

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-8-18

<sup>1</sup>Махортов Д.С., <sup>1</sup>Загороднюк Л.Х., <sup>2</sup>Насонова В.В., <sup>1,\*</sup>Сумской Д.А.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова<sup>2</sup>Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН

\*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

## КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ<sup>1</sup>

**Аннотация.** Проведенные исследования показали эффективность использования алюмосиликатных наполнителей в качестве компонентов в композиционных вяжущих, обеспечивающие значительное повышение прочности до 55,4–95,7 %. Изучение микроструктуры цементных камней вяжущих композиций свидетельствуют об однородном распределении алюмосиликатного наполнителя в сформированном камне, отмечается плотное обрастание поверхностей наполнителей кристаллическими новообразованиями, что свидетельствует об активном протекании процессов гидратации и нарастании прочностных образцов. Исследования пластифицирующих свойств органических добавок установили эффективную дозировку и вид добавки. Изучены особенности процессов гидратации по кинетике тепловыделения композиционных вяжущих, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: боя керамического кирпича, вулканического пепла и керамзитовой пыли и наиболее эффективной органической добавки. Выявлено, что при модификации вяжущих композиций, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: вулканического пепла, боя керамического кирпича и керамзитовой пыли, органическими добавками биологического происхождения, наиболее эффективной является добавка, синтезированная из крови КРС, обеспечивающая наилучший пластифицирующий эффект и увеличение прочности при сжатии в 2.....2,5 раза относительно бездобавочного портландцемента. Установлено, что кинетика тепловыделения композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями: боем керамического кирпича; вулканическим пеплом и керамзитовой пылью имеет свои специфические особенности, обусловленные химическим и минералогическим составом используемых минеральных добавок. Следует отметить, что наибольшую химическую активность проявляет композиционное вяжущее с использованием керамического кирпича, что позволяет рекомендовать это вяжущее для широкого использования.

**Ключевые слова:** композиционные вяжущие, бой керамического кирпича, вулканический пепел, керамзитовая пыль, органическая добавка биологического происхождения.

**Введение.** Современные строительные технологии активно развиваются и постоянно совершенствуются. Особую роль в общем объеме новых строительных материалов занимают композиционные вяжущие, которые позволяют использовать природные и техногенные сырьевые материалы, расширяя спектр применения вяжущих различного назначения [1–5]. Успешный опыт применения композиционных вяжущих достаточно убедительно доказан научными исследованиями и практическим использованием [6–10] и свидетельствует об эффективности и перспективности этого научного направления [11–15]. Особенность получения композиционных вяжущих заключается в совместной механоактивации портландцемента, минеральных добавок природного и техногенного генезиса и модификация их

комплексом функциональных химических добавок различного происхождения [16–18]. К настоящему времени накоплен значительный опыт использования различных минеральных добавок в качестве компонента композиционных вяжущих для создания строительных материалов широкого спектра использования [19–20].

Комплексные химические добавки придают требуемые свойства композиционным вяжущим, обеспечивая необходимую подвижность, сроки схватывания, прочность и прочие показатели готовой продукции. Огромное значение в формировании требуемых свойств играют принятые дозировки добавок. Отмечается, что для синтеза высококачественных композиционных вяжущих механоактивация в различных помольных агрегатах оказывает приоритетное воздействие, со-

<sup>1</sup> Результаты, изложенные в статье, были частично приведены при защите диссертационной работы Махортова Д.С. «Композиционные вяжущие для конструктивно-теплоизоляционных керамзитобетонов» (дата защиты 6.10.23), ранее в открытой печати представлены не были.

здавая наилучшие условия для совместного измельчения и формирования структуры создаваемого композита.

Комплексные химические добавки имеют неорганическую и органическую природу. Неорганические добавки прочно утвердились и широко используются в строительной практике. В последние десятилетия ученые стали проявлять интерес к органическим добавкам из гидролизованных животных белков, проводя аналогию с белковыми добавками древних времен, когда использовали куриные яйца, творог, отвары шкур, рогов и копыт. Изучая молекулярную структуру белка было обнаружено, что в молекуле находится огромное количество нитей, которые переплетаются между собой, что похоже на молекулы материалов и веществ, искусственно полученных учеными, в частности полимеров. Большое число полимеров используется с целью повышения строительных свойств бетонов и растворов.

В последние десятилетия в некоторых регионах РФ, в том числе в Белгородской области построено значительное количество скотоводческих ферм, наличие которых оказывает отрицательное влияние на окружающую среду, создающие благоприятные условия для возникновения инфекций и зловонного запаха. Предварительные исследования отходов мясоперерабатывающей отрасли, содержащих биологические протеины, показали, что их можно эффективно использовать в качестве модифицирующих добавок в цементных системах [21–23].

В связи с вышеизложенным, целью работы было изучить возможность получения композиционных вяжущих с использованием органических добавок биологического происхождения, впервые синтезированных в лабораториях Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН и алюмосиликатных добавок различного генезиса.

**Методы и материалы.** Для получения композиционных вяжущих в работе использовали портландцемент ЦЕМ 0 42,5Н ЗАО «Белгородский цемент» (ГОСТ 31108–2020 «Цементы общестроительные. Технические условия»). Качество цемента определяли по ГОСТ 30744-2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка».

В исследованиях были исследованы органические добавки: Д-1; Д-2; Д-3, впервые синтезированные в лаборатории отдела научно-прикладных и технологических разработок ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. Все эксперименты проводились совместно с названной лабораторией.

Органическая добавка – Д-1 является гидролизатом непищевой кости, копыт, шерсти, кожи крупного рогатого скота (КРС).

