

MPНТИ 67.09.31

А.С. Естемесова¹ – основной автор, ©
Е.И. Кульдеев², Р.Е. Нурлыбаев³,
З.Н. Алтаева⁴, Е.С. Орынбеков⁵



^{1,3}Канд. техн. наук, профессор, ²PhD,
⁴Канд. техн. наук, ассоц. профессор,
⁵Канд. техн. наук, ассоц. профессор-исследователь

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-1499-7994> ²<https://orcid.org/0000-0001-8216-679X>
³<https://orcid.org/0000-0003-0161-6256> ⁴<https://orcid.org/0000-0001-9596-0511>
⁵<https://orcid.org/0000-0003-2131-6293>



^{1,4,5}Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан



^{2,3}Казахский национальный исследовательский технический университет им.
К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

@

¹axaya73@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/XSYG2142>

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО И ДИАТОМИТА

Аннотация. В статье представлены данные по исследованию и разработке сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатомита, перлитового песка и комплекса специальных добавок. Вяжущее получено на основе портландцемента ЦЕМ II 32,5, минеральной добавки из отхода обогащения ГОК и микрокремнезема, активность модифицированного вяжущего составляет 33,61 МПа. Установлена оптимальная температура модификации диатомита в 900°C, при которой прочность при сжатии составила 5,02 МПа. Разработанные составы теплоизоляционных смесей показали марку М75 и М100, водоудерживающая способность на 2-4% выше нормативного, коэффициент теплопроводности составов колеблется в пределах от 0,165 Вт/м°C до 0,183 Вт/м°C, что позволяет их отнести к теплоизоляционным материалам. Установлена адгезионная прочность и на ее величину влияет вид подложки, так прочность сцепления для бетонного основания $R_{сц} = 0,35-0,41$ МПа и для кирпичного основания $R_{сц} = 0,35-0,43$ МПа, прирост составляет 22,8%. Морозостойкость отделочного теплоизоляционного состава соответствует марке F50 и морозостойкость контактной зоны также составила марку $F_{кз}50$. Установлено, что применение модифицированного вяжущего и термически активированного диатомита повышает прочность на сжатие теплоизоляционных смесей, способствует повышению ранней структурной прочности и ускоряет процессы упрочнения цементно-диатомитово-перлитовых смесей.

Ключевые слова: модифицированное вяжущее, портландцемент, отход обогащения ГОК, микрокремнезем, модифицированный диатомит, вспученный перлитовый песок, редуцируемый полимерный порошок, водоудерживающая способность, теплопроводность, морозостойкость.



Естемесова, А.С. Сухие строительные теплоизоляционные смеси на основе модифицированного вяжущего и диатомита [Текст] / А.С. Естемесова, Е.И. Кульдеев, Р.Е. Нурлыбаев, З.Н. Алтаева, Е.С. Орынбеков // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.327-347. <https://doi.org/10.55956/XSYG2142>

Введение. Постоянная тенденция роста затрат на электроэнергию требует качественной тепловой защиты зданий. Рациональным способом повышения теплозащиты является внешняя теплоизоляция за счет применения теплоизоляционных штукатурных составов.

Строительство зданий с высокими требованиями к энергосбережению является одной из приоритетных задач общества и строительного материаловедения. Согласно современным строительным нормам требуемое сопротивление теплопередаче увеличилось почти в 3 раза. Теплоизоляция во многом определяет затраты на энергию, отопление и создание благоприятных условий в помещениях. Соответственно, это требует создание эффективных теплоизоляционных материалов и решений с учетом технических, экологических и экономических свойств материала [1-5].

Смесь сухой теплоизоляционной штукатурки может использоваться не только при строительстве новых зданий и сооружений, но и при реконструкции существующих гражданских и промышленных зданий. В ценовой структуре сухой смеси себестоимость производства сырья составляет до 30-40%, в связи с чем актуальным является применение местного сырья при составлении сухих смесей с улучшенными тепловыми характеристиками.

Цементно-песчаные и известково-песчаные растворы обладают низкими теплоизоляционными свойствами и для регулирования теплоизоляционных свойств сухих смесей используют такие наполнители, как: вспученный перлит или вермикулит, пенопласт, диатомит, пенополистирольный наполнитель и др. [3-8]. Благодаря им достигаются самые высокие теплоизоляционные свойства и снижается плотность отделочного состава.

Перлитовый песок обладает хорошими теплофизическими характеристиками, его теплопроводность в зависимости от насыпной плотности варьируется от 0,043 Вт/м⁰С до 0,093 Вт/м⁰С и соответственно он нашел широкое применение [9-12] в технологии создания сухих теплоизоляционных смесей многими европейскими и местными производителями сухих смесей. Для достижения более высоких показателей теплопроводности имеются данные о введении в смесь на основе перлитового наполнителя воздухововлекающей добавки, этот способ используют производители «Ceresit St 24» и «Thermo-Lite».

Низкий коэффициент теплопроводности свойственен и диатомитовому наполнителю, который составляет от ~0,05 Вт/м⁰С до ~0,07 Вт/(м⁰С) и он может изменяться от вида его модификации и соответственно плотности [7-14].

В некоторых случаях теплоизоляционные смеси могут быть только доутепляющим материалом, так как некоторые несущие поверхности изначально имеют очень небольшое сопротивление теплопередаче, в результате чего только достаточный слой изолирующей штукатурки может помочь привести этот показатель в установленные нормы. Как правило, смесь наносят в несколько слоев, каждый толщиной в 2...3 см, но не более 15 см [10-15].

Сухие строительные теплоизоляционные составы обладают невысокими показателями по прочности на сжатие, что связано с применением большого количества наполнителей для улучшения теплоизоляционных свойств отделочного покрытия. Невысокая прочность, однозначно влияет на долговечность отделочного покрытия, морозостокость

и другие физико-механические показатели смеси. Есть необходимость в разработке новых эффективных теплоизоляционных сухих смесях характеризующихся высокой прочностью и низкой теплопроводностью.

Анализ данных показывает, что наполнители из диатомита и перлита очень эффективны для производства сухих строительных теплоизоляционных смесей.

На территории Актюбинской области Республики Казахстан имеются значительные запасы диатомита, одним из ценных свойств которого является возможность его применения в различных строительных материалах, в том числе и сухие строительные смеси [7,8,11]. Активность взаимодействия диатомита с минеральными вяжущими (цемент, известь) связана с содержанием аморфного SiO_2 , количество его может колебаться в пределах от 40 до 100% от общего количества SiO_2 . Активация диатомита может быть достигнута за счет увеличения содержания в нем аморфного диоксида кремния, методами термической модификации или обработкой золем кремниевой кислоты.

По данным геологической службы Республики Казахстан, кремнистые породы в Актюбинской области имеют широкое распространение. Диатомит это рыхлая или слабо сцементированная кремнистая осадочная порода, состоящая из раковин диатомовых водорослей белого, серого или розового цвета. В естественном состоянии диатомит это пористый материал до 80...85%. По конфигурации эти поры закрытые и неглубокие. Химический состав в чистом виде можно выразить формулой $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Кремнезем в диатомитах находится в аморфном состоянии и составляет 78-95%, содержатся в небольшом количестве и карбонаты кальция, магния и другие примеси.

Ранее проведенные исследования природного диатомита методом электронного микроскопа показали наличие квазидвумерных решеток, указывающих на наноструктуру исследуемого материала-диатомита. Основная часть породы состоит из мельчайших опаловых остатков планктонных диатомовых водорослей (около 70%) размером от 0,14 до 0,16 мкм, при этом встречаются образцы размером до 0,20-0,22 мкм. Створки диатомей имеет цилиндрическую, линейную (стержневую) и дисковую форму. Стенки створок пронизывают поры размером до 200 нм.

Свободное пространство диатомовых водорослей заполнено коллоидным кремнеземом. В качестве примеси присутствуют короткие игольчатые чешуйки глинистых минералов размером до 0,01-0,02 мкм. Так, образцы месторождения «Жалпак» относятся к биогенной кремнеземосодержащей породе, представленной остатками организмов, строящих кремнеземный скелет (шпигель губок, листья диатомовых водорослей, скелеты радиолярий). Сравнительный анализ также показал, что диатомит Актюбинского месторождения является более качественным по составу и его можно использовать для производства строительных композитов.

