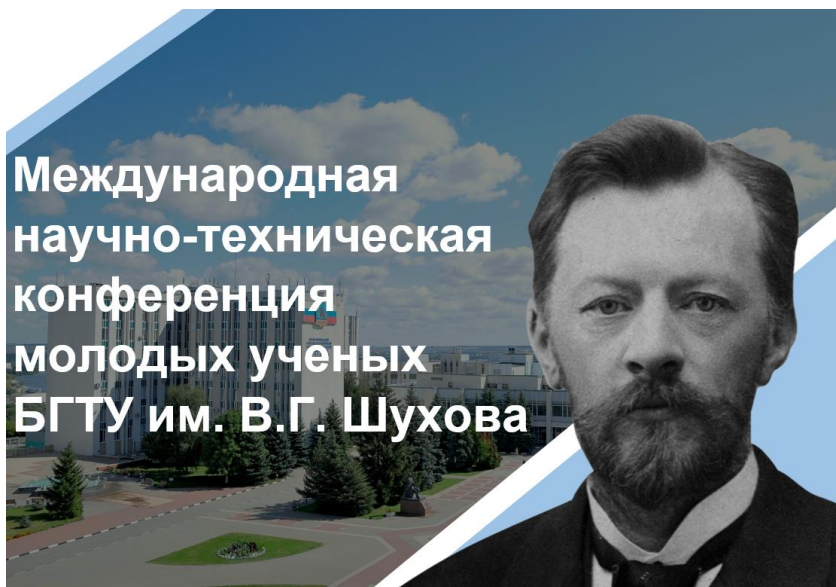


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 4

**Проблемы строительного материаловедения.
Наноматериалы и нанотехнологии**

Белгород
20-21 мая 2024 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**Международная научно-техническая конференция
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова
[Электронный ресурс]:**
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 4. – 110 с.

ISBN 978-5-361-01330-2

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01330-2

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ РАСТВОРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРМИКУЛИТА

Для удовлетворения требований по теплозащите особое внимание было уделено изучению использования легких заполнителей, таких, как вермикулит, в цементном растворе для улучшения теплоизоляции ограждающих конструкций здания.

Изучено и проведен анализ свойств вермикулита и его влияние при применении в теплоизоляционных растворах. Показано, что использование вспученного вермикулита способствуют снижению плотности и обеспечению высоких теплозащитных свойств [1,2].

Это позволило использовать теплоизоляционные растворы для улучшения теплоизоляции зданий. Некоторые необходимые свойства раствора можно улучшить, добавляя в смесь химические и органические добавки.

В последнее время потребление природных ресурсов значительно возросло. Промышленная деятельность в последние годы привела к повышению глобальной температуры. Согласно отчету МГЭИК [3], глобальная температура выросла на 0,8–1,2 °С по сравнению со средней температурой в XX веке. В результате такого повышения температуры, особенно в странах Ближнего Востока, сложившаяся ситуация потребовала решения вопроса более широкого использования систем охлаждения в больших масштабах для отвода тепла и создания повышенного экологического комфорта. В последние годы наблюдались более высокие температуры тепла, чем в предыдущие годы, что привело к значительному увеличению спроса на покупку кондиционеров.

Учитывая такое повышение температуры и неудобства, связанные с перегревом, была принята государственная политика, устанавливающая руководящие принципы по повышению энергоэффективности зданий, обеспечению благосостояния и снижению затрат для конечного потребителя. Технический стандарт оценивает тепловые характеристики здания на основе минимального параметра теплопроводности и теплоемкости элементов его стен, тем самым классифицируя его тепловую эффективность с использованием этой информации. Строительная система оказывает значительное

влияние на тепловой комфорт дома. В связи с этим Ламбертс [4] установил зависимость теплообмена между поверхностями стены и тепловой энергией. Комфортность помещения строительного сооружения или объекта связана с физическими свойствами составляющих стен материалов (в том числе, кирпичной кладки и обмазочного раствора). Эти свойства включают теплопроводность, объемную плотность и удельную плотность. Так использование материалов с низкой теплопроводностью обеспечивает меньший тепловой поток внутри стены, уменьшая теплообмен между внешней и внутренней средой. Существует несколько решений, способствующих обеспечению низкой теплопроводности и большей тепловой инерции в стенах. Для усиления теплоизоляции можно применять некоторые типы отделочных материалов, таких, как стекловата, минеральная вата, пенополистирол, ячеистый бетон и растворы с легкими заполнителями. Эти материалы обладают общими характеристиками, такими как низкая удельная плотность, которая, по мнению Станкато [5], связана с теплопроводностью и уменьшается с увеличением количества заземленного воздуха внутри материала.

