

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/article_5cb1e65d077f65.54773394

¹Нецвет Д.Д., ^{1,*}Нелубова В.В., ¹Строкова В.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: nelubova@list.ru, nelubova.vv@bstu.ru

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ НЕАВТОКЛАВНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ

Аннотация. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность повышения эффективности пенобетонных неавтоклавного твердения за счет использования комплексного вяжущего с минеральными компонентами различного состава. Доказана возможность применения безводного сульфата кальция как модифицирующего компонента смеси, обеспечивающего ускорение схватывания смеси, что позволит «фиксировать» структуру ячеистобетонной смеси с минимальными усадочными деформациями. Показано, что совместное использование ангидрита и минеральной добавки в виде кварцевой суспензии, полученной постадийным измельчением песка в водной среде, приводит к разжижению смеси, что связано со снижением доли структуроформирующего компонента. С технологической точки зрения это позволит получать материалы с рациональной поровой структурой за счет оптимизации процессов поризации. Композиционное вяжущее с минеральными добавками отличается повышенной по сравнению с цементом прочностью при сниженной доле клинкерной составляющей. Все это в совокупности обеспечит минимизацию усадочных деформаций и повышение качества ячеистого бетона.

Ключевые слова: модификатор, ангидрит, цемент, композиционное вяжущее, физико-механические характеристики.

Введение. Неавтоклавные ячеистые бетоны, несмотря на значительный ряд положительных сторон, имеют недостатки, нивелирование и устранение которых позволит расширить спектр их применения и повысить качество при снижении затрат на производство. К числу основных недостатков данных материалов следует отнести низкую стабильность пенобетонных смесей, усадочные деформации и низкие прочностные показатели, а также высокую зависимость от соблюдения технологических режимов производства, качества сырья и подготовки материалов. При несоблюдении технологии или несоответствующем качестве сырьевых материалов возможно нарушение структуры и снижение прочности готового материала: вместо равномерно распределенных замкнутых пор в материале наблюдается «рваная» пористость и нарушение целостности матрицы композита.

Повышения качества ячеистых бетонов неавтоклавного твердения можно добиться оптимизацией порового пространства, а также упрочнением цементирующей матрицы композита. В разное время для решения обозначенных задач было предложено использование стабилизаторов пены и структуры ячеистобетонной смеси [1–4], микроармирующих компонентов для снижения усадочных деформаций [5–8], комплексной поризации [9–11], применение пуццолановых добавок и композиционных вяжущих и многие другие решения.

Одним из перспективных способов комплексной модификации ячеистобетонной смеси, обеспечивающих улучшение физико-механических и эксплуатационных характеристик готовых изделий, является использование разноразмерных химически активных минеральных компонентов. Их введение обеспечивает физическую стабильность пенной системы за счет «бронирования» (закупорки) каналов Плато-Гиббса, и химическую – за счет кристаллизации дополнительного цементирующего вещества как коагулянта естественных пор и пустот межпорового пространства бетона благодаря взаимодействию цемента и активного минерального компонента.

Для решения данных задач в настоящей работе предложено использование в качестве компонентов композиционного вяжущего: минерального модификатора на основе кварцевого песка, эффективность которого в бетонах различной структуры и способа твердения обоснована в ранее выполненных работах [12–16], а также безводного сульфата кальция – ангидрита. Это позволит получить материалы с улучшенными свойствами (повышенной прочностью, пониженной усадкой и др.) при сниженном расходе дорогостоящего портландцемента.

Методология. В качестве сырьевых компонентов использовали цемент ЦЕМ I 42.5Н производства ЗАО «Белгородский цемент», минеральный модификатор из кварцевого песка Ко-

рочанского месторождения, термический ангидрит, активаторы твердения ангидрита Na_2SO_4 и K_2SO_4 .

Минеральный модификатор (ММ) из кварцевого песка получали постадийным помолом сырья в шаровой мельнице по технологии высококонцентрированных вяжущих суспензий [17–20]. Получение осуществлялось на базе опытно-промышленного цеха Наноструктурированных композиционных материалов БГТУ им. В.Г. Шухова. Синтез осуществлялся в течение 11 часов в мельнице объемом 500 л с дозагрузкой материала через каждые 3 часа помола.

Ангидрит получали искусственным обжигом гипса строительного марки Г-5 Б II производства ОАО «Хабезский гипсовый завод». Обжиг гипса проводился в универсальной лабораторной электропечи SNOL 15/1200 при темпера-

туре 600 °С в течение 4 часов. После обжига полученный ангидрит охлаждался в муфельной печи и пересыпался в плотно закрывающиеся герметичные пластмассовые контейнеры для предотвращения реакции с влагой из воздуха.

В работе изучали влияние компонентного состава вяжущей системы на ее свойства (нормальная густота, сроки схватывания теста, калориметрия в начальные сроки гидратации, реология теста, кинетика набора прочности), анализируя композиции минеральных составляющих (табл. 1). Часть исследований выполнены при нормальной густоте цементного теста, часть – с повышенным водотвердым отношением для обеспечения заданной методиками эксперимента подвижности.