Достаточные запасы кремнистых пород на территории Актюбинской области Республики Казахстан дают возможность организовать производство эффективных теплоизоляционных сухих строительных смесей.

В работе также рассмотрена возможность использования отходов промышленности, а именно отходы обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината, что имеет большое экономическое и экологическое значение. Из-за огромных техногенных образований в виде

отвалов горно-обогатительных заводов, которые являются причиной безвозвратной утраты природных ресурсов, отчуждения земель из сельскохозяйственного оборота и загрязнения больших площадей.

Введение в цемент активных минеральных добавок позволяет получить бетоны и растворы с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, то есть повысить плотность, водостойкость, морозостойкость, прочность одновременно снижая расход клинкерного цемента [10-17].

Работы ведущих научно-исследовательских институтов в области бетона и железобетона показали возможность значительного улучшения качественных и технологических характеристик бетона с использованием вяжущих веществ, полученных путем измельчения клинкера или цементного домола в сочетании с суперпластификатором или другими высокоэффективными добавками. В измельченном клинкере происходит своеобразная модификация активных поверхностей вследствие возникновения твердофазной реакции между органическими добавками и полиминеральным клинкерным порошком (цементом), в результате чего эти органоминеральные модифицированные вяжущие вещества характеризуются низкой потребностью в воде до 40% и менее, чем у традиционного портландцемента, что положительно влияет на комплексные свойства цементных систем.

Масштабы строительства объектов с применением портландцемента с каждым годом растут, в результате чего возникает вопрос о снижении расхода клинкерного цемента из-за большой энергоемкости производства, и заменой ее части активными минеральными добавками.

Производство комплексных минеральных добавок на основе отходов горнодобывающих и перерабатывающих предприятий ограничено из-за их недостаточной изученности физико-механических свойств и процессов протекающих в цементной системе.

Таким образом, целью исследования является разработка рецептуры сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе комплексного вяжущего с применением отходов обогащения Балхашского ГОК, модифицированного диатомита, перлитового песка, специальных добавок и исследование основных физико-механических и физико-химических процессов протекающих в цементной системе.

Условия и методы исследований. Для приготовления сухой строительной теплоизоляционной смеси использовали следующие материалы:

1. Портландцемент ЦЕМ II 32,5, активностью 32,7 МПа, ТОО «Бухтарминская цементная компания»;

2. Модифицированное вяжущее на основе портландцемента ЦЕМ II 32,5 и минеральной добавки (отход обогащения ГОК и микрокремнезема 70:30), активностью 33,61 МПа;

3. Диатомит Жалпаксайского месторождения Мугалжарского района, Актюбинской области. Средняя плотность диатомита в куске составляет 300 – 500 кг/м³, средняя плотность в рыхлом состоянии 220 – 350 кг/м³, истинная плотность – 2000 кг/м³, насыпная плотность – 280 кг/м³. Химический состав модифицированного диатомита представлен в виде: SiO₂ – 86,55%; Al₂O₃ – 6,52%; Fe₂O₃ – 3,20%; оксиды кальция, магния, серы менее 1%. Таким образом, модифицированный диатомит состоит из дисперсных частиц диоксида кремния с развитой наномасштабной пористой структурой.

4. Вспученный перлитовый песок М150, коэффициент теплопроводности 0,058 Вт/м°C. По своим химическим свойствам перлитовый песок можно отнести к пуццолановому материалу с высокой реакционной способностью, который в смеси с CaO образует C-S-H, алюминаты и алюмосиликаты кальция благодаря высокому содержанию аморфного SiO₂ – 76,0%, Al₂O₃ – 12,90% и низкому содержанию CaO – 2,30%.

5. В качестве добавок применяли:

– эфиры целлюлозы WeKcelo MP 150HMR, объемной плотностью 0,35 ~ 0,45 г/см³, рН – 6,0-8,5, размер частиц <180 мкм, обладает улучшенным водоудержанием;

– Berolan LP-W1, воздухововлекающая добавка, неиногенный гидрофильный поверхностно-активный порошок. Улучшает подвижность, удобоукладываемость и морозостойкость;

– релаксируемый сополимерный порошок Dairen 3500, представляет собой сополимер винилацетата и этилена, что позволяет получать высокую устойчивость к действию щелочных растворов сухих строительных смесей, и высокую прочность сцепления теплоизоляционных составов.

– микрокремнезем – это наноматериал, отход производства кремнийсодержащих сплавов: ферросилиция и кристаллического кремния. В процессе плавления шихты и восстановления кварца при температуре более 1800°C образуются гелеобразный кремний, при охлаждении и контакте с воздухом окисляется до SiO₂ и конденсируется в виде частиц сверхтонкого кремнезема (рисунок 1), элементный состав представлен в таблице 1.

– Отход обогащения (отвалыные хвосты) Балхашского горно-обогатительного комбината. Химический состав представлен в виде: SiO₂ – 62,50%; Fe₂O₃ – 1,30%; Al₂O₃ – 0,25%; CaO – 2,0%; MgO – 1,15%; Собщ – 10,35%. На рисунке 2 представлена диаграмма размерности частиц отхода обогащения Балхашского ГОК. Анализ размерности частиц определяли на лазерном дифракционном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTec (Fritsch).

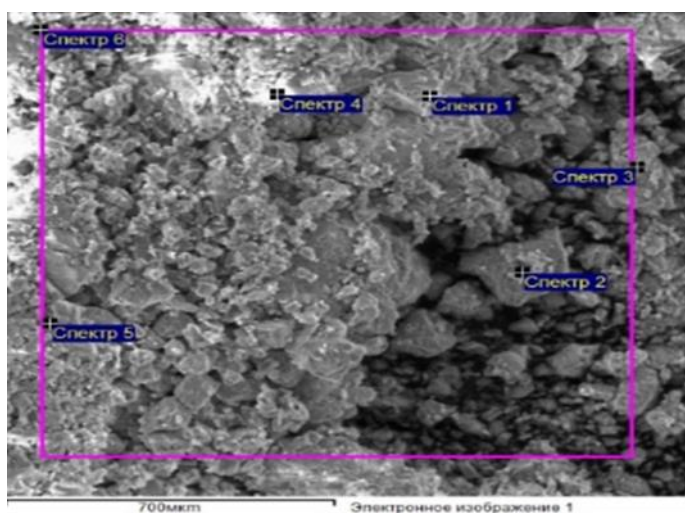


Рис. 1. Спектры рентгеновской флуоресценции микрокремнезема компании General Service

Таблица 1

Элементарный состав микрокремнезем от General Service

Спектр	Концентрация обнаруженных элементов, % по массе					Итого
	С	О	Si	К	Са	
С1	-	31,56	67,41	1,03	-	100
С2	3,13	65,57	31,30	-	-	100
С3	-	59,63	40,0	0,37	-	100
С4	-	35,79	63,53	0,68	-	100
С5	0,01	59,89	39,77	0,33	-	100
С6	9,00	56,45	33,96	0,24	0,35	100
Макс.	9,00	65,49	67,39	1,07	0,30	
Мин.	0,01	31,55	31,37	0,24	0,29	

Данные рисунка 1 и таблицы 1 показывают, что в микрокремнеземе компании ТОО «General Service» (Караганда) содержание SiO_2 достигает до 99,8% и располагаясь в порах цементного камня, сверхтонкие частицы кремнезема повышают плотность, прочность, водонепроницаемость и долговечность материала. Размер частиц составляет от 100 до 500 нм.

Микрокремнезем соответствует требованиям ГОСТ Р 56196-2014 «Добавки активные минеральные для цементов. Общие технические условия».