Вермикулит относится к такой группе материалов. Благодаря своим химическим, минералогическим и структурным особенностям он считается отличным изолятором, а в совокупности с другими материалами или компонентами улучшает их свойства. Он нетоксичен, негорюч, способен поглощать жидкости, обеспечивает тепло- и звукоизоляцию [6]. Этот заполнитель уже широко используется в строительной отрасли с целью обеспечения теплового комфорта; однако, его использование в цементных материалах препятствует высокому водопоглощению. Это свойство становится проблемой, поскольку может изменить удобоукладываемость смесей и, следовательно, другие свойства раствора в свежем и затвердевшем состояниях. Поэтому для решения этих задач требуется добавление некоторых химических и органических добавок.

В связи с возможностью использования вермикулита при приготовлении теплоизоляционных растворов рассмотрим его свойства, как легкого заполнителя, и его влияние на свойства свежего и застывшего раствора, а также на теплопроводность легких бетонов.

Вермикулиты - это группа пластинчатых, тонкослоистых минералов с идеальной спайностью у основания, очень напоминающих слюды. Они отличаются физически от слюд тем, что они мягкие и неэластичные. Их самое поразительное отличие в том, что они расширяются или отслаиваются так же сильно, как и 20 раз перпендикулярно сколу при нагревании. Они могут быть желтыми,

зелеными, коричневыми или почти черными. Образцы природного и вспученного вермикулитов представлены на рисунке 1.



Рис.1. Образцы природного (1) и вспученного (2) вермикулитов

Пластинчатая или пластинчатая структура придает вермикулитам особые физические и химические свойства. Каждая пластина слоя является комбинацией двух тетраэдрических листов кремнезема, связанных с центральным октаэдрическим листом. В тетраэдрических листах происходит частичное замещение кремния алюминием. Катионы внутри октаэдрического листа состоят в основном из магния и железа. В результате замещения ионов в тетраэдрическом слое пластина приобретает отрицательный ионный заряд. Этот отрицательный заряд нейтрализуется положительно заряженным ионом, обычно магнием, между пластинами.

Вермикулит образуется в результате изменения слюдяных минералов в результате химического выветривания и гидротермального воздействия. При нагревании его до температур, близких к 1000 °С, в нем происходит процесс расширения, то есть увеличение объема, вызванное испарением водяного пара, образующегося внутри вермикулита, что вызывает внутренние напряжения, разделяющие октаэдрические и тетраэдрические пластины, из которых состоит вермикулит.

При расширении слюдяных минералов объем вермикулита увеличивается и приобретает пористую структуру. Из-за его расширения происходит снижение плотности материала до 0,15–0,25 г/см³ и увеличивается удельная поверхность. Вермикулит обладает свойствами инертных, адсорбирующих, акустических материалов. Он термостоек и огнестоек. В дополнение к этим характеристикам, следует отметить, что когда он расширяется, он приобретает различные размеры по гранулометрии, а размер частиц можно классифицировать как крупный, средний, мелкий, сверхтонкий и микронный, в зависимости от системы классификации.

Приведенные выше свойства делают вермикулит перспективным материалом для использования в жилищном и гражданском строительстве. Его можно использовать с минимальным

отрицательным воздействием при изготовлении легких блоков на гипсо-вермикулитовом растворе, используемых для внутренних работ здания, при производстве огнеупорного кирпича, блоков и плит, устойчивых к высоким температурам, а также при защите стальных конструкций при воздействии высоких температур.

Свежеприготовленные растворы с использованием вермикулита характеризуются недостаточной удобоукладываемостью вследствие высокого водопоглощения этого заполнителя. Для улучшения этого свойства вермикулит можно предварительно смачивать и использовать соответствующие функциональные добавки.

В затвердевшем состоянии вермикулит способствует увеличению количества пор за счет увеличения водопотребления. Это обстоятельство вызывает рост водоцементного отношения и, как следствие этого, механическая прочность снижается при увеличении содержания вермикулита в смеси. Чтобы снизить потерю механической прочности, можно принять некоторые меры, такие как работа с легким предварительным насыщением заполнителем, сочетание использования вермикулита с отходами пенополистирола или добавлением прочих минеральных добавок.