Органическая добавка – Д-2 – это гидролизат того же сырья, как и добавка Д-1. Однако, условия ферментативной обработки несколько изменены: измельченную кость подвергали ферментативной обработке с использованием животной протеазы, продолжительность обработки 10 ч, температура обработки 40 °С, гидромодуль сырья: вода = 1:2.

Органическая добавка – Д-3 является гидролизатом крови крупного рогатого скота.

Композиционные вяжущие различных составов были получены путем механоактивации в вибрационной или в вихревой струйной мельницах. Испытания технологических и физико-механических свойств композиционных вяжущих проводили в соответствии с нормативными требованиями. Изучение кинетики тепловыделения исследуемых композиционных вяжущих проводили на дифференциальном калориметре ToniCAL.

**Основная часть.** С целью создания композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями на первом этапе были исследованы вяжущие композиции, включающие следующие алюмосиликатные добавки природного и техногенного происхождения: вулканический пепел (ВП), бой керамического кирпича (БК), пыль керамзитового производства (КП) с различными дозировками от 10 % до 30 % при разных продолжительностях механоактивации в вибрационной (10 и 20 мин) и вихревой струйной мельницах (1 и 2 прохода, табл. 1) [7–9].

Сроки схватывания вяжущих композиций в зависимости от составов и способов получения изменяются в широких пределах, что обусловлено различным химическим и минералогическим составами алюмосиликатных наполнителей, величинами удельных поверхностей, а также особенностями формы и размерами зёрен, полученных в результате механоактивации в различных помольных агрегатах, что отражается на процессах гидратации композита.

Отмечаются повышенные значения показателей нормальной густоты (НГ) составов вяжущих композиций, полученных в вихревой струйной мельнице, в сравнении с аналогичными составами в вибрационной мельнице, что отражается на снижении прочности при сжатии, что объясняется высокой степенью измельчения в вихревой струйной мельнице и, как следствие, увеличенной удельной поверхностью вяжущих композиций, полученных в ней [7–9].

Таблица 1

## Составы вяжущих композиций и их характеристики

Шифр сост.	Составы	НГ, %	Сроки схватывания, мин		S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /кг	ρ <sub>ср</sub> , кг/м <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа	
			начало	конец			2 сут	28 сут
0	ПЦ=100 %	25,6	95	308	330	2350	19,20	50,10
<b>Вибрационная мельница</b>								
Портландцемент, время механоактивации – 10 минут								
1	ПЦ=100 %	28,8	130	170	450	2290	22,45	59,07
Портландцемент, время механоактивации – 20 минут								
2	ПЦ=100 %	31,7	165	203	492	2280	25,42	66,90
Вид наполнителя – вулканический пепел, время механоактивации – 10 минут								
3	ПЦ/ВП=90/10 %	32,6	147	185	510	2085	24,60	63,20
4	ПЦ/ВП=80/20 %	34,6	158	197	595	2072	22,82	61,50
5	ПЦ/ВП=70/30 %	37,5	164	207	665	2067	21,35	55,35
Вид наполнителя – вулканический пепел, время механоактивации – 20 минут								
6	ПЦ/ВП=90/10 %	33,7	175	220	587	2122	28,83	75,89
7	ПЦ/ВП=80/20 %	35,4	183	229	675	2090	25,88	68,10
8	ПЦ/ВП=70/30 %	40,5	194	235	776	2070	24,50	61,01
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, время механоактивации – 10 минут								
9	ПЦ/БК=90/10 %	31,9	143	181	620	2149	31,12	81,90
10	ПЦ/БК=80/20 %	35,3	154	192	729	2123	27,32	71,90
11	ПЦ/БК=70/30 %	41,8	160	201	796	2053	24,96	65,68
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, время механоактивации – 20 минут								
12	ПЦ/БК=90/10 %	33,1	171	215	798	2277	37,26	98,05
13	ПЦ/БК=80/20 %	36,6	180	222	850	2151	31,47	82,84
14	ПЦ/БК=70/30 %	42,9	189	231	865	2127	28,98	76,26
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, время механоактивации – 10 минут								
15	ПЦ/КП=90/10 %	34,7	139	178	505	2119	28,18	74,16
16	ПЦ/КП=80/20 %	35,9	149	187	581	2099	26,33	69,28
17	ПЦ/КП=70/30 %	41,1	156	199	689	2088	24,03	63,24
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, время механоактивации – 20 минут								
18	ПЦ/КП=90/10 %	35,3	168	211	741	2145	30,84	81,15
19	ПЦ/КП=80/20 %	36,9	177	219	782	2130	29,74	78,28
20	ПЦ/КП=70/30 %	41,8	185	227	798	2122	26,85	70,65
<b>Вихревая струйная мельница</b>								
Портландцемент, условия механоактивации – 1 проход								
21	ПЦ=100 %	31,3	137	179	628	2170	23,65	62,25
Портландцемент, условия механоактивации – 2 прохода								
22	ПЦ=100 %	33,9	171	210	736	2150	22,46	59,12
Вид наполнителя – вулканический пепел, условия механоактивации – 1 проход								
23	ПЦ/ВП=90/10 %	33,3	154	192	854	2131	29,59	77,87
24	ПЦ/ВП=80/20 %	37,5	164	204	999	2102	25,04	65,89
25	ПЦ/ВП=70/30 %	42,9	171	215	1127	2069	22,95	60,42
Вид наполнителя – вулканический пепел, условия механоактивации – 2 прохода								
26	ПЦ/ВП=90/10 %	36,7	185	231	1005	2099	24,76	65,15
27	ПЦ/ВП=80/20 %	38,8	198	243	1158	1931	19,03	50,07
28	ПЦ/ВП=70/30 %	43,9	209	254	1320	1857	14,50	38,05
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, условия механоактивации – 1 проход								
29	ПЦ/БК=90/10 %	35,3	151	187	969	2049	24,84	65,38
30	ПЦ/БК=80/20 %	39,1	160	196	1140	2118	27,31	71,88
31	ПЦ/БК=70/30 %	49,3	168	208	1311	1960	20,96	55,17
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, условия механоактивации – 2 прохода								
32	ПЦ/БК=90/10 %	37,1	180	227	1080	2038	24,03	63,24
33	ПЦ/БК=80/20 %	41,7	191	239	1271	2068	26,36	69,37
34	ПЦ/БК=70/30 %	53,6	200	248	1340	1912	17,56	46,25
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, условия механоактивации – 1 проход								
35	ПЦ/КП=90/10 %	38,9	148	182	1060	2117	26,64	70,11
36	ПЦ/КП=80/20 %	42,5	157	191	1246	2140	30,16	79,37
37	ПЦ/КП=70/30 %	48,9	164	202	1355	1971	21,48	56,54
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, условия механоактивации – 2 прохода								
38	ПЦ/КП=90/10 %	39,4	177	221	1150	2065	23,23	61,14
39	ПЦ/КП=80/20 %	43,1	186	230	1280	2080	23,81	62,67
40	ПЦ/КП=70/30 %	49,3	195	239	1390	1920	18,84	49,58