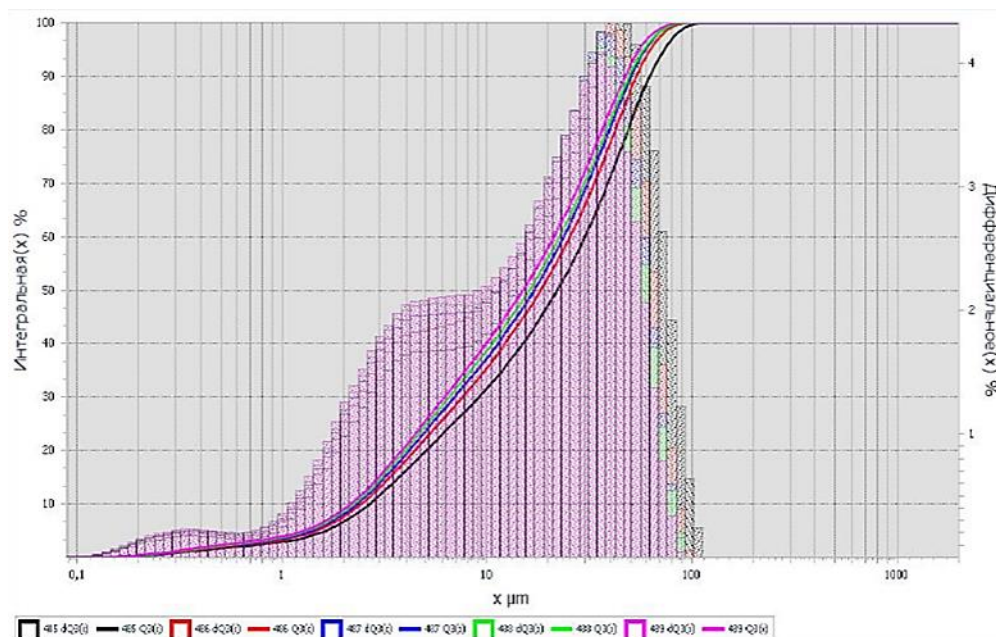


Рис. 2. Диаграмма размерности частиц отхода обогащения Балхашского ГОК

Данные рисунка 2, диаграммы размерности частиц отхода обогащения в среднем составляет от 70 до 100 нм.

В работе использовались стандартные методы исследования и испытаний действующие на территории РК. Испытания портландцемента согласно ГОСТ 31108 и ГОСТ 30744. Испытания перлитового песка согласно ГОСТ 10832-2009. Испытания микрокремнезема согласно ГОСТ Р 58894-2020. Испытания минеральных добавок согласно ГОСТ 25094-2015.

Испытания на теплопроводность согласно ГОСТ 7076-99. Испытания сухих строительных смесей согласно СТ РК 1168-2006, ГОСТ 5802-86, ГОСТ 31357-2007, ГОСТ 31356-2007 и др.

Результаты исследований. Добавки, используемые в технологии производства цемента подразделяются на активные минеральные добавки, наполнители, технологические добавки и добавки, регулирующие основные и специфические свойства цемента. Активные минеральные добавки должны обладать либо гидравлическими либо пуццолановыми свойствами. Проявление этих свойств определяется по внешним показателям (сроки схватывания, прочность и непроницаемость затвердевшего теста) или путем прямого измерения их химической активности.

Активность пуццолановую минеральных добавок определяли в соответствии с упрощенной методикой Фраттини. На 1 грамм добавки добавляют 75 мл насыщенного раствора извести, который получают путем растворения 2 грамм извести в 1 литре дистиллированной воды. Образцы выдержали в герметично закрытой колбе при температуре 40°C в течение 3сут, 7сут и 28 сут. После образцы отфильтровали, оттитровали на OH^- и Ca^{2+} , используя ту же процедуру, что и в методике Фраттини.

В работе был принят шаг в 10% и в ранее выполненных нами работах мы также применяли шаг в 10% [9,10]. Данные по пуццолановой активности отхода обогащения и активатора микрокремнезема представлены в таблице 2.

Таблица 2

Пуццолановая активность минеральной добавки на основе отхода обогащения и микрокремнезема по поглощению CaO в возрасте 28 сут

Состав минеральной добавки, %		Поглощение CaO , % через 28 суток
отход обогащения	микрокремнезём	
100	0	7,9
90	10	12,6
80	20	25,7
70	30	54,6
60	40	58,2
50	50	65,6
40	60	68,2
30	70	74,2
20	80	80,8
10	90	84,5
0	100	94,0

Из данных таблицы видно, что отходы обогащения горно-обогатительного комбината обладают небольшой пуццоланической активностью, однако присутствие микрокремнезема значительно изменяет эту величину. И работы других авторов подтверждают этот процесс, а именно происходит отдельный процесс поглощения извести тонкомолотым кремнезёмом в два периода [25]. Первый период соответствует резкому начальному изменению концентрации гидроксида кальция и вызван адсорбцией $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на частицах SiO_2 . Второй период характеризуется меньшей скоростью процесса и продолжающимся понижением концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вследствие осаждения из раствора гидросиликата кальция, образующегося в результате химической реакции.

Таким образом, для дальнейшего исследования была принята минеральная добавка состоящая из отхода обогащения и микрокремнезема в соотношении 70:30.

В связи с тонкодисперсностью отхода обогащения ГОК (70-100 нм) и микрокремнезема (100-500 нм), процесс доизмельчения с цементом в данной работе не рассматривался. Совместный помол (перемешивание) составил 15-20 минут в шаровой мельнице при соотношении сырье и мелющие тела 4:1.

Исследовано влияние минеральной добавки на основные физико-механические свойства модифицированного вяжущего при различных соотношениях, представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

Таблица 3

Основные физико-механические свойства вяжущего с введением минеральной добавки из отхода обогащения и микрокремнезема

Составы (Ц/М.Д.), %	Сроки твердения, сут				Нормальная густота, %
	2	7	14	28	
	Предел прочности при сжатии, МПа				
50/50	5,08	9,40	15,22	20,4	29,5
60/40	8,06	19,48	25,64	31,0	29,0
70/30	11,69	23,40	30,72	33,61	28,5
80/20	13,56	25,16	32,72	33,65	27,5
90/10	13,96	25,48	32,90	33,70	27,0

Примечание: в столбце Ц – означает портландцемент ЦЕМ II 32,5, М.Д. – минеральная добавка из отходов обогащения ГОК и микрокремнезема

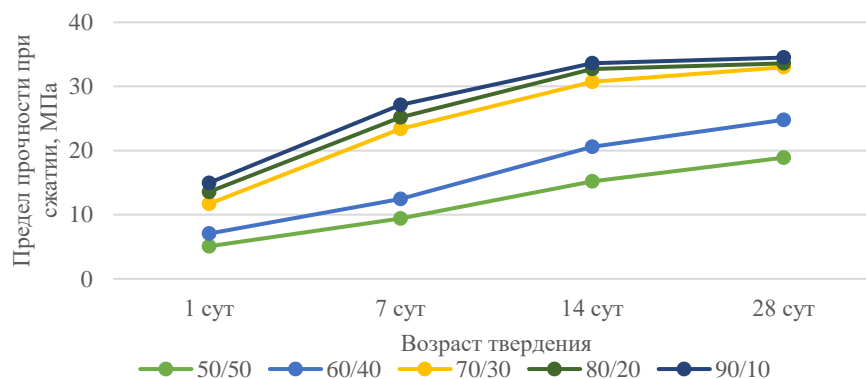


Рис. 3. Кинетика набора прочности модифицированного вяжущего: 1 – 50/50; 2 – 60/40; 3 – 70/30; 4 – 80/20; 5 – 90/10

Анализ полученных данных по кинетике набора прочности модифицированного вяжущего (табл. 3, рис. 3) показывает, что прирост по прочности на сжатие состава: (50:50) составил на 3 сутки – 15,63%, 7 сутки – 28,92%, 14 сут – 46,83%, 28 сутки – 62,76%; (60:40) составил на 3 сутки – 24,8%, 7 сутки – 59,93%, 14 сут – 78,89%, 28 сутки – 95,38%; (70:30) составил на 3 сутки – 35,96%, 7 сутки – 72%, 14 сут – 94,52%, 28 сутки – 103,41%; (80:20) составил на 3 сутки – 41,72%, 7 сутки – 77,41%, 14 сут – 100,6%, 28 сутки – 103,5%; (90:10) составил на 3 сутки – 42,95%, 7 сутки – 78,4%, 14 сут – 101,2%, 28 сутки – 103,6%. Нормальная густота составляет от 27% до 29,5%, рекомендуемая от 25 до 30%. Исходя из анализа полученных данных

принято решение использовать в технологии получения сухих строительных теплоизоляционных смесей состав модифицированного вяжущего при соотношении 70:30.