Таблица 1

Исследуемые составы вяжущих с минеральными компонентами

№ состава	Компоненты				
	Цемент	ММ ¹	Ангидрит ²	Na_2SO_4 ³	K_2SO_4 ³
1	100 %	–	–	–	–
2	100 %	–	5 %	–	–
3	100 %	–	–	1 %	–
4	100 %	–	–	–	1 %
5	100 %	–	5 %	1 %	–
6	100 %	–	5 %	–	1 %
7	80 %	20 %	–	–	–
8	80 %	20 %	–	1 %	–
9	80 %	20 %	–	–	1 %
10	80 %	20 %	5 %	–	–
11	80 %	20 %	5 %	1 %	–
12	80 %	20 %	5 %	–	1 %

Примечание:

1 – по сухому веществу; 2 – от массы цемента; 3 – от массы ангидрита

Предварительными исследованиями обосновано, что рациональная концентрация ангидрита в качестве добавки к цементу составляет 5 % от его массы. Сульфатные активаторы вводились в количестве 1 % от массы ангидрита.

Нормальная густота и сроки схватывания составов вяжущего определялись согласно ГОСТ 30744–2001. Прочность составов оценивали исследованием образцов-балок размерами 4×4×16 см в соответствии с ГОСТ 30744–2001.

Реологические характеристики вяжущих исследовались при помощи ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1, в основе работы которого лежит цилиндрическая измерительная система. Опыт проводился с использованием регулируемого напряжения сдвига (CS). Съемку проводили при постоянном водотвердом отношении, равном 0,4, что приближено к технологическим параметрам производства ячеистых бетонов.

Оценка характеристик схватывания гидравлических связующих строительных материалов проводилась с помощью – дифференциального калориметра теплового потока ToniCAL модель 7338, производства Toni Technik Baustoffprüfsysteme GmbH Gustav-Meyer-Allee (Германия).

Основная часть. Согласно полученным данным, введение минеральных добавок к цементному тесту при постоянной нормальной густоте приводит к росту водотвердого отношения смесей (табл. 2). Это означает, что введение ММ приводит к увеличению количества воды, которое требуется для достижения требуемой консистенции, что объясняется его высокой удельной поверхностью и максимальным содержанием твердой фазы при максимальном разжижении.

Известно, что сульфаты калия и натрия применяются в промышленности в качестве

ускорителей твердения цемента за счет интенсификации растворимости соединений и коллоидации теста в присутствии добавок. Согласно полученным результатам, для цемента введение активаторов Na_2SO_4 и K_2SO_4 сокращает сроки схватывания (табл. 2, составы 3, 4) на 10 и 40 мин соответственно. Незначительное сокращение сроков схватывания в присутствии добавок обусловлено невысокой их концентрацией по отношению к цементу: 0,05 % при требуемой дозировке 1–3 %.

Таблица 2

**Свойства цементного теста
в зависимости от состава**

№ состава (по табл. 1)	В/Т	Сроки схватывания	
		начало, мин	конец, мин
1	0,27	210	275
2	0,28	90	180
3	0,28	200	265
4	0,28	170	240
5	0,28	90	180
6	0,28	85	165
7	0,32	210	280
8	0,32	120	215
9	0,32	105	170
10	0,32	130	230
11	0,31	150	230
12	0,31	145	210

Введение ангидрита приводит к резкому сокращению сроков схватывания (табл. 2, состав 2): в 2,3 раза для начала и 1,5 раза для конца схватывания. Столь значительное ускорение начального твердения системы, вероятно, обусловлено активацией кристаллизации ангидрита в присутствии щелочного компонента цемента (свободного гидроксида кальция), формируемого при его гидратации. Совместное использование ангидрита и активаторов практически не меняет сроки схватывания по сравнению с составом с ангидритом без активатора (табл. 2, составы 5, 6).

Введение минерального кварцевого модификатора не меняет характер зависимости: составы с активаторами схватываются быстрее (в 1,75 и в 2 раза при использовании Na_2SO_4 и K_2SO_4 соответственно) по сравнению с тестом только с ММ (табл. 2, составы 8, 9). Добавка ангидрита к смеси цемента и модификатора (табл. 2, состав 10) также обеспечивает сокращение начала и конца схватывания, однако, интенсификация первичного структурообразования не столь значительна по сравнению с составом только с ангидритом (табл. 2, состав 2): начало схватывания увеличивается на 45 % по сравнению с составом с ангидритом без ММ (состав 2) и сокращается почти на 40 % по сравнению с чистым цементом (состав 1). Аналогичные дан-

ные получены на составах с сульфатными добавками. Увеличение времени начального твердения по сравнению с составами с ангидритом в смесях с ММ обусловлено взаимодействием образуемого гидроксида кальция с коллоидным высокоактивным веществом модификатора, в результате в системе формируется недостаток щелочного компонента как активатора твердения ангидрита.

Стоит отметить, что сокращение сроков схватывания цементного теста при использовании минеральных компонентов позволит дополнительно стабилизировать ячеистобетонную смесь, что снизит возможность усадки массивов при твердении матрицы, а также сократит длительность технологического цикла получения ячеистых бетонов.