Установлены рациональные составы вяжущих композиций (см. табл. 1) с каждым из алюмосиликатных наполнителей, полученных в различных помольных агрегатах: состав № 12 с содержанием ПЦ (90 %) и БК (10 %), механоактивированных в вибрационной мельнице, обеспечивающий предел прочности при сжатии 98,05 МПа в возрасте 28 сут, что превышает прочность бездобавочного ПЦ без механоактивации на 95,7 %; состав № 18 с содержанием ПЦ (90 %) и КП (10 %), механоактивированный в вибрационной мельнице, обеспечивающий предел прочности при сжатии 81,15 МПа в возрасте 28 сут, превышающий прочность бездобавочного ПЦ без механоактивации на 62 %; состав № 23 с содержанием ПЦ (90 %) и ВП (10 %), механоактивированный за 1 проход в вихревой струйной мельнице, обеспечивающий предел прочности при сжатии 77,87 МПа, что выше прочности бездобавочного ПЦ без механоактивации на 55,4 %.

Высокая удельная поверхность механоактивированных вяжущих композиций с различными

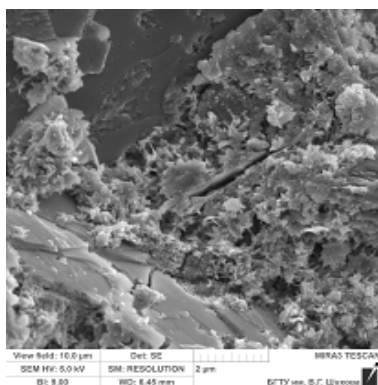


Рис. 1. Микроструктура образцов вяжущей композиции №12: цемент/бой керамического кирпича=90/10 % при 20 минутах активации в вибрационной мельнице

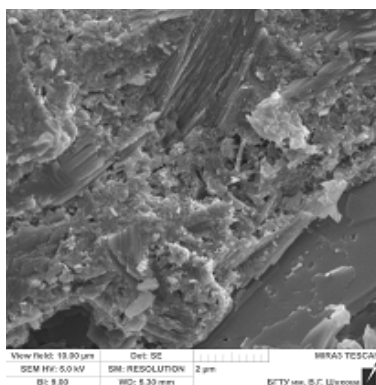


Рис. 2. Микроструктура образцов вяжущей композиции № 18: цемент /керамзитовая пыль=90/10 % при 20 минутах активации в вибрационной мельнице

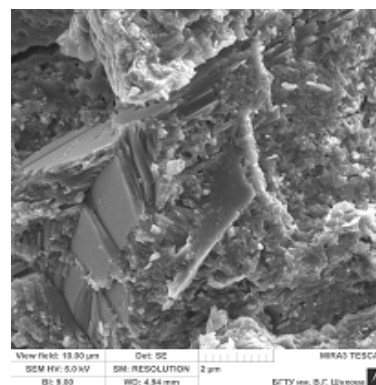


Рис. 3. Микроструктура образцов вяжущей композиции №23: цемент/вулканический пепел = 90/10 % при активации в вихревой струйной мельнице

Микроскопические исследования цементного камня всех вяжущих композиций свидетельствуют о присутствии алюмосиликатного наполнителя (рисунки 1–3), который однородно распределяется в общей массе сформированного камня, отмечается плотное обрастание поверхностей наполнителей кристаллическими новообразованиями, в общей массе гидратированного композита отмечаются поры, изнутри заросшие кристаллическими фазами, что свидетельствует об активном протекании процессов гидратации и нарастании прочности образцов (№ 12; № 18; № 23).

Для проведения дальнейших исследований по влиянию органических добавок Д-1, Д-2 и Д-3 в работе были использованы наилучшие составы (№ 12; № 18; № 23).

алюмосиликатными наполнителями положительно отразилась на формировании повышенного количества гидросиликатов кальция CSH-II в этих системах, что обеспечило им высокие физико-механические показатели.

Следует отметить, что вследствие полученных удельных поверхностей смесей, активированных в вибрационной мельнице в диапазоне от 450 до 798 м<sup>2</sup>/кг создаются наилучшие условия для образования внутренней структуры, которые формируются на минеральных зернах наполнителя оптимального размера. В вихревой струйной мельнице отмечается значительное повышение удельной поверхности смеси до 1390 м<sup>2</sup>/кг, что свидетельствует о высоком измельчении составов и отсутствие подложек – минеральных зерен оптимального размера, на которых формируются гидросиликаты кальция, что отрицательно влияет на снижение прочности вяжущих композиций, приготовленных в вихревой струйной мельнице.