В технологии получения сухих смесей применяют дисперсные наполнители, которые как известно обладают энергетическим потенциалом, наличием поверхностной энергии, и некоторые процессы в них могут протекать произвольно в их активных центрах. Состав и реакционная способность поверхности вещества зависят от природы образования, размера и формы частиц материала, пористости кристаллографической модификации и т.д. Сухие смеси на основе диатомита характеризуются повышенной трещиностойкостью, и для регулирования этого свойства был модифицирован диатомитовый наполнитель. Работы по модификация диатомита нами проводилась термическим методом и отражены в научных статьях [9,10].

Модификация диатомита при температуре от 900°C до 1100°C приводит к взаимодействию аморфного кремнезема с примесями, в процессе которого образуется жидкая фаза, а при охлаждении она уже превращается в стекло, что значительно снижает общую пористость материала. Частицы диатомита с волокнистой структурой, а также остатки обезвоженных глинистых минералов определяют прочность образцов, и содержание кристобалита в образцах и изделиях постепенно увеличивается.

Прочность модифицированного диатомита на сжатие показана на рисунке 4 и основана на результатах испытаний образцов кубиков размером 70,7 x 70,7 x 70,7 мм в возрасте 28 дней.

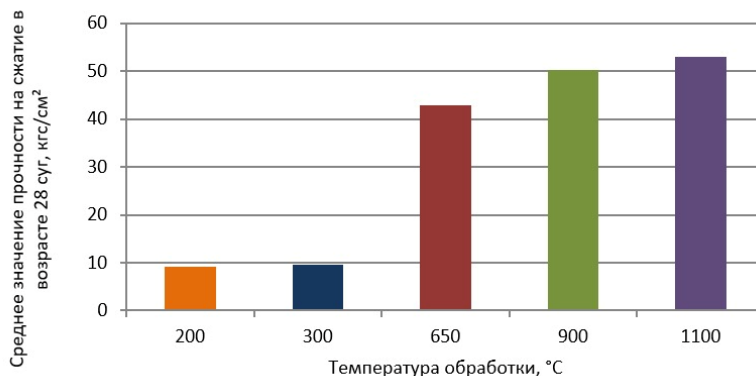


Рис. 4. Прочность при сжатии модифицированного диатомита

Анализируя данные представленные на графике мы видим, что модифицирование диатомита при температуре 900°C показывает прочность на сжатие составила 5,02 МПа, при температуре 1100°C прочность на сжатие составила 5,30 МПа. Позже в ходе исследования была принята модификация диатомита при температуре 900°C, поскольку более высокая температура менее целесообразна, а разница по прочности составила только 5,5%.

Для придания сухим строительным смесям теплоизолирующих свойств, как было отмечено уже ранее в работе были приняты наполнители с низким коэффициентом по теплопроводности – это перлитовый песок и модифицированный диатомит. Были разработаны составы сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатомита, перлитового песка и добавок

WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1, Dairen 3500 для регулирования реологических свойств и структурообразования, составы представлены в таблице 4.

Таблица 4

Составы строительных теплоизоляционных смесей

Наименование сырьевых материалов	Состав, %				
	№1	№2	№3	№4	№5
Модифицированное вяжущее	24,8	26,5	29,0	30,3	32,0
Модифицированный диатомит	52,89	53,19	52,69	52,39	51,69
Вспученный перлитовый песок	21	19	17	16	15
Водоудерживающая добавка	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Воздухововлекающая добавка	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Редиспергируемая полимерная добавка	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Зафомованные образцы кубы размерами 70,7×70,7×70,7 мм твердели в нормально-влажностных условиях при температуре (20±2)°С и относительной влажностью воздуха (95±5)%. Результаты по определению прочности на сжатие представлены в таблице 5, графически на рисунке 5.

Таблица 5

Динамика результатов по прочности на сжатие разработанных составов

Составы	Прочность на сжатие, МПа в возрасте			
	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
№1	2,35	4,71	6,35	7,85
№2	2,86	5,46	7,61	8,96
№3	3,37	6,44	9,00	10,23
№4	3,69	7,38	9,44	10,86
№5	3,82	7,63	10,22	11,24

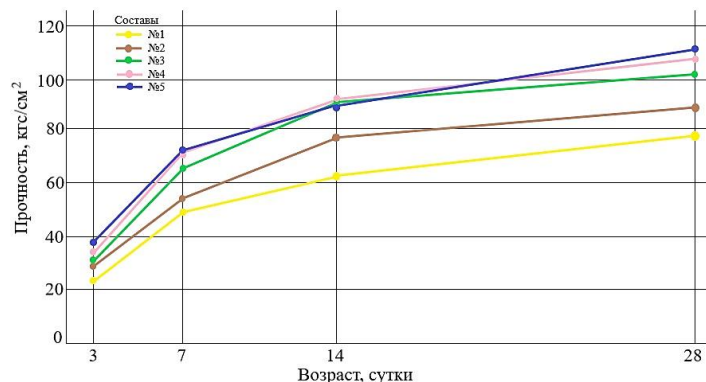


Рис. 5. Кинетика набора прочности при сжатии теплоизоляционных составов

Анализ данных (табл. 5, рис. 5) показывает, составы №1 и №2 показывают прочность на сжатие от 7,85 МПа до 8,96 МПа, что соответствует марке раствора М75, прочность более высокая наблюдается у составов №3, №4 и №5, что соответствует марке раствора М100 и обусловлено это оптимальным содержанием вяжущего от 29% до 32% и оптимальным соотношением наполнителей от 66% до 69%, из них модифицированный диатомит 51,69-52,69% и перлитовый песок 15-17%.

Образцы с высоким содержанием перлитового песка характеризуются повышенными усадочными деформациями, поэтому составы с содержанием перлитового песка в пределах 15% наиболее оптимальны.

Важной особенностью сухих строительных смесей является их водоудерживающая способность, позволяющая сохранять подвижность смеси и влиять на набор прочности в тонкослойной системе. Мониторинг водоудерживающей способности разработанных теплоизоляционных составов на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатомита, перлитового песка и добавок WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1, Dairen 3500, представлена на рисунке 6.

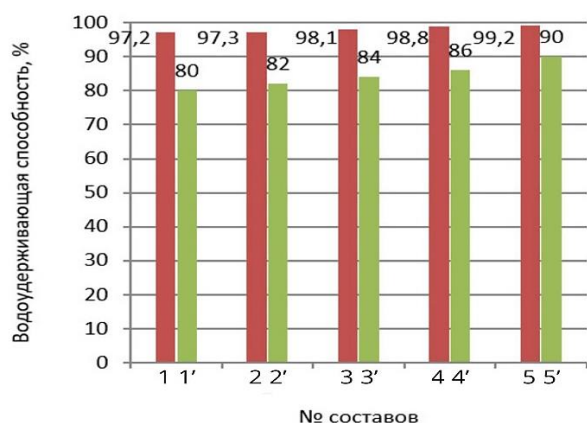


Рис. 6. Показатели по водоудерживающей способности теплоизоляционных составов

Анализ данных представленных на рисунке 6, показывает что водимые добавки WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1 и Dairen 3500 оказывают положительное влияние на водоудерживающую способность композиций и значения по данному показателю находятся для всех составов выше нормативного и достигают от 97,2% до 99,2%. Паралельно провели испытания и на составах без вышеуказанных добавок, результаты ниже нормативного от 5,26% до 15,78%.

Испытания составов для определения коэффициента теплопроводности проводились на приборе ИТП-МГ4, результаты представлены на рисунке 7.

