

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-23-32

¹Махортов Д.С., ¹Загороднюк Л.Х., ²Насонова В.В., ^{1,*}Сумской Д.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН

*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

МЕХАНИЗМ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК С КОМПОНЕНТАМИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО¹

Аннотация. Предложен механизм химического взаимодействия биологических добавок Д-1, Д-2, Д-3 с минеральными компонентами композиционного вяжущего, полученного совместной механоактивацией портландцемента и боя керамического кирпича. Добавки Д-1, Д-2 представляют собой продукты ферментативного гидролиза непищевых костей, копыт, шерсти, кожи крупнорогатого скота (КРС), отличающиеся только условиями гидролиза. Добавка Д-3 также продукт ферментативного гидролиза, но в качестве сырья использована непищевая кровь КРС. Цель ферментативного гидролиза – получение олигопептидов, молекулярная масса которых значительно меньше молекулярной массы исходных белковых структур, и увеличение количества гидрофильных групп. Образуются поверхностно-активные вещества с гидрофильными группами: NH₂ (аминогруппа) и COOH (карбоксильная группа). Добавки Д-1 и Д-2 не проявили себя как активные компоненты в составе композиционного вяжущего, вследствие наличия в их составе значительного количества серосодержащих аминокислот: цистина и метионина. Добавка Д-3 содержит минимальное количество серосодержащих аминокислот. Установлено, что добавка Д-3, взаимодействуя с катионами неорганических компонентов портландцемента и боя керамического кирпича, образует структуру, встраивающуюся в каркас композиционного вяжущего, что обеспечивает пластифицирующие свойства цементному тесту и способствует формированию равномерно распределенной мелкозернистой структуры цементного камня, который приобретает повышенную прочность, что подтверждается результатами физико-механических испытаний.

Ключевые слова: ферментативный гидролиз, биологические добавки, цистеин, цистин, метионин, белки, аминокислоты, краевой угол смачивания, структура цементного камня

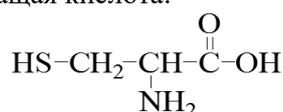
Введение. Для повышения качества и долговечности строительных объектов различного назначения требуется разработка новых эффективных строительных материалов и изделий, сочетающих высокие физико-механические и функциональные свойства при оптимальной стоимости [1–5]. Простым методом совершенствования свойств бетонов и растворов является модифицирование их различными добавками, эффективность которых доказана многолетним опытом [6–10]. Важную роль в строительной практике играют пластифицирующие добавки, которые обеспечивают высокие технологические и прочностные показатели [11–15]. Эти добавки могут иметь различное происхождение, являться побочными продуктами различных производственных процессов [16–20]. Несмотря на то, что к настоящему многие добавки достаточно изучены и имеется большой опыт их применения, проводится поиск и разработка новых добавок [21–25]. Определенный интерес для создания современных композитов представляют биологические пластифицирующие добавки [26].

Методология. В работе исследованы биологические 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. Сравнительные исследования по определению краевого угла смачивания проводили на установке KRUSSEasyDrop DSA-30. Качество портландцемента, вяжущей композиции и композиционного вяжущего определяли по ГОСТ 30744-2001.

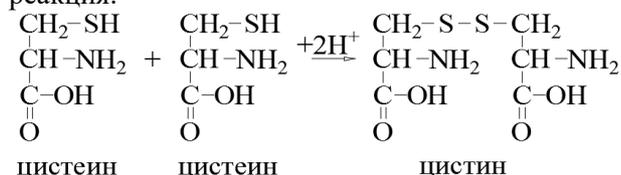
Основная часть. В проведенных ранее исследованиях были описаны биологические добавки и установлены особенности их влияния на технологические и физико-механические свойства композиционных вяжущих [27]. Существенное расхождение в числовых значениях нормальной густоты, сроков начала и конца схватывания, а также динамики нарастания прочностных показателей композиционных вяжущих, можно объяснить особенностями химического состава исследуемых добавок: Д-1, Д-2, Д-3.