Несмотря на негативное влияние на удобоукладываемость и механическую прочность, вермикулит способствует снижению теплопроводности строительных растворов, делая композит более пористым. Это можно рассматривать как жизнеспособный вариант при обеспечении теплоизоляции окружающей среды, поскольку он может снизить теплопроводность элементов стен и, как следствие, снизить энергопотребление и повысить энергоэффективность здания. Доказано, что использование вермикулитовых растворов для наружных и внутренних работ обеспечивает снижение потребления энергии для охлаждения помещения примерно на 20%, повышая энергоэффективность зданий и сооружений.

В связи с выше изложенным использование вспученного вермикулита в качестве легкого заполнителя в строительных материалах на основе цемента обеспечивает достаточную термостойкость смеси, что позволяет использовать его в энергоэффективной отделке зданий. Таким образом, использование вспученного вермикулита в производстве строительных растворов эффективно с точки зрения снижения энергопотребления в зданиях, поскольку снижает затраты на электроэнергию и поэтому является предпочтительным, обеспечивая сохранение окружающей среды и тепловой комфорт для пользователей в экономически и биологически устойчивых гражданских и жилых зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загороднюк Л.Х., Аль-Мамури С.К.Ш., Сумской Д.А., Бочарников А.Л. Теплоизоляционные растворы с использованием вермикулита и их оптимизация // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2023. № 1. С. 90–101.

2-Аль-Мамури С.К.Ш., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Бочарников А.Л., Шеметова О.М. Вяжущие композиции с использованием вермикулита для теплозащитных растворов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2023. № 2. С. 8-19.

3. Allen M., Babiker M., Chen Y., Coninck H., Connors S., Diemen R.V., Dube O.P. Global Warming; Intergovernmental Panel on Climate Change // Incheon, Republic of Korea, 6 October 2018.

4. Lamberts R. Desempenho Térmico de Edificações; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) // Florianópolis, Brazil, 2016.

5. Stancato A.C. Determinação da Condutividade Térmica e da Resistência Mecânica em Argamassa Leve. Master's Thesis, Universidade Estadual de Campinas—UNICAMP, Campinas, SP, Brazil, 2000.1.

6. Degirmenci N., Arin N.Y. Use of pumice fine aggregate as an alternative to standard sand in production of lightweight cement mortar // Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. 2011. Vol. 18. Pp. 61–68.

7. Unal O., Uygunoglu T., Yildiz A. Investigation of properties of low-strength lightweight concrete for thermal insulation // Building and Environment. 2007. Vol. 42. Pp. 584–590.

8. F. Koksal, O. Gencel, H.E. Hagh-Lobland, W. Brostow, Effect of high temperature on mechanical and physical properties of lightweight cement based refractory including expanded vermiculite // Materials Research Innovations. 2012. Vol. 16. Iss. 1. Pp. 7–13.

9. Zagorodnyuk L., Sumskey D., Lesovik V., Fediuk R. Modified heat insulating binder using jet-grinded waste of expanded perlite sand // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 260. Pp. 120440. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2020.120

Братчун В.И., Леонов Н.С., Размыслова Е.Д.

*Научный руководитель: Братчун В.И., д-р техн. наук., проф.
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства
и архитектуры» г. Макеевка, Российская Федерация, ДНР.*

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНОВ МИКРОАРМИРОВАННЫХ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ

В ФГБОУ ВО ДонНАСА были разработаны составы и технология производства комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами [1]. Однако, параметры длительной водостойкости и морозостойкости данных систем остаются недостаточно исследованными.

Ключевым параметром, определяющим долговечность покрытий нежестких дорожных одежд, является устойчивость структуры асфальтобетона к длительному увлажнению и циклическим процессам замораживания и оттаивания [2].

Под воздействием транспортных нагрузок процесс отслаивания пленок органического вяжущего от поверхности минерального остова асфальтобетона усиливается в условиях водной среды (атмосферные осадки, талые и грунтовые воды). Сорбированные молекулы воды мигрируют по поверхности минеральных частиц, не защищенных дорожным битумом, что приводит к снижению прочности асфальтобетона. Это связано с тем, что вода, диффундируя в микродефекты микроструктуры дорожного покрытия, вызывает адсорбционное снижение прочности асфальтобетона.