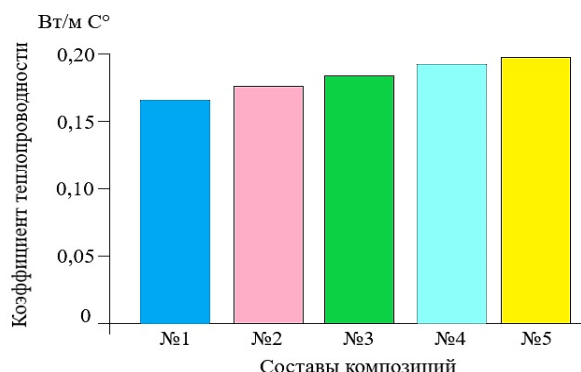


Рис. 7. Коэффициент теплопроводности сухих строительных теплоизоляционных смесей

Полученные результаты коэффициента теплопроводности следующие: состав №1 – 0,165 Вт/м°C; состав №2 – 0,173 Вт/м°C; состав №3 – 1,178 Вт/м°C; состав №4 – 0,180 Вт/м°C; состав №5 – 0,183 Вт/м°C. Разработанные составы на основе модифицированного диатомита, перлитового песка, добавок и модифицированного вяжущего позволило получить теплоизоляционные сухие строительные смеси.

Прочность сцепления является одной из ключевых свойств сухих строительных смесей и от ее устойчивости во многом зависят и другие свойства смеси, в том числе долговечность и срок эксплуатации. Прочность сцепления определяли методом отрыва матрицы от поверхности образца.

В процессе структурообразования смеси изменяется и химический состав, структура и свойства материала, протекают изменения в макромолекулах, возможна и активация поверхности основания что, может приводить к появлению напряжений в зоне контакта. Все это может оказывать воздействие на характер адгезивного взаимодействия. Так, в процессе формирования связи и в процессе ее эксплуатации первоначально установленные связи могут быть сохранены, уничтожены или дополнены новыми связями. Адгезия зависит не только от наличия, но и от количества соединений между контактными телами. Количество и качество связей определяется в первую очередь площадью контакта между смесью и основанием.

Изучена прочность связи разработанных теплоизоляционных составов с бетонным и кирпичным основанием, результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Адгезионные и когезионные свойства сухой строительной теплоизоляционной смеси

№ составов	Адгезионная прочность, МПа	
	Бетонное основание	Кирпичное основание
1	0,35	0,35
2	0,36	0,36
3	0,36	0,37
4	0,40	0,41
5	0,41	0,43

Было установлено, что значения адгезионной прочности варьируются в диапазоне $R_{сц} = 0,35-0,41$ МПа для бетонного основания и $R_{сц} = 0,35-0,43$ МПа для кирпичного основания. В целом, составы показали более высокую прочность сцепления к кирпичному основанию в сравнении с бетонным, что связано с хорошей впитываемостью влаги и воды у кирпичного основания. Применение модифицированного вяжущего и использование специальных добавок в композициях значительно изменило адгезионную способность и улучшила адгезионное взаимодействие композиций с различными основаниями.

С целью определения эксплуатационной прочности составов на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатомита, перлитового песка, водоудерживающей добавки WeKcelo MP 150HMR, воздухоовлекающей добавки Berolan LP-W1 и редииспергируемого полимерного порошка Dairen 3500 были проведены испытания на морозостойкость состава № 3 методом замораживания и оттаивания, так как у данного состава средние показатели по всем ранее рассмотренным

свойствам. Марку смесей морозостойкости, таблица 7 при испытании основным методом принимают за соответствующую требуемой, если среднее значение прочности на сжатие основных образцов после проведения числа циклов переменного замораживания и оттаивания, уменьшится не более чем на 10% по сравнению со средней прочностью на сжатие контрольных образцов.

Таблица 7.

Результаты по морозостойкости теплоизоляционной смеси состава № 3

Количество циклов	Потеря прочности при сжатии, %	Марка по морозостойкости
10	3,8	F10
15	5,6	F15
25	7,8	F25
35	8,2	F35
50	9,0	F50
75	10,1	F75
100	11,4	F100

Выявлено, что теплоизоляционный состав № 3 выдержал 50 циклов попеременного-замораживания и оттаивания при которой потеря по прочности при сжатии составила 9,0%, что укладывается в требования по потере прочности не более 10% и соответственно соответствует марке по морозостойкости F50.

При исследовании морозостойкости контактной зоны того же состава, были подготовлены образцы композита нанесенного на бетонную подложку. Оценку прочности сцепления покрытия с основанием проводили методом отрыва. Результаты проведенных испытаний теплоизоляционного состава № 3, приведена в таблице 8.

Таблица 8.

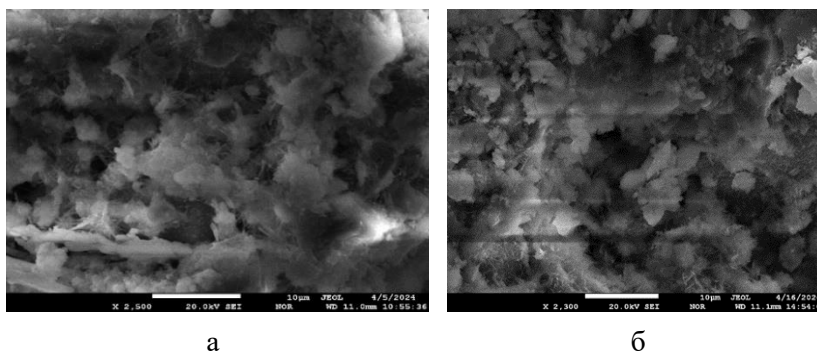
Морозостойкость контактной зоны теплоизоляционного состава №3

Прочность сцепления, МПа	Количество циклов							
	5	10	15	25	35	50	75	100
	0,362	0,360	0,360	0,360	0,353	0,289	0,278	0,256

Установлено, что марка по морозостойкости контактной зоны состава №3 составила марку F_{кз}50, т.к. потеря по прочности сцепления не более 20% после 50 циклов замораживания и оттаивания.

Исследования влияния минеральной добавки в составе модифицированного вяжущего показало, что ультрадисперсные частицы микрокремнезема входящего в состав вяжущего, заполняет пространство между зернами цемента и частицами заполнителя. По мере гидратации портландцемента частицы микрокремнезема оказываются включенными во «внешний» продукт гидратации. На снимках, которые были сделаны методом просвечивающей электронной микроскопии (рис. 8), заметен участок цементного раствора на границе между «внутренним» и «внешним» продуктами гидратации. Видно, что более плотный «внутренний» продукт содержит едва заметные частицы микрокремнезема, так как его образование происходит не через раствор, а топомимически, т.е. непосредственно на границе между непрореагировавшим зерном и продуктами гидратации. «Внешний» продукт с вовлеченными в него частицами микрокремнезема по

сравнению с «внутренним» продуктом имеет более низкую основность (соотношения Ca:Si, найденные для «внешнего» и «внутреннего» про дукта, составляют соответственно 0,8 и 1,8), а его структура утрачивает волокнистое строение. Активное участие микрокремнезема в образовании «внешнего» продукта гидратации приводит к снижению капиллярной пористости, и одновременно приводит к увеличению количества мельчайших гелевых пор, которые входят в состав кальциево-силикатного гидрогеля. Изменение поровой структуры камня сопровождается увеличением плотности и прочности, снижением проницаемости раствора по отношению к воде и солевым растворам. Увеличивается также стойкость к циклическому замораживанию и оттаиванию.



а – граница между внутренним (слева) и внешним (справа) продуктами;
б – увеличенный фрагмент снимка *а*, где видны частицы микрокремнезема, вовлеченные во внешний продукт.

Рис. 8. Микроскопия образца модифицированного вяжущего в составе сухой строительной смеси

В смесях на модифицированном вяжущем, его частицы заполняют пространство вокруг заполнителя более плотно по сравнению с частицами цемента, вследствие которого промежуточный слой имеет более плотную и однородную структуру, и в нем отсутствуют массивные кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Обсуждение результатов исследований. Данные таблицы 2, показывают что отходы обогащения горно-обогатительного комбината обладают небольшой пуццолановой активностью, и присутствие микрокремнезема значительно изменяет эту величину, так при соотношении 70:30 она достигает 54,6%, что и прятно в дальнейшем для разработки модифицированного вяжущего. Работы других авторов подтверждают этот процесс, а именно происходит отдельный процесс поглощения извести тонкомолотым кремнезёмом в два периода [25]. Первый период соответствует резкому начальному изменению концентрации гидроксида кальция и вызван адсорбцией $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на частицах SiO_2 . Второй период характеризуется меньшей скоростью процесса и продолжающимся понижением концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вследствие осаждения из раствора гидросиликата кальция, образующегося в результате химической реакции.