Изучали пластифицирующие свойства органических добавок путем последующего увеличения дозировки от 0,2 до 2 % с шагом 0,3 %. При этом добавки вводили сверх 100 %-ого состава. Пластичность определяли по расплыву мини-конуса, изменения расплыва мини-конуса в зависимости от дозировок добавок Д-1, Д-2, Д-3 приведены на рис.4.

Исследования пластифицирующих свойств органических добавок (рис. 4) показали наилучший показатель расплыва мини-конуса, полученный за счет применения добавки Д-1 – 81 мм, при дозировке 1,4 %. Наибольший расплыв мини-конуса для добавки Д-2 – 81 мм (1,7 % от массы цемента), а максимальный расплыв мини-конуса 94 мм достигается при использовании органической добавки Д-3 (1,7 % от

массы цемента), что превышает показатели других исследуемых добавок на 16 %.

Установлено, что дальнейшее увеличение дозировок добавок нецелесообразно вследствие отсутствия роста пластифицирующего эффекта.

В последующих исследованиях дозировки добавок Д-1, Д-2, Д-3, обеспечивающие наилучшую пластификацию, были приняты как рациональные..

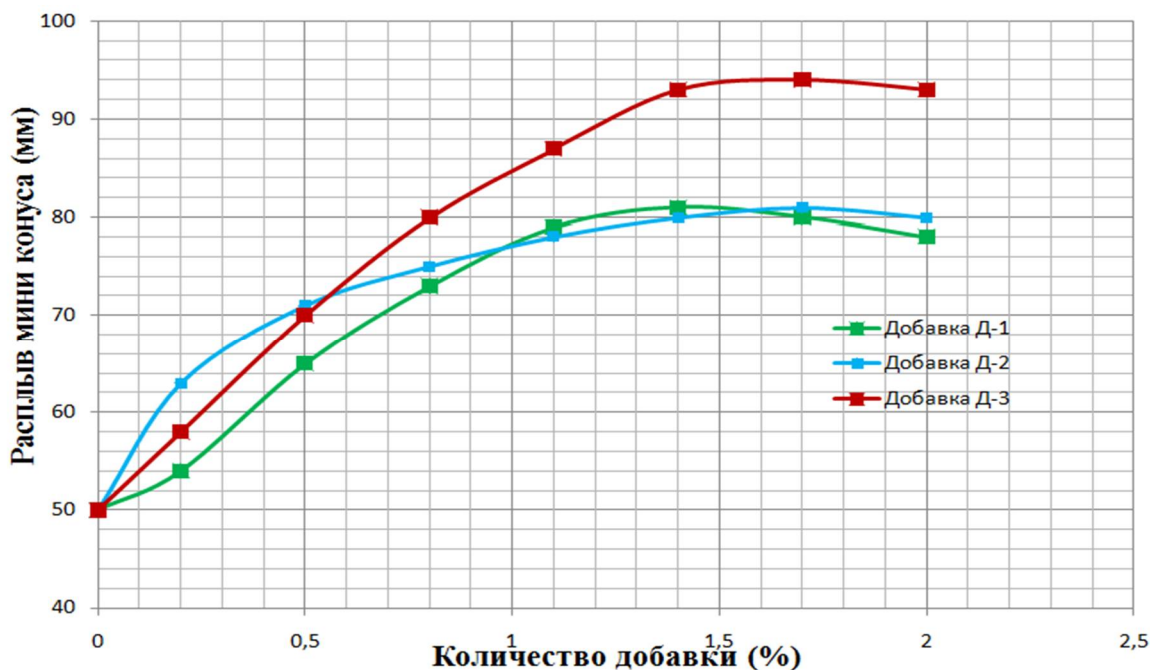


Рис. 4. Изменение расплыва мини-конуса в зависимости от дозировок добавок Д-1; Д-2; Д-3

Исследования влияния органических добавок Д-1; Д-2; Д-3 на технологические и физико-механические свойства композиционных вяжущих (табл. 2) показали, что нормальная плотность всех композиционных вяжущих изменяется в пределах от 26,0 до 32,2 %, что превышает нормальную плотность бездобавочного ПЦ от 1,6 до 25,8 %.

Прирост прочности при сжатии в возрасте 2 сут в сравнении с бездобавочным ПЦ во всех составах композиционных вяжущих (табл. 2) составляет от 69,7 до 138 % и находится в пределах от 32,59 до 45,69 МПа, соответственно. Показатели прироста прочности композиционных вяжущих относительно исходного ПЦ в возрасте 28 сут варьируются от 86,66 до 121,58 МПа, а превышение составляет от 73 до 142,7 %, соответственно

Таблица 2

#### Технологические и физико-механические показатели композиционных вяжущих с органическими добавками

Шифр сост.	Вяжущее	Дозировка добавки, %	НГ, %	Сроки схватывания, мин		R <sub>сж</sub> , МПа	
				начало	конец	2 сут	28 сут
18а	*ВПЦ/КП + Д-1	1,4	32,2	220	352	34,98	92,40
18б	ВПЦ/КП + Д-2	1,7	30,8	120	332	34,03	89,88
18в	ВПЦ/КП + Д-3	1,7	27,8	78	330	37,38	99,38
18	ВПЦ/КП	–	35,3	60	280	30,84	81,15
12а	*ВПЦ/БК + Д-1	1,4	31,1	233	361	43,05	111,80
12б	ВПЦ/БК + Д-2	1,7	30,6	157	358	41,84	109,56
12в	ВПЦ/БК + Д-3	1,7	27,2	90	280	45,69	121,58
12	ВПЦ/БК	–	33,1	86	270	37,26	98,05
23а	**СПЦ/ВП + Д-1	1,4	30,3	246	374	33,95	88,99
23б	СПЦ/ВП + Д-2	1,7	27,5	133	334	32,59	86,66
23в	СПЦ/ВП + Д-3	1,7	26,0	82	333	36,63	95,44
23	СПЦ/ВП	–	33,3	78	305	29,59	77,87