Происходит уменьшение поверхностной энергии стенок трещин и ослабление структуры связей у вершины трещины по мере ее развития. Вода, перемещаясь в микропорах, вызывает неравномерное распределение напряжений, что способствует интенсификации разрушения водонасыщенного асфальтобетона. Частые циклы увлажнения и высыхания, а также циклы попеременного замораживания и оттаивания значительно разрушают структуру асфальтобетонного покрытия. На поверхности нежесткой дорожной одежды наблюдается выкрашивание минеральных зерен, что приводит к износу покрытия и образованию выбоин.

Исследования (табл. 1) показали, что при длительном

водонасыщении стандартного дорожного асфальтобетона наблюдается линейное снижение коэффициента водостойкости с увеличением времени воздействия воды.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении $K_{вд}$ от времени водонасыщения t мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовяжущего вещества

№ п/п	Состав асфальтовяжущего вещества в дорожном мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)	Время водонасыщения, t, суток					
		0	20	40	60	80	90
1	Вязущее – нефтяной дорожный битум $P_{25}=59$ град. шкалы пенетрометра, минеральный порошок не активирован.	1,0	0,83	0,70	0,58	0,50	0,40
2	Вязущее битумополимерсерное (битум $P_{25}=59$ град. шкалы пенетрометра, модифицирован 2% мас. бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 и 30% мас. технологической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30; асфальтополимерсеробетонная смесь структурирована хризотил-асбестовыми волокнами.	1,0	1,0	0,98	0,95	0,90	0,83

Комплексно-модифицированные асфальтополимерсеробетоны, микроармированные хризотил-асбестовыми волокнами, демонстрируют высокую долговечность в условиях длительного водонасыщения. Коэффициент водостойкости стандартного горячего асфальтобетона после 90 суток составляет $K_{вд} = 0,4$, тогда как у комплексно-модифицированного асфальтобетона, микроармированного хризотил-асбестом, этот показатель достигает $K_{вд} = 0,83$.

Еще более разрушительное воздействие оказывает влага при замерзании в порах асфальтобетона [3]. Наибольшие повреждения происходят в весенний и осенний периоды из-за попеременного замораживания и оттаивания. Расширяющийся лед и гидростатическое давление на стенки пор вызывают образование микротрещин в асфальтобетонном покрытии, которые заполняются водой при оттаивании. С понижением температуры асфальтобетонное покрытие подвергается температурным деформациям, обусловленным неравномерным распределением температурного поля по толщине

покрытия и различиями в коэффициентах объемного температурного расширения (сжатия) органического вяжущего и минеральных компонентов.

Пленка органического вяжущего на поверхности минеральных материалов растрескивается. Трещинообразование в условиях попеременного замораживания и оттаивания приводит к разрушению дорожного асфальтобетона. Внешними признаками низкой морозостойкости дорожных асфальтобетонов являются шелушение, выкрашивание и образование выбоин на покрытии нежесткой дорожной одежды.

Комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетоны, армированные хризотил-асбестовыми волокнами, после 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания характеризуются коэффициентом морозостойкости $F=0,81$, тогда как у стандартного горячего асфальтобетона этот показатель составляет $F=0,38$ (табл. 2).

Таблица 2 – Зависимость коэффициента морозостойкости F от числа циклов попеременного замораживания – оттаивания п мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составов асфальтовяжущего вещества

№ п/п	Состав асфальтовяжущего вещества в дорожном мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)	Время водонасыщения, t, суток					
		0	20	40	60	80	90
1	Вяжущее – нефтяной дорожный битум $P_{25}=59$ град. шкалы пенетрометра, минеральный порошок не активирован.	1,0	0,83	0,70	0,58	0,50	0,40
2	Вяжущее битумополимерсерное (битум $P_{25}=59$ град. шкалы пенетрометра, модифицирован 2% мас. бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 и 30% мас. технологической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30; асфальтополимерсеробетонная смесь структурирована хризотил-асбестовыми волокнами.	1,0	1,0	0,98	0,95	0,90	0,83

Закключение. Комплексно-модифицированные асфальтополимерсеробетоны, армированные хризотил-асбестовыми волокнами, демонстрируют значительное повышение коррозионной стойкости по сравнению со стандартными асфальтобетонами. Данный материал обладают высокой водостойкостью и морозостойкостью, что

подтверждается коэффициентами водостойкости и морозостойкости, значительно превосходящими аналогичные показатели для традиционных асфальтобетонов.