Для создания модифицированного вяжущего применили портландцемент ЦЕМ II 32,5 и минеральную добавку на основе отхода обогащения ГОК и микрокремнезема.

Анализ полученных данных по кинетике набора прочности модифицированного вяжущего (табл. 3, рис. 3) показывает, что прирост по прочности на сжатие состава: (50:50) составил на 3 сутки – 15,63%, 7 сутки – 28,92%, 14 сут – 46,83%, 28 суток – 62,76%; (60:40) составил на 3 сутки – 24,8%, 7 сутки – 59,93%, 14 сут – 78,89%, 28 суток – 95,38%; (70:30) составил на 3 сутки – 35,96%, 7 сутки – 72%, 14 сут – 94,52%, 28 суток – 103,41%; (80:20) составил на 3 сутки – 41,72%, 7 сутки – 77,41%, 14 сут – 100,6%, 28 суток – 103,5%; (90:10) составил на 3 сутки – 42,95%, 7 сутки – 78,4%, 14 сут – 101,2%, 28 суток – 103,6%. Нормальная густота составляет от 27% до 29,5%, рекомендуемая от 25 до 30%. Исходя из анализа полученных данных принято решение использовать в технологии получения сухих строительных теплоизоляционных смесей состав модифицированного вяжущего при соотношении 70:30.

Модификация диатомита при температуре 900°C позволила получить прочность на сжатие 5,02 МПа, дальнейшее повышение температуры не повлияло на прирост прочности. Для разработки теплоизоляционных составов принято решение об использовании модифицированного диатомита и вспученного перлитового песка, так как обладают низкой теплопроводностью не более 0,065 Вт/м°C.

Разработанные составы сухих строительных теплоизоляционных смесей (табл. 4) на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатомита, перлитового песка, водоудерживающей добавки WeKcelo MP 150HMR, воздухововлекающей добавки Berolan LP-W1 и релаксанта порошка Dairen 3500 показали (табл. 5, рис. 5) что составы №1 и №2 соответствует марке раствора М75, составы №3, №4 и №5 соответствуют марке раствора М100 и обусловлено это оптимальным содержанием вяжущего от 29% до 32% и оптимальным соотношением наполнителей от 66% до 69%, из них модифицированный диатомит 51,69%-52,69% и перлитовый песок 15%-17%. Авторами [21] получены результаты об эффективности применения вспученного перлитового песка, для уменьшения теплопроводности отделочного слоя на основе цементного вяжущего. Установлено, что содержание перлита до 20% изменяет коэффициент теплопроводности до 0,16 – 0,23 Вт/м°C, без потери полученной прочности от 2,5 до 3,5 МПа.

Анализ данных рисунка 6, показывает что водимые добавки WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1 и Dairen 3500 оказывают положительное влияние на водоудерживающую способность композиций и значения по данному показателю находятся для всех составов выше нормативного и достигают от 97,2% до 99,2%. Результаты по испытанию составов без добавок показали отклонение от нормативного от 5,26% до 15,78% ниже.

Результаты по определению коэффициента теплопроводности (рис. 7) варьируются от 0,165 Вт/м°C до 0,183 Вт/м°C в зависимости от состава и относятся к теплоизоляционным строительным материалам.

Экспериментально установлено, что значения адгезионной прочности варьируются в диапазоне $R_{сц} = 0,35-0,41$ МПа для бетонного основания и $R_{сц} = 0,35-0,43$ МПа для кирпичного основания. В целом, составы показали более высокую прочность сцепления к кирпичному основанию в сравнении с бетонным, что связано с хорошей впитываемостью влаги и воды у кирпичного основания. Авторами [22] в работе установлено влияние диатомита на адгезионные свойства и структурообразование композита, за счет пористой структуры диатомита которая способствует адсорбции

продуктов гидратации и блокирует рост кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Как следствие, в присутствии диатомита образовались гидратные фазы, близкие по составу к С-S-H на границе раздела фаз.

Анализ данных таблицы 7 показал, что теплоизоляционный состав №3 выдержал 50 циклов попеременного-замораживания и оттаивания при потере прочности на сжатие в 9,0%, что менее 10% являющееся условием по определению марки по морозостойкости и равна соответственно F50.

Морозостойкость контактной зоны состава №3 составила марку $F_{кз}50$, т.к. потеря по прочности сцепления не более 20% после 50 циклов замораживания и оттаивания. В ходе исследования авторы [23] также провели оценку морозостойкости, и было доказано, что грамотное сочетание вяжущего и наполнителей обеспечило устойчивость материала к многократным циклам замораживания и оттаивания. Эти данные согласуются с результатами, полученными нами в работе, где нашли применение модифицированное вяжущее, диатомитовый наполнитель и перлит.

Заключение. В процессе работ по исследованию и разработке сухих строительных теплоизоляционных смесей получены следующие данные и результаты.

Установлена пуццолановая активность отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината и введение в ее состав оптимального количества микрокремнезема, соотношение 70:30 повышает ее пуццолановая активность до 54,6%.

Разработан состав модифицированного вяжущего на основе портландцемента ЦЕМ II 32,5 и минеральной добавки из отхода обогащения ГОК и микрокремнезема. Анализ полученных данных по кинетике набора прочности модифицированного вяжущего показывает, что оптимальным соотношением является 70:30 при котором прочность на сжатие составила 33,61 МПа, нормальная густота составляет 28,5%.

Установлена температура модификации диатомита в 900°C и прочность при сжатии равна 5,02 МПа, дальнейшее повышение температуры не влияет на прирост прочности.

Разработаны составы сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатомита, перлитового песка, водоудерживающей добавки WeKcelo MP 150HMR, воздухововлекающей добавки Berolan LP-W1 и редуцируемого порошка Dairen 3500, составы №1 и №2 соответствует марке раствора M75, составы №3, №4 и №5 соответствуют марке раствора M100, что связано с оптимальным содержанием вяжущего от 29% до 32% и оптимальным соотношением наполнителей от 66% до 69%, из них модифицированный диатомит 51,69%-52,69% и перлитовый песок 15%-17%.

Установлены реологические и технологические закономерности влияния добавок WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1 и Dairen 3500 на водоудерживающую способность композиций и значения по данному показателю находятся для всех составов выше нормативного и достигают от 97,2% до 99,2%. У составов без добавок наблюдаются пониженные значения менее 15,78%.

Модифицированный диатомит и вспученный перлитовый песок обладают низкими показателями по теплопроводности, что подтверждено данными коэффициента теплопроводности разработанных сухих строительных теплоизоляционных смесей и составляют от 0,165 Вт/м°C до 0,183 Вт/м°C.

Установлено, что адгезионная прочность в зависимости от вида основания варьируется в диапазоне $R_{сц} = 0,35-0,41$ МПа для бетонного основания и $R_{сц} = 0,35-0,43$ МПа для кирпичного основания. В целом, составы показали более высокую прочность сцепления к кирпичному основанию в сравнении с бетонным, что связано с хорошей впитываемостью влаги и воды у кирпичного основания и значениями водоудерживающей способности.

Выявлена морозостойкость теплоизоляционного состава №3, которая соответствует марке F50. И исследована морозостойкость контактной зоны которая составила марку $F_{кз}50$.

Выявлены причины упрочнения композитов в зависимости от состава сухой смеси. Установлено, что применение модифицированного вяжущего и термически активированного диатомита повышает прочность на сжатие теплоизоляционных смесей, способствует повышению ранней структурной прочности и ускоряет процессы упрочнения цементно-диатомитово-перлитовых смесей.