\*-составы, полученные в вибрационной мельнице;

\*\* составы, полученные в вихревой струйной мельнице

Выявлено, что наилучшей прочностью 121,58 МПа обладает композиционное вяжущее: ПЦ/БК (90/10%) + Д-3, что на 24 % выше прочности вяжущей композиции без органической добавки, что предопределяет его дальнейшее, более подробное исследование.

Существенное расхождение в показателях: НГ; сроках схватывания; плотности и прочности композиционных вяжущих объясняется особенностями химического состава органических добавок Д-1, Д-2 и Д-3.

Изучены особенности процессов гидратации по кинетике тепловыделения композиционных вяжущих, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: боя керамического кирпича, вулканического пепла и керамзитовой пыли и органической добавки Д-3, принятой как наиболее эффективной.

Для изучения гидратационных процессов композиционных вяжущих проведены исследования по тепловыделению с начального периода

затворения системы водой и записью результатов в течение 72 часов. Исследования проводили с использованием дифференциального квазиизотермического калориметра ToniCAL с компьютерной обработкой и записью результатов (рис. 5).

Известно, что при гидратации клинкерных минералов портландцемента выделяется определенное количество тепла с момента затворения его водой, в этот период происходит схватывание и твердение вяжущего в весь последующий период твердения. Различные портландцементы характеризуются разным тепловыделением, которое изменяется в особых интервалах, что определяет их минеральный состав, а также тонина помола. Высокое содержание алита и трехкальциевого алюмината в портландцементе способствуют активному тепловыделению при гидратации цементов, тепловыделение наиболее интенсивно в начальные сроки твердения, вследствие активного взаимодействия указанных минеральных фаз с водой

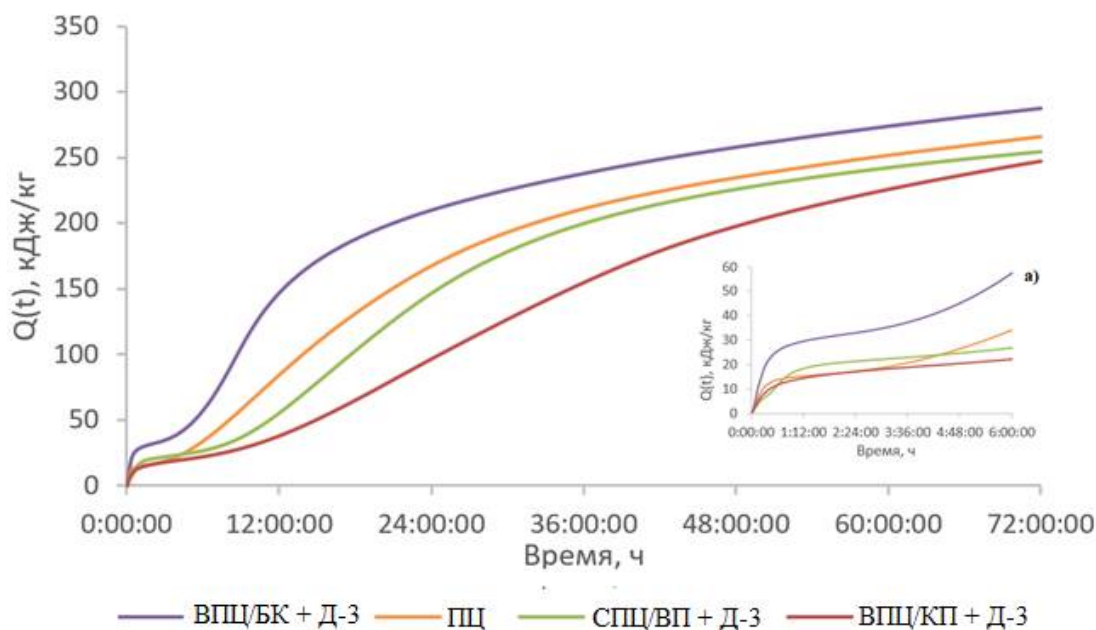


Рис. 5. Кинетика тепловыделения портландцемента и композиционных вяжущих оптимальных составов с использованием портландцемента и минеральных добавок: вулканического пепла, боя керамического кирпича и керамзитовой пыли, приготовленных в вибрационной и вихревой струйной мельницах

Сравнительные исследования кинетики тепловыделения композиционных вяжущих, приготовленных с использованием различных алюмосиликатных наполнителей и органической добавки биологического происхождения показало, что на первой стадии кривых тепловыделения отмечается интенсивная гидратация поверхностных зерен клинкерных минералов, которые покрывают тончайшей пленкой гелевидной массой, образующихся соединений, эта пленка затрудняет активный доступ воды к ранее негидратированной части зерен и блокирует выход гидратных соединений в межзерновое пространство.

Присутствие различных минеральных наполнителей разного генезиса определенным образом влияет на течение процессов гидратации. Тепловыделение портландцемента в начальный период времени гидратации характеризуется значением 58 кДж/(кг·ч), что можно объяснить растворением клинкерных минералов, а также разложением портландита на ионы  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{OH}^-$ , переходящие в растворную смесь. Дисперсность портландцемента активно влияет на скорость процесса тепловыделения при гидратации, тем не менее, общее количество выделяемого тепла не определяется тониной помола портландцемента.