¹ Результаты, изложенные в статье, были частично представлены при защите диссертационной работы Махортова Д.С. «Композиционные вяжущие для конструкционно-теплоизоляционных керамзитобетонов» (дата защиты 6.10.23), ранее не опубликовались

Так, в добавках Д-1 и Д-2 отмечается повышенное содержание серы, вследствие значительного содержания кератина – особой системы межклеточных фибриллярных протеинов (белков). Добавки Д-1 и Д-2 являются продуктами ферментативного гидролиза непищевой составляющей крупного рогатого скота: кости, копыта, шерсть, кожа. Различие между этими добавками определяется временем и условиями гидролиза. Эти добавки характеризуются наличием значительного количества цистеина, входящего в состав α – кератинов, основного белка костей, ногтей, кожи и волос. Цистеин – это алифатическая серосодержащая кислота:

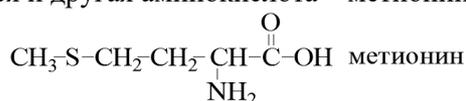


Вследствие наличия в составе цистеина высокореактивной SH-группы легко протекает ферментативная окислительно-восстановительная реакция:



Дисульфидная связь -S-S- часто образуется между двумя остатками цистеина внутри одной полипептидной цепи или между двумя полипептидными цепями. Взаимопревращения цистина в цистеин и наоборот осуществляется легко.

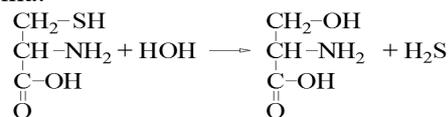
В цистин (через цистеин) может превращаться и другая аминокислота – метионин:



Следует отметить, что это превращение необратимое. Таким образом, в продуктах ферментативного гидролиза рогов, копыт и шерсти обнаруживаются цистин и метионин.

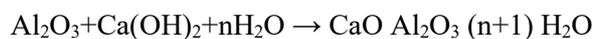
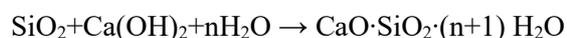
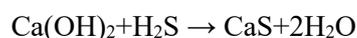
Добавки Д-1 и Д-2 не проявили себя положительно в композиционных вяжущих из-за значительного количества серосодержащих аминокислот. Молекула цистина изолирует компоненты

портландцементного клинкера и боя керамического кирпича, препятствуя их взаимодействию, а также идёт нежелательный процесс гидролиза цистеина:



Данный факт подтверждается результатами сроков схватывания композиционных вяжущих с использованием добавок Д-1 и Д-2, а также снижением показателей прочности при сжатии относительно композиционных вяжущих с добавкой Д-3.

Присутствие сероводорода нежелательно, т.к. он участвует в реакции образования CaS вместо целевых реакций по формированию гидросиликатов кальция и алюминия:



Для обеспечения протекания требуемых реакций гидратации необходимо исключить возможность образования CaS или снизить его количество до минимума. Это можно обеспечить путем использования белков с меньшим количеством серосодержащих аминокислот, разбавляя кератинсодержащие продукты, как это реализовано в добавке ЭСТ для бетонных смесей [9]. В её состав, кроме значительного количества серосодержащих белков шерсти, рогов, копыт, ввели животный протеин, получаемый из плазмы крови, роговицы.

Добавка Д-3 представляет собой смесь полипептидов (олигопептидов), молекулярная масса которых меньше молекулярной массы исходных белков крови.

В применяемой нами добавке Д-3 используется только белковый гидролизат крови крупного рогатого скота (КРС) с минимальным содержанием серосодержащих аминокислот: цистина, метионина. Кровь крупного рогатого скота имеет следующий химический состав (табл. 1).

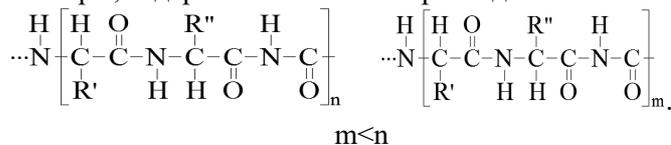
Таблица 1

Химический состав крови крупного рогатого скота

Состав крови	Количество, %	Состав крови	Количество, %
Вода	80,9	Кальций	0,006
Сухой остаток	19,1	Магний	0,003
Общее кол-во белков	17,3	Хлор	0,31
Гемоглобин	10,3	Фосфор общий	0,04
Сахар	0,07	Холестерин	0,19
Натрий	0,37	Лецитин	0,24
Калий	0,04	Жир	0,057
Железо	0,035	Жирные кислоты	–

Кровь КРС – это смесь белков определённого состава. В крови содержатся в основном: альбумин, глобулин и ферменты (ферменты – биологические катализаторы, содержатся в очень

малых количествах). Средняя молекулярная масса белков Д-3 до гидролиза более 250 кДа. В результате гидролиза альбумины и глобулины распадаются на более короткие олигопептиды:



Исходный альбумин имеет среднюю молекулярную массу 65 кДа, а исходный глобулин более 160 кДа. В результате гидролиза образуются продукты с меньшей молекулярной массой

от 5 до 15 кДа, что установлено методом электрофореза.