Список литературы

1. Дергунов, С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) [Текст] / С.А. Дергунов, С.А. Орехов. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 106 с.
2. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей [Текст] / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. – 2-е изд., доп. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 112 с.
3. Белова, Т.К. Штукатурные растворы с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе модифицированных сухих строительных смесей [Текст] / Т.К. Белова. – Евразийская наука. – 2019. – №11. – С.1–8.
4. Leal R.V.P., Sobrinho R.A.L., Souza M.T. Recycling diatomaceous earth waste: assessing its physicochemical features, recovery techniques, applications, viability and market opportunities //Clean Waste Systems. – 2025. – Vol.10. – Article 100244.
5. Потапова, Е. Технология сухих строительных смесей [Текст] / Е. Потапова. – М.: Инфра-Инженерия, 2023. – 376 с.
6. Ferreira R.L.S., Pinto L., Nóbrega A.F., Carneiro A.M.P. Diatomaceous earth: a review of its characteristics and effects on the properties of mortars //Construction and Building Materials. – 2024. – Vol.421. – Article 135711.
7. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.S., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.S., Murzagulova A.A., Iskakov A.A., Abisheva G.K., Khamza Y.Y. Thermal insulation dry construction mixture based on diatomite // Coatings. – 2025. – Vol.15. – Article 811. <https://doi.org/10.3390/coatings15070811>
8. Кульдеев, Е.И. Сухие строительные смеси на основе модифицированного диатомита [Текст] / Е.И. Кульдеев, Р.Е. Нурлыбаев, А.С. Естемесова, З.Н. Алтаева, Е.С. Орынбеков. – Механика и технологии. – 2024. – №3 (85). – С.213–228. <https://doi.org/10.55956/UFGO2185>
9. Zhilkibayeva A., Yestemessova A., Zhakipbekov S., Matveeva L. Structural characteristics and performance of concrete with a composite modifying additive // Architecture and Engineering. – 2022. – Vol.7. – P.86–95.
10. Жилкибаева, А.М. Исследование свойств модифицированного вяжущего, полученного на основе отходов обогащения ГОК [Текст] / А.М. Жилкибаева, А.С. Естемесова, Л.Ю. Матвеева. – Вестник КазГАСА. – 2024. – №2 (92). – С.22–35.
11. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.S., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.S., Sarsenbayev B.K. Energy-efficient dry construction mixtures based on modified diatomite // ES Materials and Manufacturing. – 2024. – Vol.25. – Article 25. <https://doi.org/10.30919/esmm1220>

12. Altayeva Z., Yestemessova A., Yespaeva A. Lightweight aggregates for concrete based on vegetable waste // *Innovaciencia*. – 2022. – Vol. 10. – No. 1. – P. 1–12. <https://doi.org/10.15649/2346075X.2953>
13. Yestemessova A., Altayeva Z., Sarsenbayev B., Budikova A., Karshygayev R. Modifying additive for concrete based on shungite processing waste // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 945. – 012042.
14. Alghamdi H., Shoukry H., Mim N.J., Khawaji M., Abadel A.A., Farouk M. Impact of waste rockwool on the performance of LC3-based lightweight mortar: a promising solution for greener construction // *Construction and Building Materials*. – 2024. – Vol. 443. – Article 137805.
15. Dyadichev V., Svinoroev Y.A., Dyadichev A.V. Dry mixes for casting manufacturing in single and small-scale production // *Solid State Phenomena*. – 2021. – Vol. 316. – P. 549–557.
16. Łach M., Gliścińska E., Przybek A., Smoroń K. The influence of diatomite on the sound absorption ability of composites // *Materials*. – 2024. – Vol. 17. – Article 4590.
17. Rehman W.U., Rehman A.U., Sharif Q.M., Yamin A. Exfoliation characteristics of Swat vermiculite clay and its application in the preparation of lightweight composite panels // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 366. – Article 130200.
18. Литц, Г. Минеральные штукатурки: сухие строительные смеси, модифицированные дисперсными порошками [Текст] / Г. Литц. – Материалы Wacker Chemie GmbH (технологический центр, Бургхаузен), 2023.
19. Естемесова, А.С. Технология производства сухих строительных смесей с применением стекольного боя [Текст] / А.С. Естемесова. – Алматы: МОК (КазГАСА), 2019. – 109 с.
20. Khaleel Ibrahim S., Abbas Hadi N., Movahedi Rad M. Experimental and numerical analysis of steel–polypropylene hybrid fibre reinforced concrete deep beams // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15. – Article 2340.
21. Kipsanai J.J., Wambua P.M., Namango S.S., Amziane S. A review on the incorporation of diatomaceous earth as a geopolymer-based concrete building resource // *Materials*. – 2022. – Vol. 15. – Article 7130.
22. Ruegenberg F., Schidlowski M., Brunner F., Selbmann K., Hilbig H. Assessing the effect of a white Portland cement admixture on the early frost-thaw resistance of NHL-based masonry mortar // *Materials and Structures*. – 2022. – Vol. 55. – Article 10.
23. Ouyang X., Yu L., Chen J., Wu K., Ma Y., Fu J. Roles of diatomite in hydration, microstructure and strength development of cement paste // *Materials Today Communications*. – 2023. – Vol. 37. – Article 107555.
24. Zhakipbekov Sh.K., Yestemessova A.S., Zhilkibayeva A. Physico-mechanical properties of heavy concrete with a complex mineral additive // *The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute*. – 2021. – Vol. 16. – P. 71–76.
25. Потапов, В.В. Физико-химические характеристики нанокремнезема (золь, нанопорошок) и микрокремнезема [Текст] / В.В. Потапов, Д.С. Гореев. – Фундаментальные исследования. – 2018. – №6. – С.23–29.

Материал поступил в редакцию 22.09.25, принят 20.01.26.

А.С. Естемесова¹, Е.И. Кульдеев², Р.Е. Нурлыбаев²,
З.Н. Алтаева¹, Е.С. Орынбеков¹

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан

ҚҰРҒАҚ ҚҰРЫЛЫС ЖЫЛУ ОҚШАУЛАҒЫШ ҚОСПАЛАРЫ

Аңдатпа. Мақалада модификацияланған байланыстырғыш, модификацияланған диатомит, перлитті құм және арнайы қоспалар кешені негізінде құрғақ құрылыс жылуоқшаулағыш қоспаларын зерттеу және әзірлеу нәтижелері келтірілген. Байланыстырғыш ЦЕМ II 32,5 портландцементі, кен байыту қалдықтары негізіндегі минералдық қоспа және микрокремнезем негізінде алынған, модификацияланған байланыстырғыштың белсенділігі 33,61 МПа құрайды. Диатомитті модификациялаудың оңтайлы температурасы 900°C екені анықталды, осы жағдайда қысу кезіндегі беріктік 5,02 МПа болды. Әзірленген жылуоқшаулағыш қоспалар М75 және М100 маркаларын көрсетті, су ұстау қабілеті нормативтен 2–4% жоғары. Қоспалардың жылуөткізгіштік коэффициенті 0,165 Вт/м°C-тен 0,183 Вт/м°C аралығында, бұл оларды жылуоқшаулағыш материалдарға жатқызуға мүмкіндік береді. Адгезиялық беріктік анықталды және оның шамасына негіз түрі әсер етеді: бетон негізі үшін $R_{sc} = 0,35–0,41$ МПа, кірпіш негізі үшін $R_{sc} = 0,35–0,43$ МПа, өсім 22,8% құрайды. Әрлеу жылуоқшаулағыш құрамының аязға төзімділігі F50 маркасына сәйкес келеді, сондай-ақ жанасу аймағының аязға төзімділігі Fк350 маркасын көрсетті. Модификацияланған байланыстырғыш пен термиялық белсендірілген диатомитті қолдану жылуоқшаулағыш қоспалардың қысу беріктігін арттыратыны, ерте құрылымдық беріктіктің қалыптасуын күшейтетіні және цемент-диатомит-перлит қоспаларының қатаю үдерістерін жеделдететіні анықталды.

Тірек сөздер: модификацияланған байланыстырғыш, портландцемент, ГОК байыту қалдықтары, микрокремнезем, модификацияланған диатомит, кеңейтілген перлит құмы, қайта дисперсті полимер ұнтағы, суды ұстау қабілеті, жылуөткізгіштік, аязға төзімділік.