Для композиционных вяжущих с использованием боя керамического кирпича, тепловыделение в начальный период времени составляет 75 кДж/(кг·ч), что выше тепловыделения портландцемента на 25%, что свидетельствует об активных процессах физико-химического взаимодействия в системе. Величина тепловыделения композиционного вяжущего с использованием вулканического пепла составляет 17 кДж/(кг·ч), достигая к 30 часам максимального тепловыделения – 6 кДж/(кг·ч).

К 72 часам, все кривые тепловыделения исследуемых составов становятся равнозначными. Кинетика тепловыделения композиционного вяжущего, приготовленного с использованием керамзитовой пыли составляет 38 кДж/(кг·ч), что ниже тепловыделения портландцемента на 37%.

На основании проведенных исследований и полученных результатов технологических и физико-механических испытаний широкого спектра композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями и изучения их особенностей процессов тепловыделения установлено, что наилучшими показателями обладает композиционное вяжущее, полученное с использованием портландцемента, боя керамического кирпича и органической добавки белкового происхождения.

Это послужило основанием для проведения последующих исследований направленных на использование этого композиционного вяжущего для получения различных строительных композиционных материалов.

**Выводы.** На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Высокая удельная поверхность механоактивированных вяжущих композиций с различными алюмосиликатными наполнителями, полученных в вибрационной мельнице, положительно влияет на формирование внутренней структуры вяжущего за счет повышенного количества гидросиликатов кальция CSH-II в цементных системах, что обеспечивает им высокие физико-механические показатели. При этом отмечается, что приготовление вяжущей композиции в вибрационной мельнице обеспечивает показатели прочности выше, чем в вихревой струйной.

2. Выявлено, что при модификации вяжущих композиций, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: вулканического пепла, боя керамического кирпича и керамзитовой пыли органическими добавками биологического происхождения, наиболее эффективной является добавка Д-3, синтезированная из крови КРС, обеспечивающая наилучший пластифицирующий эффект и увеличение

прочности при сжатии в 2...2,5 раза относительно бездобавочного портландцемента.

3. Установлено, что кинетика тепловыделения композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями: боем керамического кирпича; вулканическим пеплом и керамзитовой пылью имеет свои специфические особенности, обусловленные химическим и минералогическим составами используемых минеральных добавок. Следует отметить, что наибольшую химическую активность проявляет композиционное вяжущее с использованием керамического кирпича, что позволяет рекомендовать это вяжущее для широкого использования.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аниканова А.Л., Волкова О.В., Кудряков А.И., Курмангалиева А.И. Активированное композиционное фторангидритовое вяжущее // Строительные материалы. 2019. № 1-2. С. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42
2. Машкин Н.А., Кудряков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 58–68.
3. Муртазаев С.А.Ю., Успанова А.С., Хаджиев М.Р., Хадисов В.Х. Анализ влияния техногенных отходов в виде отсевов дробления керамического боя на основные свойства цементных композитов // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 1. С. 27–34.
4. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш. Формирование структуры многокомпонентных вяжущих систем щелочного затворения // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. Т. 16. № 1 (19). С. 48–56. DOI: 10.34708/GSTOU.2020.19.1.007
5. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш. Возможности модификации вяжущих систем минеральными добавками // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Т. 19. № 1 (31). С. 96–102. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.21.24.010
6. Загороднюк Л.Х., Рахимбаев Ш.М., Сумской Д.А., Рыжих В.Д. Особенности процессов гидратации вяжущих композиций с использованием отходов вспученного перлитового песка // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 75–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-75-88

7. Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Аль Мамури С.К.Ш. Получение вяжущих композиций оптимальных составов на основе портландцемента и отходов боя керамического кирпича // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 19–30. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-19-30
8. Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Шаповалов Н.А., Сумской Д.А. Вяжущие композиции из цемента и керамзитовой пыли // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19. № 4 (86). С. 584–596. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596
9. Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А. Вяжущие композиции на основе портландцемента и вулканического пепла // Строительные материалы и изделия. 2022. Т. 5. № 4. С. 30–38. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-4-30-38
10. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Композиты нового поколения для специальных сооружений // Строительные материалы. 2021. № 3. С. 9–17. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-789-3-9-17
11. Glagolev E.S., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Podgornyi D.S. Composite binders and dry building mixes for 3d additive technologies // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Т. 147. С. 229–235. DOI: 10.1007/978-3-030-68984-1\_34
12. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 10. С. 1346–1356. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.10.1346-1356
13. Ignatova O.A., Dyatchina A.A. Influence of high-calcium ash composition on the composite binders' properties // Solid State Phenomena. 2021. Т. 316. С. 1019–1024.
14. Bazhenov Y.M., Salamanova M.S., Murtazaev S.A.Y., MintsaeV M.S. Structural composite materials based on anthropogenic raw stuff and clinkerless binders of alkaline tempering // Rasayan Journal of Chemistry. 2021. Т. 14. № 1. С. 409–423. DOI: 10.31788/RJC.2021.1415850
15. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18
16. Fediuk R., Baranov A., Mosaberpanah M., Lesovik V. Link of self-compacting fiber concrete behaviors to composite binders and superplasticizer // Journal of Advanced Concrete Technology. 2020. Т. 18. № 3. С. 67–82. DOI: 10.3151/jact.18.54
17. Дмитрак Ю.В., Вернигор В.В. Активные минеральные добавки в составе композиционных вяжущих // Технологии бетонов. 2022. № 1 (180). С. 73–80.
18. Ильина Л.В., Самченко С.В., Раков М.А., Зорин Д.А. Моделирование процессов кинетики цементных композитов, модифицированных кальций-содержащими добавками // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2023. Т. 15. № 5. С. 494–503. DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-494-503
19. Аниканова А.Л., Волкова О.В., Кудяков А.И., Курмангалиева А.И. Активированное композиционное фторангидритовое вяжущее // Строительные материалы. 2019. № 1-2. С. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42
20. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсноармированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 58–68.
21. Топчий, Ю.С., Хабилов Д.М. Модифицированный белковый пластификатор для цементных систем // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 46–47.
22. Cyr M., Ludmann C. Low risk meat and bone meal (MBM) bottom ash in mortars as sand replacement // Cement & Concrete Research. 2006. Т. 36. С. 469–480. DOI: 10.1016/j.cemconres.2005.09.009
23. Coutand M., Cyr M., Deydier E., Guilet R., Clastres P. Characteristics of industrial and laboratory meat and bone meal ashes and their potential applications // Journal of Hazardous Materials. 2008. Т. 150. С. 522–532. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.04.133