Состав аминокислот, установленный методом хроматографии (ГОСТ 34132-2017), приведен в таблице 2.

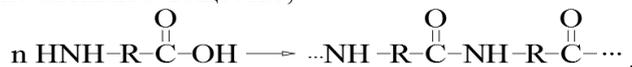
Таблица 2

Аминокислотный состав ферментативного гидролиза

№	Наименование аминокислот	Содержание связанных аминокислот (г/100 г продукта)	№	Наименование аминокислот	Содержание связанных аминокислот (г/100 г продукта)
1	Аспарагиновая кислота	4,05±0,61	10	Цистин	0,90±0,13
2	Глутаминовая кислота	10,44±1,57	11	Валин	3,06±0,46
3	Серин	2,25±0,34	12	Метионин	0,68±0,10
4	Гистидин	6,08±0,91	13	Фенилаланин	1,23±0,19
5	Глицин	0,96±0,14	14	Изолейцин	2,60±0,39
6	Треонин	4,80±0,72	15	Лейцин	4,80±0,72
7	Аргинин	2,23±0,34	16	Лизин	5,73±0,86
8	Аланин	3,40±0,51	17	Пролин	2,41±0,36
9	Тирозин	2,38±0,36	Всего		58,00±8,70

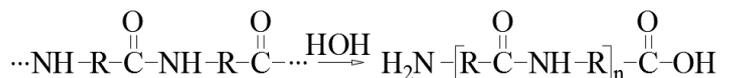
В результате ферментативного гидролиза наблюдается увеличение активных амино- и гидроксильных групп. При гидролизе образуется своеобразное поверхностно-активное вещество,

где роль гидрофобной структуры играет группа:

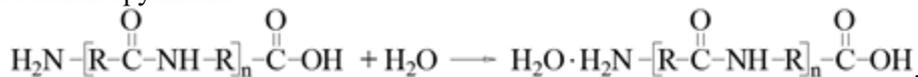


Взаимодействуя с водой, эта группа образует структуру с двумя гидрофильными группами:

-NH₂ (аминогруппа) и $\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ (карбоксильная группа):



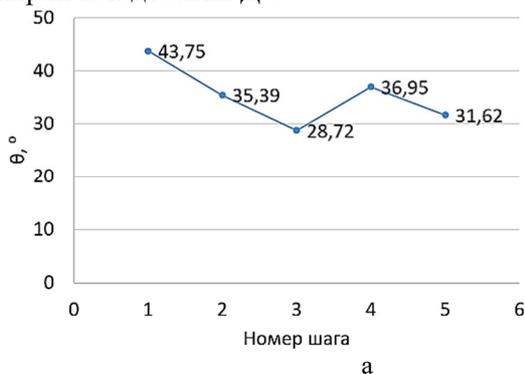
Компоненты добавки (полипептиды, аминокислоты) взаимодействуют с минералами портландцемента, боя керамического кирпича и водой, связывая её аминокруппами:



В процессе гидратационного твердения клинкерных минералов цемента биологическая добавка взаимодействует также с продуктами гидратации неорганических компонентов (портландцемента и боя керамического кирпича), оказывая определенное влияние на процессы схватывания вяжущего; процессы взаимодействия дисперсного порошка вяжущего с дисперсной

жидкой фазой, влияя на скорость тепловыделения, как критерия особенностей гидратации, исследуемых систем; на скорость процессов твердения; а также на формирование микроструктуры цементного камня. В ходе гидратации вода постепенно отщепляется от биологической добавки и вступает в химическое взаимодействие с образующимися минералами в сложной цементной системе.

Для определения технологических характеристик вяжущих с использованием ПАВ, в частности их пластифицирующих свойств, необходимо знать показатели угла смачивания. В связи с этим для определения степени гидрофобности поверхности исследуемых систем были определены показатели угла смачивания вяжущей композиции и композиционного вяжущего, приготовленных с применением боя керамического кирпича и добавки Д-3.



Определение краевого угла смачивания, проводили на установке KRUSSEasyDrop DSA-30.

На рисунке 1 представлена зависимость угла смачивания (Θ, °) от его измерения через определенный интервал времени (шагов) вяжущей композиции и композиционного вяжущего.