Устойчивость к длительному водонасыщению и циклическому замораживанию-оттаиванию обеспечивается за счет улучшенной микроструктуры, где хризотил-асбестовые волокна играют ключевую роль, препятствуя распространению микротрещин и обеспечивая стабильность органического вяжущего на минеральной поверхности. Применение хризотил-асбестовых волокон в составе асфальтополимерсеробетонов позволяет существенно повысить долговечность дорожных покрытий и их эксплуатационные характеристики в условиях агрессивных климатических воздействий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексно-модифицированные дорожные асфальтополимерсеробетоны микроармированные хризотиласбестовыми волокнами / В.И. Братчун, О.А. Пшеничных, В.И. Беспалов [и др.]. - Текст непосредственный // Вестник ДОННАСА. Современные строительные материалы. – 2023. - №1 (159). – С. 98-108.

2. Водо- и морозостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном сэвиленом / В.В. Ядыкина, С.В. Наволокина, А.М. Гридчин. - Текст непосредственный // Вестник Сибирского Государственного Автомобильно-Дорожного Университета, Том : 19 ; Номер 1 (83). – 2022. – С. 102-113.

3. Асфальтовый бетон повышенной водо- и морозостойкости / А.А. Алексеев, Д.И. Мокшин, К.С. Гаусс [и др.]. - Текст непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2016. - №1. – С. 180-189.

Бублик В.В.

*Научный руководитель: Тольпина Н.М, д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОЦЕНКА СОВМЕСТИМОСТИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ С ВЯЖУЩИМ

Применение химических модификаторов, в частности, суперпластификаторов нового поколения, произвело значительный прорыв в технологии производства бетона, обеспечивая возможность регулирования многочисленных свойств бетонных смесей и затвердевшего бетона. Эти многокомпонентные системы сочетают в себе различные функции, включая ускорение или замедление схватывания, гидрофобизацию и другие эффекты. Дозировка таких добавок, составляющая от 0,05% до 2% от массы цемента, оказывает существенное влияние на характеристики бетонной смеси, оптимизируя ее текучесть, прочность и долговечность.

Применение высокоэффективных суперпластифицирующих добавок в технологии производства бетонов существенно расширяет технологические возможности бетонной смеси, предоставляя ряд преимуществ при использовании в современном строительстве. Основным преимуществом суперпластификаторов является то, что при одинаковых значениях водоцементного отношения они значительно повышают подвижность бетонных и растворных смесей, не снижая прочностных показателей затвердевших смесей. Использование суперпластификаторов в составах сухих строительных смесей в комбинации с другими модифицирующими добавками позволяет создавать высокопрочные самонивелирующиеся строительные растворы, предназначенные как для ручного, так и для механизированного нанесения.

В зависимости от химической основы различают следующие виды суперпластификаторов:

- суперпластификаторы на основе сульфированных меламинофор-мальдегидных соединений и комплексов на их основе;
- суперпластификаторы на основе сульфированных нафталинформальдегидных соединений и комплексов на их основе;
- суперпластификаторы на основе модифицированных лигносульфонатов;

– суперпластификаторы на основе водорастворимых карбоксилатных полимеров.

Их действие основано на следующем упрощенном механизме: суперпластификаторы, относящиеся к поверхностно активным веществам, обладают способностью адсорбироваться на поверхности частиц цемента и новообразований, создавая моно- или бимолекулярный слой. Данное адсорбированное покрытие приводит к появлению одноименного отрицательного электрического заряда на частицах твердой фазы. Благодаря электростатическому взаимодействию частицы отталкиваются друг от друга, что упрощает их дефлокуляцию. Освобожденная иммобилизованная вода возвращается в свободное состояние, способствуя повышению пластичности и текучести смеси.

Совместимость цемента и химических добавок является важным фактором, определяющим эффективность и долговечность цементных составов. Совместимость подразумевает способность добавок обеспечивать желаемые технологические эффекты, сохраняя их на заданном уровне определенное время. Не достижение требуемых параметров указывает на несовместимость цемента и добавки. Количественные критерии совместимости в настоящее время не установлены. После добавления суперпластификаторов (СП), помимо основных эффектов повышения текучести и снижения водопотребности, необходимо контролировать сохранение удобоукладываемости цементного раствора в течение 60-90 минут после смешивания, а также отсутствие водоотделения и расслаивания смеси. В зависимости от типа цемента и СП, спустя 60 минут после затворения водой, текучесть раствора может оставаться близкой к исходной (спустя 5 минут) или значительно отличаться.