Анализ кинетики тепловыделения при гидратации цементного теста различного состава свидетельствует о незначительном влиянии добавок на происходящие процессы в начальные сроки структурообразования (рис. 1). Характер тепловыделения в течение первых 36 часов твердения цементного камня практически не отличается. Отмечается резкий «всплеск» энергии в течение 5 минут после затворения системы водой, что связано с выделением теплоты при смачивании частиц цемента при адсорбции воды на их поверхности и формированием первичных гидратных связей. Такие связи образуют подобие оболочки вокруг минеральных составляющих, что препятствует дальнейшей гидратации частиц вяжущего и обуславливает наступление индукционного периода, который длится следующие 7–8 часов. В последующее время отмечается возрастание интенсивности тепловыделения после 8–9 часов гидратации и наступление периода так называемой ускоренной гидратации, что связано с гидролизом алита (C_3A) с выделением ионов кальция в раствор и последующим образованием гидратных фаз различного состава.

Несмотря на подобие характера тепловыделения во времени цементного теста различного состава, следует отметить некоторые различия в индукционный период гидратации, в основном, трехкальциевого силиката.

Так, введение сульфатных активаторов не изменяет количество тепла при экзотермической реакции алита, однако, отмечается сдвиг во времени (ускорение) пика его взаимодействия с водой по сравнению с чистым цементом: начало реакции происходит на 25 минут раньше для K_2SO_4 и на 45 минут для Na_2SO_4 . В смесях, содержащих ангидрит и активаторы, интенсификация гидратации более значительна: начало гидролиза алита наступает на 2 часа раньше в

случае K_2SO_4 и на 1,5 часа в случае Na_2SO_4 , что хорошо коррелирует с данными по срокам схва-

тывания данных составов (табл. 2).

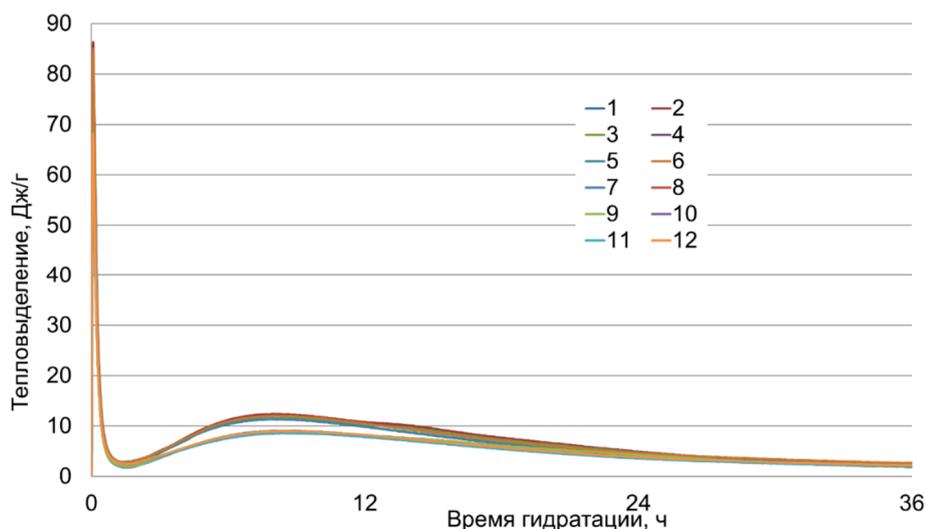


Рис. 1. Кинетика тепловыделения вяжущих в зависимости от состава:

1 – цемент; 2 – цемент+ Na_2SO_4 ; 3 – цемент+ K_2SO_4 ; 4 – цемент+ангидрит;
5 – цемент+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 6 – цемент+ангидрит+ K_2SO_4 ; 7 – цемент+ММ;
8 – цемент+ММ+ Na_2SO_4 ; 9 – цемент+ММ+ K_2SO_4 ; 10 – цемент+ММ+ангидрит;
11 – цемент+ММ+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 12 – цемент+ММ+ангидрит+ K_2SO_4

Таблица 3

Суммарное тепловыделение смесей при гидратации

№ состава (по табл. 1)	Q(t), Дж/г
1	300,55
2	277,72
3	295,89
4	305,14
5	284,61
6	302,59
7	243,96
8	240,03
9	244,51
10	239,45
11	229,54
12	246,03

Добавка минерального модификатор к смесям приводит к снижению тепловыделения при интенсификации во времени гидролиза трехкальциевого силиката на 45–60 минут (рис. 1). Эти данные подтверждаются суммарным количеством теплоты, выделившейся в процессе гидратации (табл. 3) в среднем на 20–25 % для составов, содержащих ММ, что обусловлено не влиянием добавок на гидратационные процессы, а сокращением доли клинкерной составляющей в смесях при ее замене на кварцевый модификатор. Тем не менее, обозначенное явление является преимуществом, так как высокое значение

теплоты гидратации для бетона является негативным фактором ввиду высокого риска трещинообразования в результате значительного градиента температур. Снижение тепловыделения позволяет повысить трещиностойкость и обеспечить получение бездефектных ячеистых бетонов.