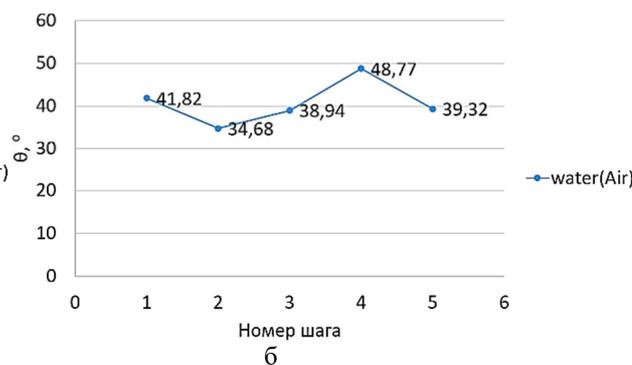


Рис. 1. Зависимость углов смачивания (Θ) вяжущей композиции (а) и композиционного вяжущего (б) от их измерения через определенный интервал времени (шагов)

Установлено, что показатель угла смачивания вяжущей композиции (цемент 90 % + бой керамического кирпича 10 %) составляет 35,29°.

Таким образом, исследования показали, что угол смачивания композиционного вяжущего (цемент 90 % + бой керамического кирпича 10 % + Д-3) имеет показатель 40,71°.

Согласно полученным данным, введение биологической добавки обеспечивает некоторое увеличение гидрофобности поверхности твердой фазы исследуемой системы состава: цемент 90 % + бой керамического кирпича 10 %, что выражается увеличением краевого угла смачивания поллярной жидкостью – водой (табл. 3).

результате формируется система равномерно распределенной дисперсной фазы в виде частиц композиционного вяжущего в объеме водной среды.

Полученные данные хорошо согласуются с изменением свободной энергии поверхности (табл. 3): при введении добавки отмечается снижение свободной энергии, что свидетельствует о частичной «закупорке» активной поверхности твердой фазы. Однако, разница в значениях незначительна, что означает, что после перераспределения жидкой фазы тонкими прослойками на поверхности твердых частиц, активность последних сохраняется.

Показатели краевого угла смачивания вяжущей композиции и композиционного вяжущего

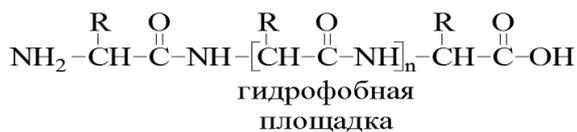
Таблица 3

Вяжущие	Краевой угол смачивания водой (Θ _в), °	Свободная энергия поверхности, мН/м
Вяжущая композиция	35,29	68,12
Композиционное вяжущее	40,71	65,52

Это косвенно подтверждает высказанное предположение о том, что биологическая добавка, адсорбируясь на поверхности твердой фазы, выступает структурно-химическим фактором, препятствующим флокуляции частиц цемента и водной дисперсионной среды при его гидратации, а также конгломерации высокодисперсных частиц боя керамического кирпича. В

Учитывая особенность химического состава биологической добавки Д-3, изучен механизм химического взаимодействия ее с компонентами композиционного вяжущего. Белки – это полипептиды, проявляющие свойства ионогенных пластификаторов. Но в отличие от типичных ионогенных ПАВ (анионоактивных или катионоактивных) в макромолекуле белка присутствуют две гидрофильные группы: NH₂ (аминогруппа) и

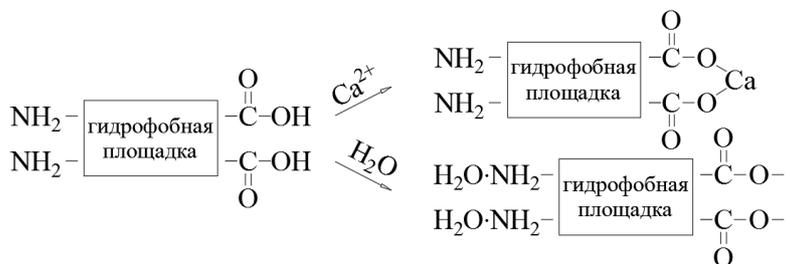




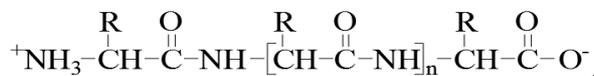
гидрофильная группа – NH₂ (носитель основных свойств) активно реагирует с водой и ионами кислотного характера (Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ и др.), которые содержатся в плазме крови и в результате

ферментативного гидролиза контролируется в белковом гидролизате.