Специалистами выделено четыре основных типа совместимости цемента и СП:

1) хорошая совместимость; низкая оптимальная дозировка (в пределах 0,6-0,8%) (четко видна точка насыщения); через 1 час после затворения потеря расплыва конуса незначительна.

2) самая плохая совместимость; высокая оптимальная дозировка - около 1,5 %, наблюдается значительное снижение первоначального расплыва конуса через 1 час.

3) совместимость между 1) и 2); совместимость в начальный момент времени хорошая, но потери расплыва конуса значительны с течением времени.

4) совместимость между 1) и 2); первоначальная совместимость низкая, оптимальная дозировка высокая (около 1,5 %), но потери распыла конуса незначительные с течением времени.

В данной работе исследовали совместимость СП-1 и Полипласт ПК тип S с вяжущим ЦЕМ I 42,5 Н в дозировках 0,2%, 0,4% и 0,6%. Для исследований использовали метод мини-конуса, готовили цементное тесто с исходным распылом конуса 55-60 мм, перемешиваем 5 мин и измеряем РК. Затем вводили суперпластификаторы в тесто, сохраняя В/Ц постоянным, перемешивали 5 мин и снова измеряли РК. Оставляли тесто на 1 час и повторяли эксперименты.

По полученным данным строили графики (рис. 1 и рис. 2) зависимости распыла конуса от количества добавки, где 1 – показатели сразу через 5 мин после перемешивания, а 2 – показатели через 1 час после затворения.

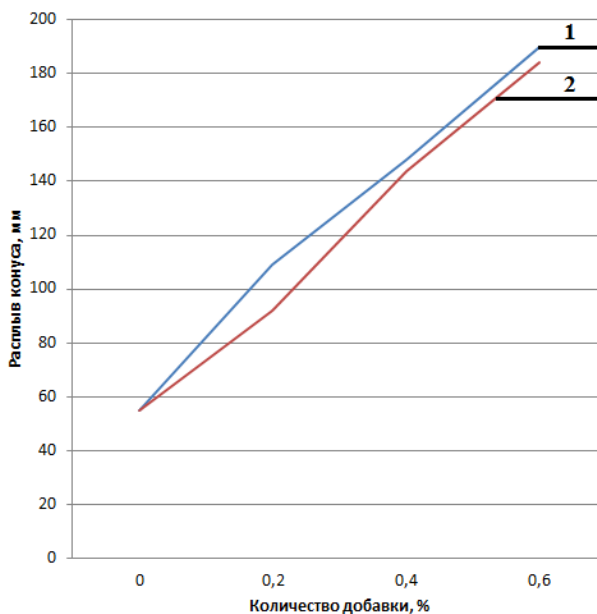


Рис. 1 – График зависимости распыла конуса от количества добавки СП-1: 1 - РК спустя 5 мин после затворения; 2- РК через час после затворения

Добавление СП-1 при повышении дозировки постепенно увеличивает распыл, после 1 часа при дозировке 0,2% распыл

уменьшился на 17 мм, при 0,4% - уменьшился на 4 мм, при 0,6% - уменьшился на 6 мм.

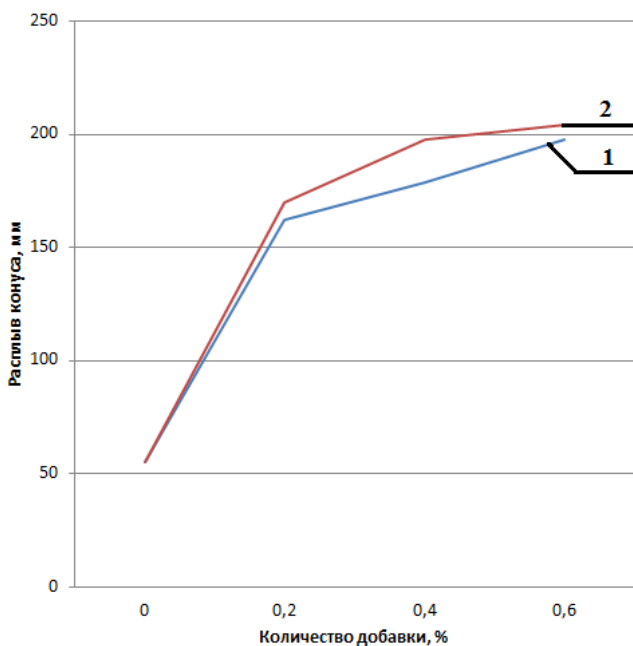


Рис. 2 – График зависимости расплыва конуса от количества добавки ПК тип S : 1 - РК спустя 5 мин после затворения; 2 - РК через час после затворения

Добавления Полипласт ПК тип S при малой дозировке (0,2 %) резко увеличивает расплыв, затем с ростом дозировки расплыв увеличивается постепенно; после 1 часа РК увеличивается в среднем на 8-10 мм так же постепенно.