К числу важнейших факторов, обеспечивающих качество готовых ячеистых изделий, относится реология смеси: слишком подвижная смесь будет приводить к оседанию пенобетонной смеси; излишне жесткая смесь не обеспечит должной поризации системы и приведет к формированию более плотной матрицы.

Реологические параметры описываются начальной и конечной вязкостью, а также типом течения. Формирование первичной пространственной коагуляционной структуры, численно выражаемой значением начальной вязкости, обусловлено двумя процессами: распределением твердой фазы в объеме жидкой дисперсионной среды и первичной гидратацией цемента с формированием гелевидных фаз. Очевидно, что «разбавление» системы менее реакционно активным веществом приведет к изменению реологического поведения теста с его использованием.

Для всех составов характерен тиксотропный тип течения с плавным снижением вязкости при увеличении градиента скорости сдвига (рис. 2). При этом значения конечной вязкости для всех составов практически одинаковые.

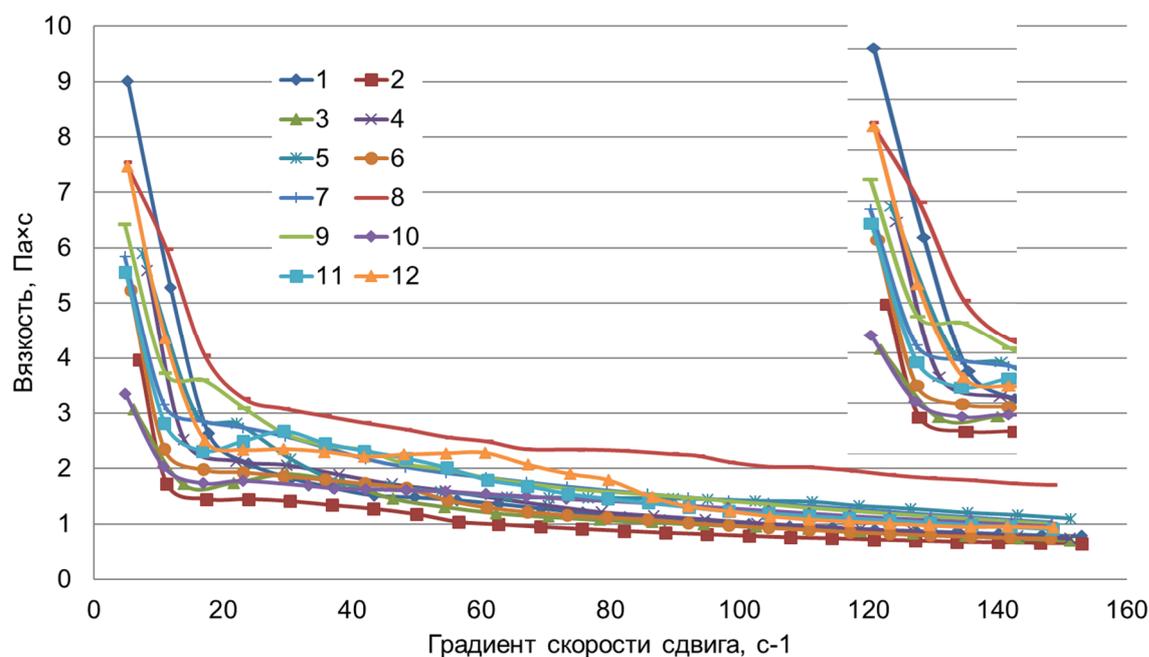


Рис. 2. Реограммы теста в зависимости от состава:

- 1 – цемент; 2 – цемент+ Na_2SO_4 ; 3 – цемент+ K_2SO_4 ; 4 – цемент+ангидрит;
 5 – цемент+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 6 – цемент+ангидрит+ K_2SO_4 ; 7 – цемент+ММ;
 8 – цемент+ММ+ Na_2SO_4 ; 9 – цемент+ММ+ K_2SO_4 ; 10 – цемент+ММ+ангидрит;
 11 – цемент+ММ+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 12 – цемент+ММ+ангидрит+ K_2SO_4

Добавка активаторов к цементному тесту приводит к снижению начальной вязкости системы: в 3 и 2,5 раза при использовании K_2SO_4 и Na_2SO_4 соответственно (рис. 2, состав 2 и 3), что обусловлено разжижающим действием сульфатных соединений натрия и калия.

Введение в указанную систему ангидрита несколько повышает начальную вязкость (на 30 %) по сравнению со смесями, содержащими только активаторы (рис. 2, составы 4–6), тем не менее, вязкость теста ниже, чем «чистого» цемента. Это обусловлено с одной стороны добавкой дисперсного компонента, физически несколько загущающего систему, а с другой – возможными процессами коллоидации минеральных компонентов в присутствии сульфатов натрия или калия.

Добавка минерального модификатора в систему приводит к незначительному загущению системы по сравнению со смесью только с сульфатными добавками и с тестом с ангидритом. При этом во всех составах начальная вязкость суспензий выше (с разницей в пределах 10 %) при использовании в качестве активатора сульфата натрия.