#### Информация об авторах

**Махортов Денис Сергеевич**, кандидат технических наук. E-mail: denis-mahortov1995@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Загороднюк Лилия Хасановна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: LHZ47@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Насонова Виктория Викторовна**, кандидат технических наук, руководитель отдела. E-mail: v.nasonova@fnrcps.ru. Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН. Россия, 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26.



Сумской Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 25.03.2024 г.

© Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Насонова В.В., Сумской Д.А., 2024

<sup>1</sup>Makhortov D.S., <sup>1</sup>Zagorodnyuk L.Kh., <sup>2</sup>Nasonova V.V., <sup>1,\*</sup>Sumskoy D.A.

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova

<sup>2</sup>Federal Scientific Center for Food Systems named after. V.M. Gorbатов RAS

\*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

## COMPOSITE BINDER USING ALUMINUM SILICATE FILLERS AND ORGANIC ADDITIVES OF BIOLOGICAL ORIGIN

**Abstract.** The effectiveness of using aluminosilicate fillers as components in composite binders, providing a significant increase in strength up to 55.4-95.7% is shown. The study of the microstructure of cement stones of binder compositions indicates a uniform distribution of aluminosilicate filler in the formed stone, dense fouling of the filler surfaces with crystalline new formations is noted, which indicates the active occurrence of hydration processes and an increase in the strength of the samples. Studies of the plasticizing properties of organic additives have established the effective dosage and type of additive. The features of hydration processes were studied according to the kinetics of heat release of composite binders prepared using various mineral fillers: broken ceramic bricks, volcanic ash and expanded clay dust and the most effective organic additive. It has been revealed that when modifying binder compositions prepared using various mineral fillers: volcanic ash, broken ceramic bricks and expanded clay dust, organic additives of biological origin. The most effective is the additive synthesized from cattle blood, which provides the best plasticizing effect and an increase in compressive strength in 2.....2.5 times relative to non-additive Portland cement. It has been established that the kinetics of heat release of composite binders with various mineral fillers: broken ceramic bricks; volcanic ash and expanded clay dust has its own specific characteristics, determined by the chemical and mineralogical composition of the mineral additives used. It should be noted that the composite binder using ceramic bricks exhibits the greatest chemical activity, which makes it possible to recommend this binder for wide use.

**Key words:** composite binders, broken ceramic bricks, volcanic ash, expanded clay dust, organic additive of biological origin

### REFERENCES

1. Anikanova A.L., Volkova O.V., Kudyakov A.I., Kurmangaliev A.I. Activated composite fluoroanhydrite binder [Aktivirovannoe kompozitsionnoe ftorangidritovoe vyazhushchee]. Construction materials. 2019. No. 1-2. Pp. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42 (rus)
2. Mashkin N.A., Kudyakov A.I., Barteneva E.A. Non-autoclaved foam concrete, dispersedly reinforced with mineral and fibrous additives [Neavtoklavnyy penobeton, dispersno-armirovanny mineralnymi voloknistymi dobavkami]. News of higher educational institutions. Construction. 2018. No. 8 (716). Pp. 58–68. (rus)
3. Murtazaev S.A.Yu., Uspanova A.S., Khadzhiyev M.R., Khadisov V.Kh. Analysis of the influence of technogenic waste in the form of screenings from crushing ceramic waste on the basic properties of cement composites [Analizvliyaniya tekhnogenykh otkhodov v vide otsevvov drobleniya keramicheskogo boya na osnovnye svoystva tsementnykh

kompozitov]. Construction materials and products. 2021. Vol. 4. No. 1. Pp. 27–34. (rus)

4. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh. Formation of the structure of multicomponent binder systems for alkaline mixing [Formirovanie struktury mnogokomponentnykh vyazhushchikh system shchelochnogo zatvoreniya]. Vestnik GGNTU. Technical science. 2020. Vol. 16. No. 1 (19). Pp. 48–56. DOI: 10.34708/GSTOU.2020.19.1.007 (rus)

5. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh. Possibilities of modifying binder systems with mineral additives [Vozmozhnosti modifikatsii vyazhushchikh system mineralnymi dobavkami]. Vestnik GGNTU. Technical science. 2023. Vol. 19. No. 1 (31). Pp. 96–102. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.21.24.010 (rus)

6. Zagorodnyuk L.Kh., Rakhimbaev Sh.M., Sumskoy D.A., Ryzhikh V.D. Features of hydration processes of binder compositions using waste expanded perlite sand [Osobennosti protsessov gidratatsii vyazhushchikh kompozitsiy s ispolzovaniem otkhodov vspuchennogo perlitovogo peska]. Bulletin of the Belgorod State Technological University.