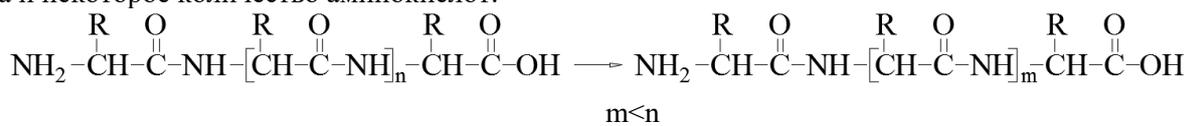
Карбоксильная группа – C(=O)-OH взаимодействует с катионами металлов (Na⁺, Ca²⁺, K⁺ и др.), которые также вследствие ферментативного гидролиза переходят в белковый гидролизат:



В водном растворе молекула белка образует бион:



В процессе ферментативного гидролиза макромолекула белка распадается на большое количество макромолекул меньшего молекулярного веса и некоторое количество аминокислот:



В водном растворе гидрофобная часть молекул значительно уменьшается, о чем свидетельствует слабая гидрофобизация поверхности композиционного вяжущего (табл. 3), но резко возрастает количество гидрофильных групп (–NH₂ и –C(=O)-OH), которые могут реагировать не только с анионами и катионами плазмы крови, но также с основными и кислотными структурами портландцемента и боя керамического кирпича, связывая воду на начальном этапе гидратации портландцемента. Аминогруппа постепенно отдает

воду, изменяя таким образом процесс гидратации, что несомненно влияет на прочность композиционного вяжущего, за счёт основной группы возможна также физическая адсорбция на кислотных структурах портландцемента.

Биологическая добавка Д-3, взаимодействуя с катионами неорганических компонентов, образует структуру, встраивающуюся в формирующийся каркас цементного камня (рис. 2), что влияет на его прочность, при этом образуется более упорядоченная и стабильная затвердевающая структура.

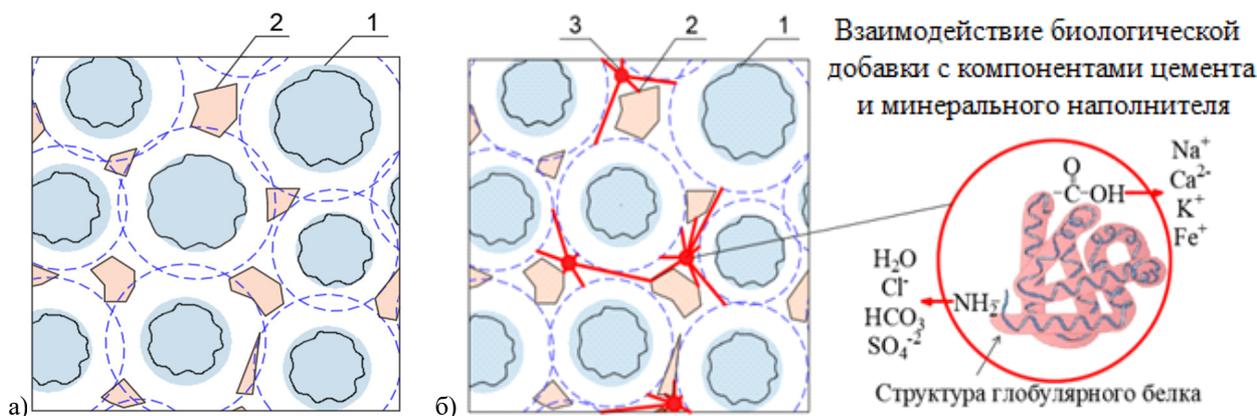


Рис. 2. Структура цементного камня вяжущей композиции (а) и композиционного вяжущего (б), 1 – зерна портландцемента; 2 – зерна минерального наполнителя; 3 – биологическая добавка

Сравнительные характеристики показателей прочности при сжатии образцов портландцемента и композиционного вяжущего (табл. 4) убедительно свидетельствуют, что присутствие биологической добавки в композиционном вяжущем способствует стабильному увеличению

прочности в возрасте 2 сут с 19,2 МПа до 45,69 МПа, а в возрасте 28 сут с 50,1 МПа до 121,58 МПа, что превосходят показатели прочности портландцемента в 2,38 раза и в 2,42 раза, соответственно.

Таблица 4

Сравнительные характеристики портландцемента, вяжущей композиции и композиционного вяжущего

Вяжущие	НГ, %	Сроки схватывания, мин		R _{ср} , кг/м ³	R _{сж} 2 сут, МПа	R _{сж} 28 сут, МПа
		начало	конец			
Портландцемент	25,6	95	308	2350	19,2	50,1
Вяжущая композиция	33,1	171	215	2277	37,26	98,05
Композиционное вяжущее	27,2	90	280	1905	45,69	121,58

Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанные составы композиционных вяжущих с использованием биологической добавки для изготовления бетонов и строительных растворов различного назначения.