Стоит отметить снижение начальной вязкости системы при введении модификатора по сравнению с исходным цементом (рис. 2, составы 7–9). При этом вязкость изменяется не аддитивно. При замене 20 % цемента на ММ начальная вязкость снижается на 30 % (рис. 2, состав 7). Введение дополнительно 5 % ангидрита

снижает вязкость на 62 % по сравнению с чистым цементом (рис. 2, состав 10) и на 42 % по сравнению с модифицированным вяжущим (рис. 2, состав 7).

Падение вязкости обусловлено рядом факторов. Благодаря специфике получения минерального модификатора, заключающейся в длительном поэтапном измельчении твердой фазы в присутствии стабилизаторов системы, в результате формируется суспензия с высокой концентрацией твердой фазы при минимально допустимой влажности. При этом дисперсная фаза (измельченные частицы песка) является по сути инертным по отношению к воде компонентом. Ангидрит, вводимый в систему, не является гидратным вяжущим. Все это в совокупности приводит к формированию системы с высокой долей твердой фракции в системе. В результате, несмотря на постоянное В/Т для всех смесей, в данном случае снижение вязкости объясняется сокращением доли компонента, способного образовывать прочные пространственные коагуляционные структуры за счет химического взаимодействия с водой, т.е. «разбавлением» активной твердой фазы инертным компонентом.

Стоит отметить, что снижение начальной вязкости в цементной системе с использованием минерального модификатора, ангидрита и активаторов является положительным фактором, поскольку поризация такой более подвижной смеси будет осуществляться при меньших трудозатратах.

Важнейшей характеристикой любого вяжущего является его прочность, поскольку от нее зависят характеристики конечного продукта.

Согласно полученным данным, характер набора прочности практически идентичен и не зависит от состава вяжущего: происходит плавный рост прочности в течение всего срока твердения с набором порядка 50 % от конечного значения в первые 3 суток (рис. 3). Тем не менее, стоит отметить некоторые особенности кинетики твердения при введении минерального модификатора и сульфатных активаторов: про-

исходит рост прочности в течение первых трех суток, далее отмечается формирование «плато» вплоть до 14 суток, при котором прирост прочности незначительный (рис. 3). Однако, в последующие 14 суток происходит резкий рост прочности, конечное значение которой превосходит исходный контрольный цемент на 15–17 % в зависимости от состава исследуемого вяжущего. Вероятным объяснением такого поведения являются процессы перекристаллизации сформированного вещества в присутствии активной добавки.

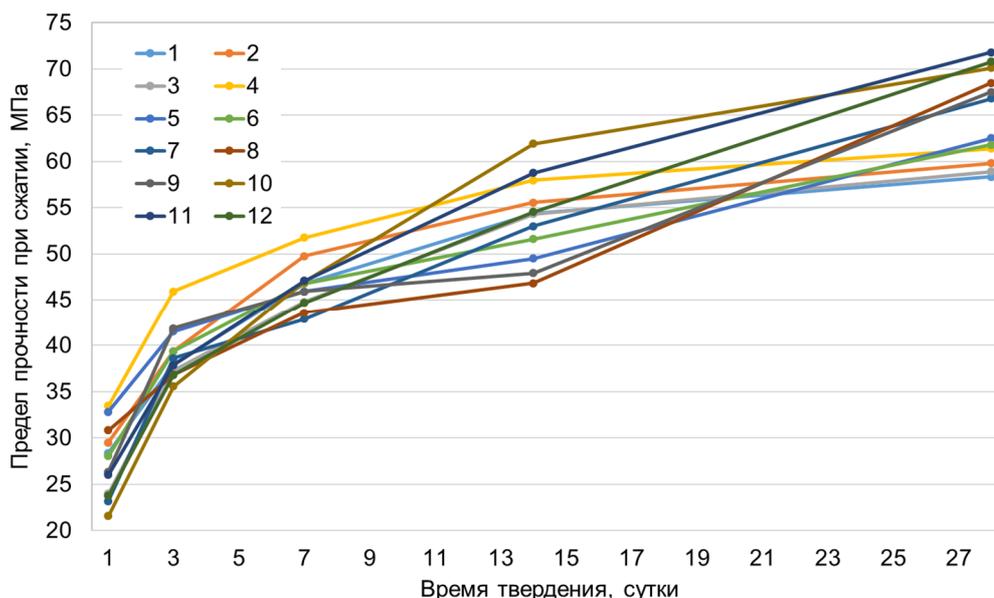


Рис. 3. Кинетика набора прочности цементного камня в зависимости от состава:

- 1 – цемент; 2 – цемент+ Na_2SO_4 ; 3 – цемент+ K_2SO_4 ;
 4 – цемент+ангидрит; 5 – цемент+ангидрит+ Na_2SO_4 ;
 6 – цемент+ангидрит+ K_2SO_4 ; 7 – цемент+ММ; 8 – цемент+ММ+ Na_2SO_4 ;
 9 – цемент+ММ+ K_2SO_4 ; 10 – цемент+ММ+ангидрит;
 11 – цемент+ММ+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 12 – цемент+ММ+ангидрит+ K_2SO_4

Степень влияния состава композиционного вяжущего на прочность цементного камня можно ранжировать в следующей последовательности по возрастанию: чистый цементный камень → цементный камень с сульфатными добавками (ангидритом и/или активаторами) → цементный камень с минеральным модификатором и активаторами → цементный камень с модификатором, ангидритом и активаторами (рис. 3, табл. 4).