V.G. Shukhova. 2020. No. 11. Pp. 75–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-75-88 (rus)

7. Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Sumskoy D.A., Al Mamuri S.K.Sh. Obtaining binder compositions of optimal compositions based on Portland cement and broken ceramic brick waste [Poluchenie vyazhushchikh kompozitsiy optimalnykh sostavov na osnove portlandtsementa i otkhodov boya keramicheskogo kirpicha]. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova. 2022. No. 7. Pp. 19–30. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-19-30 (rus)

8. Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Shapovalov N.A., Sumskoy D.A. Binder compositions from cement and expanded clay dust [Vyazhushchie kompozitsii iz tsementa i keramzitovoy pyli]. Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University. 2022. Vol. 19. No. 4 (86). Pp. 584–596. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596 (rus)

9. Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Sumskoy D.A. Cementing compositions based on Portland cement and volcanic ash [Vyazhushchie kompozitsii na osnove portlandtsementa i vulkanicheskogo pepla]. Construction materials and products. 2022. Vol. 5. No. 4. Pp. 30–38. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-4-30-38 (rus)

10. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. New generation composites for special structures [Kompozity novogo pokoleniya dlya spetsialnykh sooruzheniy]. Construction materials. 2021. No. 3. Pp. 9–17. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-789-3-9-17 (rus)

11. Glagolev E.S., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Podgornyi D.S. Composite binders and dry building mixes for 3d additive technologies. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 147. Pp. 229–235. DOI: 10.1007/978-3-030-68984-1\_34

12. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Increasing the efficiency of low-permeability cement composites [Povyshenie effektivnosti malopronitsaemykh tsementnykh kompozitov]. Bulletin of MGSU. 2021. Vol. 16. No. 10. Pp. 1346–1356. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.10.1346-1356 (rus)

13. Ignatova O.A., Dyatchina A.A. Influence of high-calcium ash composition on the composite binders' properties. Solid State Phenomena. 2021. Vol. 316. Pp. 1019–1024.

14. Bazhenov Y.M., Salamanova M.S., Murtazaev S.A.Y., Mintshev M.S. Structural composite materials based on anthropogenic raw stuff and clinkerless binders of alkaline tempering. Rasayan Journal of Chemistry. 2021. Vol. 14. No. 1. Pp. 409–423. DOI: 10.31788/RJC.2021.1415850

15. Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamuri S.K.Sh., Gunchenko T.S. Composite binders based

on concrete scrap [Kompozitsionnye vyazhushchie na osnove betonogo loma]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18 (rus)

16. Fediuk R., Baranov A., Mosaberpanah M., Lesovik V. Link of self-compacting fiber concrete behaviors to composite binders and superplasticizer. Journal of Advanced Concrete Technology. 2020. Vol. 18. No. 3. Pp. 67–82. DOI: 10.3151/jact.18.54

17. Dmitrak Yu.V., Vernigor V.V. Active mineral additives in the composition of composite binders [Aktivnye mineralnye dobavki v sostave kompozitsionnykh vyazhushchikh]. Concrete Technologies. 2022. No. 1 (180). Pp. 73–80. (rus)

18. Ilyina L.V., Samchenko S.V., Rakov M.A., Zorin D.A. Modeling the kinetics of cement composites modified with calcium-containing additives [Modelirovanie protsessov kinetiki tsementnykh kompozitov, modifitsirovannykh kaltsiy-soderzhashchimi dobavkami]. Nanotechnologies in construction: scientific online journal. 2023. Vol. 15. No. 5. Pp. 494–503. DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-494-503 (rus)

19. Anikanova A.L., Volkova O.V., Kudyakov A.I., Kurmangalieva A.I. Activated composite fluoroanhydrite binder [Aktivirovannoe kompozitsionnoe ftorangidritovoe vyazhushchee]. Construction materials. 2019. No. 1-2. Pp. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42 (rus)

20. Mashkin N.A., Kudyakov A.I., Barteneva E.A. Non-autoclaved foam concrete, dispersedly reinforced with mineral and fibrous additives [Neavtoklavnyy penobeton, dispersnoarmirovanny mineralnymi voloknistymi dobavkami]. News of higher educational institutions. Construction. 2018. No. 8 (716). Pp. 58–68. (rus)

21. Topchiy Yu.S., Khabirov D.M. Modified protein plasticizer for cement systems [Modifitsirovanny belkovyy plastifikator dlya tsementnykh sistem]. Concrete Technologies. 2013. No. 11. Pp. 46–47. (rus)

22. Cyr M., Ludmann C. Low risk meat and bone meal (MBM) bottom ash in mortars as sand replacement. Cement & Concrete Research. 2006. Vol. 36. Pp. 469–480. DOI: 10.1016/j.cemconres.2005.09.009

23. Coutand M., Cyr M., Deydier E., Guilet R., Clastres P. Characteristics of industrial and laboratory meat and bone meal ashes and their potential applications. Journal of Hazardous Materials. 2008. Vol. 150. Pp. 522–532. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.04.133

*Information about the author*

**Makhortov Denis Sergeevich.** PhD. E-mail: denis-mahortov1995@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Zagorodnyuk, Liliya K.** DSc, Professor. E-mail: LHZ47@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Nasonova, Victoria V.** PhD. E-mail: v.nasonova@fneps.ru. Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS. Russia, 109316, Moscow, st. Talalikhina, 26

**Sumskoy, Dmitry A.** PhD. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 25.03.2024*

**Для цитирования:**

Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Насонова В.В., Сумской Д.А. Композиционное вяжущее с использованием алюмосиликатных наполнителей и органических добавок биологического происхождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-8-18

**For citation:**

Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Nasonova V.V., Sumskoy D.A. Composite binder using aluminum silicate fillers and organic additives of biological origin. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-8-18