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Биологические добавки Д-1 и Д-2 не проявили себя положительно в композиционных вяжущих из-за содержания в них значительного количества серосодержащих аминокислот, т.к. молекулы цистина изолируют минеральные компоненты портландцемента и боя керамического кирпича, препятствуя их химическому взаимодействию. При этом имеет место нежелательный процесс гидролиза цистеина с образованием сероводорода H₂S. Вместо формирования гидросиликатов кальция и алюминия образуется нежелательный ольдгамит CaS, что подтверждается результатами рентгенофазового анализа и снижением показателей прочности при сжатии образцов композиционных вяжущих.

2. Предложен механизм химического взаимодействия биологической добавки Д-3, синтезированной из крови КРС, с минеральными компонентами композиционного вяжущего. Добавка Д-3, взаимодействуя с катионами неорганических компонентов, образует структуру, встраивающуюся в каркас, что обеспечивает пластифицирующие свойства цементному тесту и способствует формированию равномерно распределенной мелкозернистой структуры цементного камня, обладающего повышенной прочностью, что подтверждается проведенными исследованиями.

3. Использование в качестве пластифицирующей биологической добавки Д-3 в составе композиционного вяжущего позволяет утилизировать непищевую кровь КРС, образующуюся на скотобойнях, тем самым снижая антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Благодарность. Авторы выражают глубокую благодарность д.х.н., профессору Е.Э. Потапову (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА) и канд. техн. наук, доценту И.В. Тикуновой (БГТУ им. В.Г. Шухова) за конструктивные и ценные советы, замечания и помощь в выполнении работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крамар Л.Я., Кудяков А.И., Трофимов Б.Я., Шудяков К.В. Цементные тяжелые бетоны для строительства скоростных автомобильных дорог // Вестник ТГАСУ. 2017. № 4 (63). С. 147–157.
2. Кудяков В.А., Кудяков А.И., Лукьянчиков С.А., Кудяков К.Л. Управление технологическими процессами производства модифицированных бетонов // Вестник ТГАСУ. 2017. № 6 (65). С. 116–126.
3. Kudyakov A.I., Kopanitsa N.O., Kasatkina A.V., Prischepa I.A., Sarkisov J.S. Foam concrete of increased strength the thermomodifier peat additives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 71(1). 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/71/1/012012
4. Аниканова А.Л., Волкова О.В., Кудяков А.И., Курмангалиева А.И. Активированное композиционное фторангидридовое вяжущее // Строительные материалы. 2019. № 1-2. С. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42
5. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсноармированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8. С. 58–68.
6. Макридин Н.И., Максимова И.Н., Овсянкова Ю.В. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Ч. 2 // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 72–75.

7. Калашников В.И., Мороз М.Н., Тараканов О.В. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размотых с цементом или минеральными породами // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 70–75.
8. Несветаев Г.В., Корчагин И.В., Потапова Ю.И. О влиянии суперпластификаторов на пористость цементного камня // *Научное обозрение*. 2014. № 7. С. 837–841.
9. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Некоторые особенности механизма действия органо-минеральных модификаторов на цементные системы // *Сейсмическое строительство. Безопасность сооружений*. 2017. № 1. С. 40–46.
10. 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
11. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // *Life Science Journal*. 2014. Т. 11. № 12. С. 948–953.
12. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Шамшуров А.В., Беликов Д.А. Композиционные вяжущие на основе органо-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2014. № 5. С. 25–31.
13. Plank J., Hirsch C. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption // *Cement and Concrete Research*. 2007. Т. 37. № 4. С. 537–542.
14. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 82–85.
15. Дугуев С.В. Механохимическая активация в производстве сухих строительных смесей // С.В. Дугуев, В.Б. Иванова // *Строительные материалы*. 2000. № 5. С. 28–30.
16. Дудынов С.В. Биологические добавки для строительных материалов // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 4. С. 95–198.
17. Русанов А.И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ. С.-Пб.: Химия. 1992. 280 с.
18. Скрипкюнас Г., Яковлев Г.И., Карпова Е.А., Мохамед Э.А.Э.М. Изменение реологических свойств наномодифицированных цементных систем // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 2. С. 43–50.
19. 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
20. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 9. Pp. 816–819. DOI: 10.3923/rjasci.2014.816.819
21. Баталин Б.С., Газетдинов Д.Р. Исследование влияния белкового пенообразователя на агрегативную устойчивость порландцемента // *Известия Вузов. Строительство*. 2008. № 6. С. 38–40.
22. Топчий Ю.С., Хабиров Д.М. Модифицированный белковый пластификатор для цементных систем // *Технологии бетонов*. 2013. № 11 (88). С. 46–47.
23. Елисеев С.А., Кучер Р.В. Поверхностно-активные вещества и биотехнология. Киев: Науковадумка, 1991. 116 с.
24. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // *Advanced Concrete Technology*. 2003. № 1. С. 5–15.
25. Song H., Pei Yu.V., Xiang M.K. Study on the compatibility of cement-superplasticizer system based on the amount of free solution // *Technological Sciences*. 2011. Т. 54. № 1. С. 183–189.
26. Morin V., Cohen F., Feylessouli A., Richard P. Superplasticizer effects on setting and structuration mechanisms of ultra high performance concrete // *Cement and Concrete Research*. 2001. Vol. 31. Pp. 63–71.
27. Загороднюк Л.Х., Насонова В.В., Сумской Д.А., Махортов Д.С. 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