При введении сульфатных компонентов прирост прочности в возрасте 28 суток по сравнению с контрольным составом незначителен (табл. 4), что связано с малой дозировкой добавок в системе. Введение ангидрита совместно с сульфатами обеспечивает рост прочности в пределах 10 %. Добавка минерального модификатора и активаторов твердения приводит к более значительному приросту – на 15–17 %.

Максимальным приростом прочности отличаются составы, содержащие весь комплекс минеральных добавок: цементный камень на композиционном вяжущем отличается повышенной на 20 % прочностью при сниженной доле клинкерной составляющей.

Объяснением указанных явлений может служить высокая пуццоланическая активность минерального модификатора, обеспечивающего связывание избытка свободного гидроксида кальция в системе гидратирующегося цемента, а также активация процессов кристаллизации ангидрита в присутствии сульфатных активаторов и CaO из цемента. Кроме того, использование наполнителей разной гранулометрии обеспечивает формирование высокоплотной упаковки твердой фазы при минимально допустимой пористости, что является физическим фактором упрочнения цементного камня.

Таблица 4
Корреляция прочности образцов и ее прироста

Состав	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, МПа	Прирост по отношению к контрольному составу, %
чистый цемент	58,3	–
цемент с Na ₂ SO ₄	59,8	2,6
цемент с K ₂ SO ₄	58,9	1,0
цемент с ангидритом	61,4	5,3
цемент с ангидритом и Na ₂ SO ₄	62,5	7,2
цемент с ангидритом и K ₂ SO ₄	61,8	6,0
цемент с ММ	66,8	14,6
цемент с ММ и Na ₂ SO ₄	68,5	17,5
цемент с ММ и K ₂ SO ₄	67,5	15,8
цемент с ММ и ангидритом	70,1	20,2
цемент с ММ, ангидритом и Na ₂ SO ₄	71,8	23,2
цемент с ММ, ангидритом и K ₂ SO ₄	70,8	21,4

Выводы. Таким образом, в работе показана возможность получения композиционного вяжущего на основе портландцемента с использованием в качестве минеральных компонентов модификатора на основе кварцевого песка, сульфата кальция и активаторов твердения. Такое сочетание компонентов приводит к ускорению схватывания смеси в 1,5 раза, некоторое ее разжижение и упрочнение на 20 % при снижении доли клинкерной составляющей в смеси. Все это в совокупности обеспечит минимизацию усадочных деформаций и повышение качества пенобетона неавтоклавного твердения.

Источник финансирования. Грант Президента для молодых кандидатов МК-5980.2018.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Гудов Д.В., Шураков И.М., Корбут Е.Е. Оптимизация рецептурно-технологических параметров изготовления ячеистобетонной смеси // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Том 1. №2. С. 30–36.

2. Аниканова Т.В., Погоромский А.С. Применение полуводного сульфата кальция для интенсификации процессов твердения конструкционно-теплоизоляционного пенобетона //

Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №3. С. 25–32.

3. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Бухало А.Б. Неавтоклавные ячеистые композиты с нанокompонентами. Состав, структура, свойства. Saarbrucken, 2017. 109 с.

4. Рахимбаев Ш.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., Аниканова Т.В. К вопросу снижения усадочных деформаций изделий из пенобетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2007. № 12 (588). С. 41–44.

5. Масанин О.О., Нелюбова В.В. Неорганическая фибра как эффективный элемент композитов // *Инновационные материалы и технологии в дизайне. Тезисы докладов IV Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых*. 2018. С. 36–37.

6. Попов А.Л., Нелюбова В.В., Безродных А.А. К вопросу о модификации ячеистых бетонов автоклавного твердения минеральными волокнами // *Инновационные материалы и технологии в дизайне. Тезисы докладов IV Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых*. 2018. С. 25–26.

7. Nelubova V.V., Babaev V.B., Popov A.L., Bezrodnyh A.A. Peculiarities of Structure Formation in System «Cement-Basaltic Fibre» // *International Symposium Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research (ISEES 2018)*. Atlantis Press, 2018. Pp. 328–332.

8. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Капуста М.Н. Микроармированные ячеистые композиты на основе наноструктурированного вяжущего // *Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения). Материалы Международной научно-практической конференции*. 2013. С. 172–175.

9. Мирюк О.А. Комплексная поризация бесцементных композиций // *Наука и Мир*. 2016. Т. 1. № 4 (32). С. 63–65.

10. Мирюк О.А. Бесцементные пеногазобетонные материалы // *Наука и Мир*. 2015. Т. 1. № 5. С. 81–84.

11. Завадский В.Ф., Дерябин П.П., Косач А.Ф. Технология получения пеногазобетона // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 2.

12. Nelyubova V.V., Netsvet D.D., Bezdrodnykh A.A. Study of mineral components influence on foam system properties // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 451(1), 012021.