Основываясь на критериях оценки совместимости следует, что суперпластификатор Полипласт ПК тип S характеризуется лучшей совместимостью с цементом, так как при малых дозировках показывает максимальное значение разжижения и сохраняет свойства с течением времени.

Оптимальное сочетание вяжущего или других высокодисперсных материалов и эффективных суперпластификаторов позволяет направленно влиять на технологические характеристики бетонных смесей, модифицировать структуру и свойства бетонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Толмачев, С. Н. Разработка технологических критериев совместимости суперпластификаторов с цементами / С. Н. Толмачев, Е. А. Беличенко, А. В. Бражник // Строительные материалы . – Белгород : БГТУ, 2016. – С. 60-65.
2. Мартынова В.Б., Николаева Е.К. Применение органоминеральных модификаторов бетонов как способ повышения их эксплуатационных свойств // интеграция наук. - Москва: Научно-издательский центр "Империa", 2019. - С. 113-116.
3. Ушеров-Маршак А.В., Циак М. Совместимость – тема бетоноведения и ресурс технологии бетона // Строительные материалы. 2009. № 10. С. 12–15.
4. Ушеров-Маршак А.В., Златковский О.А., Першина Л.А., Циак М. К оценке совместимости химических добавок с цементами в технологии бетона // Строительные материалы. 2003. № 4. С. 11–15 4. Ушеров-Маршак А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 8–12.
5. Бондыра-Орач Г., Курдовски В. Совместимость цемент – суперпластификатор. Современные бетоны: Сб. докладов IX Междунар. науч.-практ. конференции. Украина. Запорожье. 2007. С. 77–80.

УДК 636.09

*Газиев Х.Х., Кикалишвили Е.Н. Тарасов И.А.
Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СМЕШЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГОМОГЕННОЙ МАССЫ

Смешение компонентов для получения гомогенной массы - это один из ключевых технологических процессов, используемых в различных отраслях промышленности от производства пищевых продуктов до химической и фармацевтической промышленности. Правильное смешение компонентов играет решающую роль в достижении желаемого качества конечного продукта.

Однако, часто возникают трудности при достижении высокой гомогенности технологической массы. Неравномерное распределение компонентов в смеси может привести к нежелательным конечным

результатам, таким как изменение структуры, текстуры, вкуса продукта и т.д., а также снизить его эффективность и стабильность. В этой статье мы рассмотрим различные методы смешения компонентов, которые помогут обеспечить равномерное распределение и достичь гомогенной массы.

Смешение компонентов для получения гомогенной массы является важным этапом в различных процессах производства, таких как промышленное производство, фармацевтика, пищевая промышленность и другие. Гомогенная масса определяет, что составляющие компоненты равномерно распределены во всей смеси, что в свою очередь обеспечивает однородность продукта и высокое качество.

Однако, добиться гомогенной массы смеси может быть не так просто. В некоторых случаях компоненты могут иметь различные физические и химические свойства, такие как плотность, вязкость, температура плавления и т.д. Кроме того, может быть и сама структура смеси, которая может оказывать влияние на распределение компонентов.

Для достижения гомогенной массы, различные методы смешения применяются в зависимости от особенностей компонентов и требуемого результата. Некоторые из них включают механическое перемешивание, что является одним из самых распространенных методов. Этот метод включает использование мешалок или активаторов для перемешивания компонентов. Он может быть эффективен в определенных случаях, но может быть неэффективен, если компоненты имеют значительные различия в своих свойствах.

Другим методом является использование технологии ультразвукового смешивания. Этот метод использует ультразвуковые волны для перемешивания сырьевых компонентов. Ультразвуковые волны создаются при помощи ультразвуковых генераторов и передаются в смесь через ультразвуковую ванну или преобразователь. Этот метод является более эффективным в смешивании компонентов с различными свойствами, так как ультразвук может проникать в глубину смеси и однородно перемешивать ее.

Кроме того, есть методы, которые комбинируют различные подходы для достижения гомогенной массы, такие как комбинированное механическое и ультразвуковое смешивание. Эти методы позволяют достичь более высокой однородности и улучшить качество продукта.