Информация об авторах

Махортов Денис Сергеевич, кандидат технических наук. E-mail: denis-mahortov1995@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 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 13.06.2024 г.

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

¹*Makhortov D.S.*, ¹*Zagorodnyuk L.Kh.*, ²*Nasonova V.V.*, ^{1,*}*Sumskoy D.A.*

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

²*Federal Scientific Center for Food Systems named after. V.M. Gorbatov RAS*

*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

MECHANISM OF CHEMICAL INTERACTION OF ORGANIC ADDITIVE OF BIOLOGICAL ORIGIN WITH COMPONENTS COMPOSITE BINDER

Abstract. A mechanism is proposed for the chemical interaction of an organic additive synthesized from the blood of cattle with the mineral components of a composite binder obtained by the joint mechanical activation of Portland cement and broken ceramic bricks. It has been established that the organic additive, interacting with the cations of inorganic components, forms a structure that is built into the frame, which provides plasticizing properties to the cement paste and contributes to the formation of a uniformly distributed fine-grained structure of the cement stone, which acquires increased strength, which is confirmed by the results of physical and mechanical tests. It has been determined that organic additives D-1 and D-2 are products of enzymatic hydrolysis of inedible bones, hooves, wool, and skin of cattle, differing in the time and conditions of hydrolysis. Additive D-3 is a mixture of polypeptides (oligopeptides), the molecular weight of which is less than the molecular weight of the original blood proteins and amino acids, which uses only protein hydrolyzate of cattle blood with a minimum content of sulfur-containing amino acids: cystine, methionine. As a result of hydrolysis, active amino and hydroxyl groups increase, which act as a surfactant; when interacting with water, these groups form a structure with two hydrosilicate groups: NH₂ (amino group) and (carboxyl group), which interact with the minerals of Portland cement, cullet ceramic brick and water, binding it with amino groups. Organic additive D-3, interacting with cations of inorganic components, contributes to the formation of a uniformly distributed fine-grained structure of cement stone, which has increased strength, which is confirmed by research.

Keywords: organic additives of biological origin, cysteine, amino groups, polypeptides, amino acids, contact angle, structure of cement stone

REFERENCES

1. Kramar L.Ya., Kudyakov A.I., Trofimov B.Ya., Shuldyakov K.V. Cement heavy concrete for the construction of high-speed roads [Tsementnyye tyazhelye betony dlya stroitelstva skorostnykh avtomobilnykh dorog]. Bulletin of TGASU. 2017. No. 4 (63). Pp. 147–157. (rus)
2. Kudyakov V.A., Kudyakov A.I., Lukyanichikov S.A., Kudyakov K.L. Management of technological processes for the production of modified concrete [Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami proizvodstva modifitsirovannykh betonov]. Bulletin of TGASU. 2017. No. 6 (65). Pp. 116–126. (rus)
3. Kudyakov A.I., Kopanitsa N.O., Kasatkina A.V., Prischepa I.A., Sarkisov J.S. Foam concrete of increased strength the thermomodifier peat additives.

IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 71(1). 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/71/1/012012

4. 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)

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

6. Makridin N.I., Maksimova I.N., Ovsyukova Yu.V. Long-term strength of the modified structure of cement stone. Part 2 [Dolgovremennaya prochnost

modifitsirovannoy struktury tsementnogo kamnya]. Construction materials. 2011. No. 7. Pp. 72–75. (rus)

7. Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Tarakanov O.V. New ideas about the mechanism of action of superplasticizers ground together with cement or mineral rocks [Novye predstavleniya o mekhanizme deystviya superplastifikatorov, sovместно razmolotnykh s tsementom ili mineralnymi porodami]. Construction materials. 2014. No. 9. Pp. 70–75. (rus)

8. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Potapova Yu.I. On the influence of superplasticizers on the porosity of cement stone [O vliyaniy superplastifikatorov na poristost tsementnogo kamnya]. Scientific Review. 2014. No. 7. Pp. 837–841. (rus)

9. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V. Some features of the mechanism of action of organomineral modifiers on cement systems [Nekotorye osobennosti mekhanizma deystviya organomineralnykh modifikatorov na tsementnye sistemy]. Seismic construction. Safety of structures. 2017. No. 1. Pp. 40–46. (rus)

10. 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 BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 11. Pp. 75–88. (rus)

11. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials. Life Science Journal. 2014. Vol. 11. No. 12. Pp. 948–953.

12. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Shamshurov A.V., Belikov D.A. Composite binders based on an organo-mineral modifier for dry repair mixtures [Kompozitsionnye vyazhushchie na osnove organo-mineralnogo modifikatora dlya sukhikh remontnykh smesey]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhova. 2014. No. 5. Pp. 25–31. (rus)

13. Plank J., Hirsch C. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption. Cement and Concrete Research. 2007. Vol. 37. No. 4. Pp. 537–542.

14. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Belikov D.A., Shchekina A.Yu., Kuprina A.A. Effective dry mixtures for repair and restoration work [Effektivnye sukhie smesi dlya remontnykh i vosstanovitelnykh rabot]. Building materials. 2014. No. 7. Pp. 82–85. (rus)

15. Duguev S.B., Ivanova V.B. Mechanochemical activation in the production of dry building mixtures [Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya v proizvodstve sukhikh stroitelnykh smesey]. Construction materials. 2000. No. 5. Pp. 28–30. (rus)

16. Dudynov S.V. Biological additives for building materials [Biologicheskie dobavki dlya stroitelnykh materialov]. Innovations and investments. 2020. No. 4. Pp. 95–198. (rus)

17. Rusanov A.I. Micelle formation in solutions of surfactants [Mitselloobrazovanie v rastvorakh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv]. S.-Pb.: Chemistry. 1992. 280 p. (rus)

18. Skripkyunas G., Yakovlev G.I., Karpova E.A., Mohamed E.A.E.M. Change in the rheological properties of nanomodified cement systems [Izmenenie reologicheskikh svoystv nanomodifitsirovannykh tsementnykh sistem]. Industrial and Civil Construction. 2017. No. 2. Pp. 43–50. (rus)

19. 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)

20. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin. Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 9. Pp. 816–819.

21. Batalin B.S., Gazetdinov D.R. Study of the influence of a protein foaming agent on the aggregative stability of Portland cement [Issledovanie vliyaniya belkovogo penoobrazovatelya na agregativnyuyu ustoychivost portlandtsementa]. Izvestia Vuzov. Construction. 2008. No. 6. Pp. 38–40. (rus)

22. Topchiy Yu.S., Khabirov D.M. Modified protein plasticizer for cement systems [Modifitsirovannyy belkovyy plastifikator dlya tsementnykh sistem]. Concrete Technologies. 2013. No. 11(88). Pp. 46–47. (rus)

23. Eliseev S.A., Kucher R.V. Surfactants and biotechnology [Poverkhnostno-aktivnye veshchestva i biotekhnologiya]. Kyiv: Naukova Dumka, 1991. 116 p. (rus)

24. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete. Advanced Concrete Technology. 2003. No. 1. Pp. 5–15.

25. Song H., Pei Yu.V., Xiang M.K. Study on the compatibility of cement-superplasticizer system based on the amount of free solution. Technological Sciences. 2011. Vol. 54. No. 1. Pp. 183–189.

26. Morin V., Cohen F., Feylessouli A., Richard P. Superplasticizer effects on setting and structuration mechanisms of ultra high performance concrete. Cement and Concrete Research. 31. 2001. Pp. 63–71.

27. Zagorodnyuk L.Kh., Nasonova V.V., Sumskoy D.A., Makhortov D.S. Composite binder

using aluminosilicate fillers and organic additives of biological origin [Kompozitsionnoe vyazhushchee s ispolzovaniem alyumosilikatnykh napolniteley i or-

ganicheskikh dobavok biologicheskogo proiskhozhdeniya]. Bulletin of the Belgorod State Technological University. V.G. Shukhova. 2024. No. 6. Pp. 8–18 (rus)

Information about the authors

Makhortov, Denis S. 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@fnpcs.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 13.06.2024

Для цитирования:

Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Насонова В.В., Сумской Д.А. Механизм химического взаимодействия биологических добавок с компонентами композиционного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 11. С. 23–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-23-32

For citation:

Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Nasonova V.V., Sumskoy D.A. Mechanism of chemical interaction of organic additive of biological origin with components composite binder. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 11. Pp. 23–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-23-32