13. Nelyubova V.V., Hou Pengkun, Strokova V.V., Singh L.P., Netsvet Daria, Bondarenko Diana. Complex study of modified binder properties // *Proceedings Of The International Conference Actual Issues Of Mechanical Engineering 2017 (AIME 2017)*. AER-Advances in Engineering Research.

2017.

Volume 133. P. 543–548

14. Sivalneva M.N., Pavlenko N.V., Pastushkov P.P., Strokova V.V., Netsvet D. D., Shapovalov N.A. Steam curing characteristics of cellular concrete on the base of nanostructured binder // Journal of fundamental and applied sciences. 2016. Vol. 8. Special Issue SI. Supplement 3. P. 1480–1485.

15. Нецвет Д.Д., Серенков И.В., Сумин А.В. К вопросу влияния минеральных составляющих на свойства композиционного наноструктурированного вяжущего // Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий. Материалы X Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов. 2016. С. 82–83.

16. Сумин А.В., Бухало А.Б., Дмитриев М.Ю. Некоторые особенности композиционного вяжущего с использованием наноструктурированного модификатора // Научные технологии и инновации. Юбилейная Международная

научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 360–363.

17. Череватова М.С., Мирошников Е.В., Павленко Н.В. Бесцементное наноструктурированное вяжущее негидратационного типа // Технологии бетонов. 2012. № 5–6 (70–71). С. 21–22.

18. Череватова А.В. Теоретические аспекты создания наноструктурированных вяжущих на основе ВКВС // Керамика и огнеупоры: перспективные решения и нанотехнологии: сборник докладов. 2010. С. 115–119.

19. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. Саарбрюкен, 2011. 170 с.

20. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a nonhydration hardening type // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 25. № 1. С. 119–123.

Информация об авторах

Нецвет Дарья Дмитриевна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: netsvet_dd@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Нелубова Виктория Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: nelubova@list.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, профессор РАН, зав. кафедрой материаловедения и технологии материалов. E-mail: vvstrokova@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2019 г.

© Нецвет Д.Д., Нелубова В.В., Строкова В.В., 2019

¹*Netsvet D.D., ^{1,*}Nelubova V.V., ¹Strokova V.V.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov*

Russia, 308012, Belgorod region, Belgorod, Kostukova st. 46

**E-mail: nelubova@list.ru*

COMPOSITE BINDER WITH MINERAL ADDITIVES FOR NON-AUTOCLAVE FOAM CONCRETE

Abstract. *The possibility of increasing efficiency of non-autoclaved foam concrete due to the use of complex binder with mineral components of different composition has been theoretically substantiated and experimentally confirmed. The opportunity to use the anhydrous calcium sulphate as a modifying component of the mixture is proved, which accelerates the setting of the mixture. This allows to "fix" the structure of the aerated concrete mixture with minimal shrinkage deformations. It is shown that the combined use of anhydrite and a mineral additive in the form of a quartz suspension obtained by grinding sand in an aqueous medium leads to a liquefaction of the mixture, which is associated with a decrease in the share of the structure-forming component. From a technological point of view, this will allow obtaining materials with a rational pore structure by optimizing the processes of pores formation. Composite binder with mineral additives is characterized by increased strength with a reduced share of clinker component in comparison with cement.*

In result, the minimization of shrinkable deformations and improvement of the quality of cellular concrete are ensured.

Keywords: *modifier, anhydrite, cement, composite binder, physicomechanical characteristics.*

