002. 701 с.
12. Черкашин Ю.Н., Лесовик Р.В., Сопин Д.М., Ластовецкий А.Н., Ракитченко К.С. Высококачественный бетон с использованием сырьевых ресурсов КМА // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 4. С. 21-24.
13. Казлитин С.А., Лесовик Р.В. К проблеме проектирования бетонов для устройства промышленных полов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 33-37.
14. Лесовик В.С., Муртазаев С.-А.Ю., Сайдумов М.С. Строительные композиты на основе отсевов дробления бетонного лома и горных пород. М.: МУП «Типография», 2012. 192 с.
15. Абрамовская И.Р., Айзенштадт А.М., Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Лесовик В.С., Казлитин С.А. Расчет энергоемкости горных пород как сырья для производства строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 10. С. 23-25.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Авзалов Э.Р., Морозов Н.М., Боровских И.В.</b> Применение наполнителей в мелкозернистом бетоне.....	3
<b>Агеева М.С., Лесовик Г.А., Михайлова О.Н., Усенко Н.А.</b> Повышение эффективности закладочных смесей на техногенном сырье.....	7
<b>Аксенова Л.Л., Лесовик Р.В., Бугаенко Л.В., Хлебенских С.Н., Воронов В.В.</b> Техногенное сырье как источник создания эффективных зеленных композитов .....	15
<b>Аксёнова Л.Л., Лесовик В.С., Ахмед Ахмед Анис Ахмед</b> Возможности использования сырьевых ресурсов Ирака в производстве композитов нового поколения.....	21
<b>Алфимова Н.И., Трунов П.В., Шадский Е.Е., Попов Д.Ю., Кузнецов В.А.</b> Влияние способов помола на реологию тонкомолотых многокомпонентных цементов .....	28
<b>Андросов П.Д., Замуруев О.В., Вовк А.И.</b> Возможности экономии тепловой энергии при использовании эффективных ускорителей твердения бетона.....	32
<b>Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М.</b> К вопросу о применении теории подобия процессов теплопереноса для оценки теплозащитных свойств ячеистых материалов.....	36
<b>Баскаков П.С., Строкова В.В., Гриненкова Л.А.</b> К проблеме защиты лакокрасочных материалов от микробиологического заражения .....	43
<b>Белогурова Т.П., Цырятьева А.В.</b> Исследование золоотходов на основе кавитированного доугольного топлива.....	49
<b>Боцман Л.Н., Гуляев А.И., Ищенко А.В.</b> Опыт применения добавок в дорожных бетонах .....	54
<b>Боцман Л.Н., Шарунов Е.Ю., Боцман А.Н.</b> Состояние и перспективы использования извести в строительстве.....	59
<b>Бурьянов А.Ф., Панченко А.И., Козлов Н.В., Соловьев В.Г., Пашкевич С.А.</b> К вопросу комплексной оценки эффективности применения гипсового вяжущего повышенной водостойкости.....	63
<b>Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М.</b> Поверхностная активность высокодисперсных кремнеземсодержащих компонентов композиционного вяжущего .....	69

<b>Вишневская Я.Ю., Калатоzi В.В., Шаповалов Н.Н., Шадский Е.Е.</b> Процессы структурообразования композиционных вяжущих в условиях тепловлажностной обработки .....	73
<b>Володченко А.Н.</b> Совершенствование технологии производства автоклавных силикатных материалов как фактор повышения комфортности проживания человека .....	79
<b>Володченко А.А., Загороднюк Л.Х., Прасолова Е.О., Елистраткин М.Ю., Воронов В.В., Глаголев Е.С.</b> Эффективные зеленые композиты с использованием неорганических пластификаторов .....	85
<b>Володченко А.А., Загороднюк Л.Х., Куприна А.А., Чхин Сованн, Кулик Н.В.</b> Повышение эксплуатационных характеристик композитов за счет использования нетрадиционного сырья.....	90
<b>Воронцов В.М., Шамшуров А.В., Воронцова В.В.</b> Энергоэффективный компонент вяжущего для силикатных автоклавных материалов .....	95
<b>Галеев А.Ф., Кашапов Р.Р., Морозов Н.М., Красникова Н.М.</b> Комплексный ускоритель твердения бетона .....	102
<b>Гасанов С.К., Клименко В.Г.</b> Влияние варьирования кислотно – щелочного баланса на физико – механические и минералогические свойства гипса .....	106
<b>Голиков Г.Г., Толмачева М.М.</b> Параметры оптимизации системы «человек-материал-среда обитания» .....	111
<b>Гончарова М.А., Каширская О.А., Ивашкин А.Н., Комаричев А.В.</b> Современные способы устройства высококачественных декоративных бетонных полов .....	117
<b>Гончарова М.А., Чернышов Е.М., Крохотин В.В.</b> Матрицы контактно-конденсационного твердения на основе конвертерных шлаков .....	122
<b>Горностаева Е.Ю., Лукутцова Н.П., Ривоненко Я.А., Суглобов А.В., Гавриков П.Ю.</b> Особенности влияния микронаполнителя на физико-технические свойства древесно-цементных композиций.....	127
<b>Дроздюк Т.А., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С.</b> Минераловатная теплоизоляция для промышленного оборудования .....	132
<b>Ерофеев В.Т., Петряков Д.Н., Хуторской С.В., Захарова Е.А., Вакаева С.С.</b> Биоцидные добавки на основе бром содержащих соединений для известковых композитов.....	137
<b>Ерусланова Э.В., Красникова Н.М.</b> Керамопенобетон из сухой смеси.....	140