A.S. Yestemessova¹, E.I. Kuldeyev², R.E. Nurlybayev²,
Z.N. Altayeva¹, Y.S. Orynbekov¹

¹International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

²K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

DRY BUILDING THERMAL INSULATION MIXTURES

Abstract. The article presents the results of research and development of dry construction thermal insulation mixtures based on a modified binder, modified diatomite, perlite sand, and a complex of special additives. The binder was obtained on the basis of Portland cement CEM II 32.5, a mineral additive derived from mining and processing waste, and microsilica; the activity of the modified binder is 33.61 MPa. The optimal temperature for diatomite modification was established at 900°C, at which the compressive strength reached 5.02 MPa. The developed thermal insulation mixtures demonstrated strength grades of M75 and M100, with water retention capacity exceeding the standard by 2–4%. The thermal conductivity coefficient of the compositions ranges from 0.165 to 0.183 W/m°C, which allows them to be classified as thermal insulation materials. Adhesive strength was determined and found to depend on the type of substrate: for a concrete base, $R_{ad_h} = 0.35–0.41$ MPa, and for a brick base, $R_{ad_h} = 0.35–0.43$

MPa, with an increase of 22.8%. The frost resistance of the finishing thermal insulation composition corresponds to grade F50, and the frost resistance of the contact zone also corresponds to grade F_{kz}50. It was established that the use of a modified binder and thermally activated diatomite increases the compressive strength of thermal insulation mixtures, enhances early structural strength, and accelerates the hardening processes of cement-diatomite-perlite systems.

Keywords: modified binder, Portland cement, mining waste, microsilica, modified diatomite, expanded perlite sand, redispersible polymer powder, water retention capacity, thermal conductivity, frost resistance.

References

1. Dergunov P.S.A., Orekhov P.S.A. Sukhie stroitel'nye smesi (sostav, tekhnologiya, svoystva) [Dry construction mixtures (composition, technology, properties)] // Textbook. – Orenburg: OGU, 2012. – 106 p. [in Russian].
2. Bazhenov Yu.M., Korovyakov V.F., Denisov G.A. Tekhnologiya sukhikh stroitel'nykh smesei [Technology of dry construction mixtures]: Textbook. – 2-nd ed. – M.: ASV, 2011. – 112 p. [in Russian].
3. Belova T.K. Shtukturnye rastvory s uluchshennymi ekspluatatsionnymi svoystvami na osnove modifitsirovannykh sukhikh stroitel'nykh smesei [Plaster mortars with improved operational properties based on modified dry construction mixtures] // Evraziyskaya nauka. – 2019. – No 11. – P. 1–8. [in Russian].
4. Leal R.V.P., Sobrinho R.A.L., Souza M.T. Recycling diatomaceous earth waste: assessing its physicochemical features, recovery techniques, applications, viability and market opportunities // Clean Waste Systems. – 2025. – Vol. 10. – Article 100244.
5. Potapova E. Tekhnologiya sukhikh stroitel'nykh smesei [Technology of dry construction mixtures]: Textbook. – M.: Infra-Inzheneriya, 2023. – 376 p. [in Russian].
6. Ferreira R.L.P.S., Pinto L., Nóbrega A.F., Carneiro A.M.P. Diatomaceous earth: a review of its characteristics and effects on the properties of mortars // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 421. – Article 135711.
7. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.P. [IN RUSSIAN]., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.P.S., Murzagulova A.A., Iskakov A.A., Abisheva G.K., Khamza Y.Y. Thermal insulation dry construction mixture based on diatomite // Coatings. – 2025. – Vol. 15. – Article 811. <https://doi.org/10.3390/coatings15070811>
8. Kuldeyev E.I., Nurlybayev R.E., Yestemessova A.S., Altayeva Z.N., Orynbekov E.S. Sukhie stroitel'nye smesi na osnove modifitsirovannogo diatomita [Dry construction mixtures based on modified diatomite] // Mechanics and Technology. – 2024. – No. 3 (85). – P. 213–228. <https://doi.org/10.55956/UFGO2185>. [in Russian].
9. Zhilkibayeva A., Yestemessova A., Zhakipbekov P.S., Matveeva L. Structural characteristics and performance of concrete with a composite modifying additive // Architecture and Engineering. – 2022. – Vol. 7. – P. 86–95.
10. Zhilkibayeva A.M., Yestemessova A.P.S., Matveeva L.Yu. Issledovanie svoystv modifitsirovannogo vyazushchego, poluchennogo na osnove otkhodov obogashcheniya GOK [Study of properties of modified binder obtained from enrichment waste of mining and processing plant] // Vestnik KazGASA. – 2024. – No. 2 (92). – P. 22–35. [in Russian].
11. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.P.S., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.P.S., Sarsenbayev B.K. Energy-efficient dry construction mixtures based on modified diatomite // ES Materials and Manufacturing. – 2024. – Vol. 25. – Article 25. <https://doi.org/10.30919/esmm1220>

12. Altayeva Z., Yestemessova A., Yespaeva A. Lightweight aggregates for concrete based on vegetable waste // *Innovaciencia*. – 2022. – Vol. 10. – No. 1. – P. 1–12. <https://doi.org/10.15649/2346075X.2953>
13. Yestemessova A., Altayeva Z., Sarsenbayev B., Budikova A., Karshygayev R. Modifying additive for concrete based on shungite processing waste // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 945. – 012042.
14. Alghamdi H., Shoukry H., Mim N.J., Khawaji M., Abadel A.A., Farouk M. Impact of waste rockwool on the performance of LC3-based lightweight mortar: a promising solution for greener construction // *Construction and Building Materials*. – 2024. – Vol. 443. – Article 137805.
15. Dyadichev V., Svinoroev Y.A., Dyadichev A.V. Dry mixes for casting manufacturing in single and small-scale production // *Solid State Phenomena*. – 2021. – Vol. 316. – P. 549–557.
16. Łach M., Gliścińska E., Przybek A., Smoroń K. The influence of diatomite on the sound absorption ability of composites // *Materials*. – 2024. – Vol. 17. – Article 4590.
17. Rehman W.U., Rehman A.U., Sharif Q.M., Yamin A. Exfoliation characteristics of Swat vermiculite clay and its application in the preparation of lightweight composite panels // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 366. – Article 130200.
18. Litz G. Mineral'nye shtukaturki: sukhie stroitel'nye smesi, modifitsirovannye dispersnymi poroshkami [Mineral plasters: dry construction mixtures modified with dispersed powders]. – Materialy Wacker Chemie GmbH (tekhnologicheskii tsentr, Burghausen), 2023. [in Russian].
19. Yestemessova A.P.S. Tekhnologiya proizvodstva sukhikh stroitel'nykh smesei s primeneniem stekol'nogo boya [Technology of dry construction mixtures using glass cullet] // *Monografiya*. – Almaty: MOK (KazGASA), 2019. – 109 p. [in Russian].
20. Khaleel Ibrahim P.S., Abbas Hadi N., Movahedi Rad M. Experimental and numerical analysis of steel–polypropylene hybrid fibre reinforced concrete deep beams // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15. – Article 2340.
21. Kipsanai J.J., Wambua P.M., Namango P.S.P.S., Amziane P.S. A review on the incorporation of diatomaceous earth as a geopolymer-based concrete building resource // *Materials*. – 2022. – Vol. 15. – Article 7130.
22. Ruegenberg F., Schidlowski M., Brunner F., Selbmann K., Hilbig H. Assessing the effect of a white Portland cement admixture on the early frost-thaw resistance of NHL-based masonry mortar // *Materials and Structures*. – 2022. – Vol. 55. – Article 10.
23. Ouyang X., Yu L., Chen J., Wu K., Ma Y., Fu J. Roles of diatomite in hydration, microstructure and strength development of cement paste // *Materials Today Communications*. – 2023. – Vol. 37. – Article 107555.
24. Zhakipbekov Sh.K., Yestemessova A.P.S., Zhilkibayeva A. Physico-mechanical properties of heavy concrete with a complex mineral additive // *The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute*. – 2021. – Vol. 16. – P. 71–76.
25. Potapov V.V., Goreev D.P.S. Fiziko-khimicheskie kharakteristiki nanokremnezema (zol', nanoporoshok) i mikrokremnezema [Physico-chemical characteristics of nanosilica (sol, nanopowder) and microsilica] // *Fundamental'nye issledovaniya*. – 2018. – No. 6. – P. 23–29. [in Russian].