REFERENCES

1. Alfimova N.I., Pirieva S.Yu., Gudov D.V., Shurakov I.M., Korbut E.E. Optimization of receptural-technological parameters of manufacture of cellular concrete mixture [*Optimizaciya recepturno-tekhnologicheskikh parametrov izgotovleniya yacheistobetonnoj smesi*]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. Iss. 2, Pp. 30–36. (rus)
2. Anikanova T.V., Pogoromsky A.S. The use of semi-aquatic calcium sulfate to intensify the processes of hardening of structural heat-insulating foamed concrete [*Primenenie poluvodnogo sul'fata kal'ciya dlya intensivatsii processov tverdeniya konstrukcionno-teploizolyacionnogo penobetona*]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 25–32. (rus)
3. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Bukhalo A.B. Non-autoclaved cellular composites with nanocomponents [*Neavtoklavnye yacheistye kompozity s nano-komponentami*]. Composition, structure, properties. Saarbrücken, 2017. 109 p. (rus)
4. Rakhimbaev Sh.M., Degtev I.A., Tarasenko V.N., Anikanova T.V. On the issue of reducing shrinking deformation of foam concrete products [*K voprosu snizheniya usadochnykh deformacij izdelij iz penobetona*]. News of higher educational institutions. Construction. 2007. No. 12 (588). Pp. 41–44. (rus)
5. Masanin O.O., Nelyubova V.V. Inorganic fiber as an effective element of composites [*Neorganicheskaya fibra kak ehffektivnyj ehlement kompozitov*]. Innovacionnye materialy i tekhnologii v dizajne. Tezisy dokladov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem molodyh uchenykh. 2018. Pp. 36–37. (rus)
6. Popov A.L., Nelyubova V.V., Bezrodnykh A.A. On the question of modification of autoclaved hardening cellular concrete with mineral fibers. [*K voprosu o modifikatsii yacheistykh betonov avtoklavnogo tverdeniya mineral'nymi voloknami*]. Innovacionnye materialy i tekhnologii v dizajne. Tezisy dokladov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem molodyh uchenykh. 2018. P. 25–26.
7. Nelubova V.V., Babaev V.B., Popov A.L., Bezrodnykh A.A. Peculiarities of Structure Formation in System «Cement-Basaltic Fibre». International Symposium Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research (ISEES 2018). Atlantis Press, 2018. Pp. 328–332.
8. Pavlenko N.V., Bukhalo A.B., Kapusta M.N. Micro-reinforced cellular composites based on nanostructured binder [*Mikroarmirovannyye yacheistye kompozity na osnove nanostrukturirovannogo vyazhushchego*]. Innovacionnye materialy i tekhnologii (HKH nauchnye chteniya). Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2013, Pp. 172–175. (rus)
9. Miryuk O.A. Complex porisation of zero-cement compositions [*Kompleksnaya porizatsiya bescementnykh kompozitsiy*]. Science and World. 2016. Vol. 1. No. 4 (32). Pp. 63–65. (rus)
10. Miryuk O.A. Zero-cement foam concrete materials [*Bescementnye penogazobetonnye materialy*]. Science and World. 2015. Vol. 1. No. 5. Pp. 81–84. (rus)
11. Zavadsky V.F., Deryabin P.P., Kosach A.F. Technology of production of foam-gasconcrete. [*Tekhnologiya polucheniya penogazobetona*]. Construction materials. 2009. No. 6. Pp. 2. (rus)
12. Nelyubova V.V., Netsvet D.D., Bezrodnykh A.A. Study of mineral components influence on foam system properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 451(1). 012021.
13. Nelyubova Viktoriya, Hou Pengkun, Strokova V.V., Singh L.P., Netsvet Daria, Bondarenko Diana. Complex study of modified binder properties. Proceedings Of The International Conference Actual Issues Of Mechanical Engineering 2017 (AIME 2017). AER-Advances in Engineering Research. 2017. Vol. 133. Pp. 543–548.
14. Sivalneva M.N., Pavlenko N.V., Pastushkov P.P., Strokova V.V., Netsvet D.D., Shapovalov N.A. Steam curing characteristics of cellular concrete on the base of nanostructured binder. Journal of fundamental and applied sciences. 2016, Vol. 8, Special Issue SI. Supplement 3. Pp. 1480–1485.
15. Netsvet D.D., Serenkov I.V., Sumin A.V. On the question of the influence of mineral components on the properties of composite nanostructured binder [*K voprosu vliyaniya mineral'nykh sostavlyayushchih na svojstva kompozitsionnogo nano-strukturirovannogo vyazhushchego*]. Nauchno-prakticheskie problemy v oblasti himii i himicheskikh tekhnologij. Materialy X Mezhhregional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferencii molodyh uchenykh, specialistov i studentov vuzov. 2016. Pp. 82–83. 9 (rus)
16. Sumin A.V., Bukhalo A.B., Dmitriev M.Yu. Some features of composite binder using nanostructured modifier [*Nekotorye osobennosti kompozitsionnogo vyazhushchego s ispol'zovaniem nanostrukturirovannogo modifikatora*]. Naukoemkie tekhnologii i innovatsii. Yubilejnaya

Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 60-letiyu BGTU im. V.G. Shuhova (XXI nauchnye chteniya). Pp. 360–363. (rus)

17. Cherevatova M.S., Mirosnikov E.V., Pavlenko N.V. Zero-cement nanostructured binder of non-hydrational type [*Bescementnoe nanostrukturirovannoe vyazhushchee negidratatsionnogo tipa*]. Concrete technologies. 2012. No. 5–6 (70–71). Pp. 21–22. (rus)

18. Cherevatova A.V. Theoretical aspects of the creation of nanostructured binders based on HCBS. [*Teoreticheskie aspekty sozdaniya nanostrukturirovannyh vyazhushchih na osnove VKVS*].

Ceramics and refractories: promising solutions and nanotechnologies: collection of reports. 2010. Pp. 115–119. (rus)

19. Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Mineral nanostructured binders. nature, technology and application prospects [*Mineral'nye nanostrukturirovannye vyazhushchie. Priroda, tekhnologiya i perspektivy primeneniya*]. Saarbrücken, 2011. 170 p. (rus)

20. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a nonhydration hardening type. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. No. 1. Pp. 119–123.

Information about the authors

Netsvet, Daria D. Postgraduate student. E-mail: netsvet_dd@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nelyubova, Viktoriya V. PhD, Assistant professor. E-mail: nelubova@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Strokova, Valeriya V. DSc, Head of department. E-mail: vvstrokova@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Нецвет Д.Д., Нелюбова В.В., Строчкова В.В. Композиционное вяжущее с минеральными добавками для неавтоклавных пенобетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 122–131. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d077f65.54773394

For citation:

Netsvet D.D., Nelyubova V.V., Strokova V.V. Composite binder with mineral additives for non-autoclave foam concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 122–131. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d077f65.54773394