<b>Жегера К.В., Логанина В.И.</b> Исследование влияния дисперсности модифицирующей добавки на структурообразование цементного композита .....	144
<b>Жерновский И.В., Строкова В.В.</b> Вариативность фазовой и размерной гетерогенности сырья как фактор управления структурообразованием композитов.....	148
<b>Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Попов Д.Ю., Глаголев Е.С.</b> Практика использования закона сродства структур для проектирования эффективных композитов .....	156
<b>Ильинская Г.Г., Лесовик Г.А., Черкесов М.Ф., Смальченко М.Ю.</b> Сухие строительные смеси для «зеленого» строительства.....	164
<b>Кара К.А., Шорстов Р.А., Сулейманов К.А., Воронов В.В.</b> Реология газобетонных смесей на композиционных вяжущих с использованием техногенных песков .....	169
<b>Клименко В.Г., Фишер Хэнс-Бертрам, Гасанов С.К.</b> Вяжущие системы на основе ангидрита и сульфата аммония.....	176
<b>Кобзев В.А., Нецвет Д.Д.</b> Особенности поризации ячеистобетонной смеси на основе различных типов вяжущего.....	182
<b>Кожухова М.И., Огурцова Ю.Н., Соболев К.Г., Лабузова М.В., Ищенко А.В.</b> Существующие подходы к созданию гидрофобной защиты строительных материалов и конструкций .....	187
<b>Коровяков В.Ф.</b> Теоретические положения получения водостойких долговечных гипсовых вяжущих.....	192
<b>Коротчаев Д.Н., Голубева Е.А.</b> Повышение эффективности структурообразования дорожных цементогрунтовых композиций ....	197
<b>Куприна А.А., Мосьпан А.В., Потапов В.В., Ряпухин Н.В.</b> Эффективная каменная кладка для сейсмоопасных районов.....	204
<b>Лаптев Г.А.</b> Металлобетоны перспективные материалы для изготовления изделий с улучшенной работоспособностью в условиях воздействия повышенных температур.....	208
<b>Лаптев Г.А.</b> Заводская технология изготовления металлобетонов ....	214
<b>Лебедев М.С., Шиман А.А., Коррева Авежо Д.В., Потапова И.Ю., Марков А.Ю.</b> Некоторые вопросы применения зол-уноса тепловых электростанций в дорожных асфальтобетонах.....	219
<b>Лесовик В.С.</b> Геоника (геомиметика) и проблемы строительного материаловедения.....	224
<b>Лесовик В.С., Гридчина А.А.</b> К вопросу о долговечности монолитных железобетонных конструкций .....	230
<b>Лесовик В.С., Попов Д.Ю., Danilo Nicke.</b> Изучение основных моментов в создании текстиль-бетона.....	237

<b>Лесовик В.С., Чулкова И.Л., Загороднюк Л.Х.</b> Практическая реализация закона сродства структур при реставрации исторических объектов .....	242
<b>Лхасаранов С.А., Урханова Л.А., Розина В.Е., Буянтуев С.Л., Хардаев П.К., Потапов В.В.</b> Оптимизация состава фиброцемента с нанодисперсной добавкой.....	247
<b>Мартынов А.В.</b> Исследование стойкости асфальтобетонов в условиях воздействия морской воды .....	253
<b>Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Махова Т.А., Богусевич В.А.</b> Повышение морозостойкости бетонных композитов.....	259
<b>Нелюбова В.В., Никулина М.В.</b> Разработка способа модификации пигментов .....	264
<b>Нелюбова В.В., Тумашова М.Ю.</b> К вопросу о модифицировании строительных композитов биоцидными компонентами .....	267
<b>Нелюбова В.В., Бондаренко А.И., Бондаренко Д.О., Вешнякова Л.А.</b> Современные тенденции получения и применения композиционных вяжущих .....	269
<b>Огурцова Ю.Н.</b> К вопросу гидрофобизации мелкозернистых бетонов для малых архитектурных форм .....	274
<b>Павленко Н.В., Боцман Л.Н., Хотомченко О.В., Сивальнева М.Н.</b> Современный уровень развития ячеистых бетонов .....	279
<b>Пальшина Ю.В., Фомина Е.В.</b> Повышение качества автоклавных материалов с применением алюмосиликатных пород.....	283
<b>Плехова С.И., Кругляков Д.С., Сулейманов К.А.</b> Теплоизоляционные композиты с использованием вспученного перлитового песка и отходов его производства .....	288
<b>Подгорный И.И.</b> Перспективы использования сырья алюмосиликатного состава как модификатора автоклавных материалов.....	292
<b>Прасолова Е.О., Володченко А.А., Попов М.А., Гинзбург А.В.</b> Анализ сырья для получения наномодификатора .....	297
<b>Пучка О.В., Вайсера С.С., Калмыкова Е.В.</b> Эксплуатационные характеристики теплоизоляционного пеностекла в зависимости от параметров сырья .....	302
<b>Пыкин А.А., Лукутцова Н.П., Александрова М.Н., Аверьяненко Ю.А., Пыкина Ю.С.</b> Оптимизация составов органоминеральных добавок на основе метакаолина для цементных бетонов .....	307
<b>Пышкина И.С., Логанина В.И.</b> Синтез добавки на основе гидросиликатов кальция для сухих строительных смесей .....	312

<b>Рахимбаев Ш.М., Половнева А.В.</b> Энергоэффективные режимы тепловлажностной обработки изделий из бетона и железобетона.....	315
<b>Рахимбаев Ш.М., Рахимбаев И.Ш.</b> Термодинамический анализ гидратации гипсовых вяжущих.....	320
<b>Сапелин А.Н., Бессонов И.В., Елистраткин М.Ю.</b> Конструкционно-теплоизоляционные материалы на основе алюмосиликатных микросфер.....	325
<b>Сивальнева М.Н.</b> Современные способы повышения эффективности неавтоклавных пенобетонов.....	331
<b>Сопин Д.М., Лесовик Р.В., Ильинская Г.Г., Богусевич В.А., Григоров П.С.</b> Мелкозернистый бетон для монолитного строительства при отрицательных температурах на основе композиционных вяжущих и отходов горнорудного производства ...	336
<b>Строкова В.В., Евстратов А.А., Огурцова Ю.Н., Кожухова М.И., Бондарева Е.Н.</b> Перспективы производства и применения самоочищающихся строительных материалов в России.....	342
<b>Сулейманова Л.А., Гридчин А.М., Малюкова М.В., Морозова Т.В.</b> Повышение архитектурной выразительности плит бетонных тротуарных.....	347
<b>Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кондрашев К.Р., Шорстов Р.А.</b> Энергоэффективные пористые композиты для зеленого строительства.....	354
<b>Сумин А.В., Бухало А.Б., Дмитриев М.Ю.</b> Некоторые особенности композиционного вяжущего с использованием наноструктурированного модификатора.....	360
<b>Толстой А.Д.</b> Штампованные высокопрочные порошковые декоративные бетоны.....	364
<b>Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А., Гинзбург А.В.</b> Совершенствование структуры высокопрочных материалов для декоративных целей.....	369
<b>Тюкавкина В.В., Касиков А.Г., Гуревич Б.И., Майорова Е.А.</b> Композиционные магниезиальные вяжущие с добавками кремнийсодержащих продуктов переработки отвалных шлаков медно-никелевого производства.....	375
<b>Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Миняева А.А., Семенов А.П., Смирнягина Н.Н.</b> Определение эффективного способа распределения углеродного наномодификатора в цементной матрице для получения бетона с улучшенными характеристиками ...	380

<b>Урханова Л.А., Салдаруева Н.С., Архинчиева Н.В., Кулик Н.В.</b> Исследование кинетики твердения и свойств цементного камня с микродобавками кремнезема .....	385
<b>Урханова Л.А., Шестаков Н.И., Буянтуев С.Л., Семенов А.П., Смирнягина Н.Н.</b> Улучшение свойств битума и асфальтобетона введением углеродного наномодификатора .....	391
<b>Усенко М.В., Захаров С.А., Челядник М.С.</b> К вопросу о применении керамзитобетона в строительстве .....	399
<b>Федоров В.И.</b> Дисперсно-армированный пенобетон с применением целлюлозных фибр .....	403
<b>Фомина Е.В., Сулим К.П., Фомин А.Е.</b> Пути совершенствования свойств автоклавных материалов .....	406
<b>Цыдыпова А.Ц., Урханова Л.А.</b> Конструкционно- теплоизоляционный полистиролбетон с адгезионными добавками ...	410
<b>Череватова А.В., Фишер Х.Б., Войтович Е.В., Алехин Д.А., Сивушова С.А.</b> Применение минерального компонента в бесцементном композиционном гипсовом вяжущем .....	418
<b>Черных Д.И., Чернышов Е.М., Потамошнев Н.Д.</b> Технологические решения строительной утилизации карбонаткальциевых отходов производства нитроаммофоски .....	423
<b>Чернышов Е.М., Потамошнев Н.Д., Степанова М.П.</b> Бесклинкерные композиты с портландитовой матрицей .....	430
<b>Чижов Р.В., Кожухова Н.И., Бондарева Е.Н., Калашникова В.А., Данакин Д.Н.</b> Влияние механо- и хемоактивационных процессов на эксплуатационные характеристики геополимерных вяжущих .....	435
<b>Шаповалов Н.Н., Лесовик В.С., Милькина А.С.</b> Самоуплотняющийся бетон на композиционном вяжущем с использованием сырьевых ресурсов КМА для устройства полов .....	440