Основные принципы и методы смешения компонентов для получения гомогенной массы включают в себя несколько важных аспектов.

Во-первых, важно принять во внимание физические и химические свойства компонентов. Различные компоненты могут иметь разную плотность, вязкость, растворимость и т.д. При разработке процесса смешения необходимо учитывать эти свойства и выбирать оптимальные условия для перемешивания компонентов.

Во-вторых, методы смешения компонентов также могут различаться в зависимости от типа смеси. Например, для смешивания жидких компонентов можно использовать различные типы смесителей, такие как мешалки, вращающиеся барабаны или смесительные насосы. Для смешивания твердых компонентов часто используются смесительные барабаны или вибрационные сита.

Кроме того, важно также учитывать режим работы смесителей. Например, смешение может происходить с постоянной скоростью или в условиях периодической интенсификации, которая позволяет достичь более эффективного перемешивания.

Важным аспектом при смешении компонентов является оптимизация рабочих параметров, таких как скорость перемешивания, время перемешивания, температура и давление.

Правильная настройка этих параметров позволяет добиться максимального равномерного распределения компонентов в смеси и, как следствие, получить гомогенную массу.

Эффективность смешения компонентов для получения гомогенной массы зависит от нескольких факторов. Один из основных факторов – правильное соотношение компонентов. Если соотношение компонентов не оптимально, то может возникнуть трудность в достижении гомогенности массы. Соотношение компонентов может быть выражено весовыми или объемными долями, которые требуют точного измерения и расчета.

Вторым фактором, влияющим на эффективность, является механизм смешения. Различные методы смешения, такие как турбулентное перемешивание, вихревое перемешивание или методы с использованием оборудования, могут дать разные результаты. Некоторые методы могут более эффективно смешивать компоненты и достичь гомогенной массы, в то время как другие методы могут оставить неравномерности в смеси.

Третьим фактором является время смешения. Чем дольше компоненты смешиваются, тем больше вероятность получить гомогенную массу. Однако, слишком длительное время смешения

может привести к перу измельчению или дополнительным неравномерностям в смеси. Поэтому необходимо оптимизировать время смешивания в соответствии с требуемым результатом.

Четвертым фактором, влияющим на эффективность смешения компонентов, является температура. Высокая температура может с учетом физико-химических свойств компонентов ускорить процесс смешения и достичь большей гомогенности. Однако высокая температура может также вызвать нежелательные побочные реакции или разрушить некоторые компоненты. Поэтому необходимо учитывать оптимальную температуру для каждой комбинации компонентов.

Все эти факторы взаимосвязаны и должны быть учтены при разработке процесса смешивания компонентов для получения гомогенной массы. Эффективность смешения будет зависеть от правильного соотношения компонентов, выбора оптимального метода смешения, оптимизации времени смешения и контроля температуры. Оптимальное смешение компонентов позволит достичь желаемого качества и характеристик конечного продукта.

Смешение компонентов для получения гомогенной массы является важным этапом в процессе приготовления сырьевых масс. Для достижения оптимального результата требуется использование соответствующего оборудования и инструментов.

Одной из таких вариантов является механическое смешивание. Это процесс, при котором компоненты подвергаются механическому воздействию, такому как вращение, перемешивание или трение. В результате этого перемешивания компоненты смешиваются и смешиваются, что приводит к получению гомогенной массы. Для механического смешения используются различные инструменты, такие как смесители, миксеры и валковые мельницы.

Альтернативной техникой является химическое смешение. В этом случае компоненты смешиваются вследствие химических реакций. Процесс химического смешения может происходить при высоких температурах и давлениях, что способствует более эффективному перемешиванию компонентов. Для химического смешения требуются специальные реакторы и соответствующие реагенты.

Еще одной важной техникой является вакуумное смешение. Вакуумное смешение позволяет удалить воздушные пузырьки из компонентов, что способствует еще более равномерному перемешиванию. Для вакуумного смешения используются специальные смесители и аппараты с вакуумными насосами.

Важно отметить, что выбор техник и инструментов для достижения гомогенной массы зависит от характеристик компонентов и требуемого уровня смешения.

Обеспечение оптимального смешения является важным фактором для получения качественного продукта или материала.

Примеры применения смешения компонентов для получения гомогенной массы в различных отраслях очень разнообразны. Одним из таких примеров является пищевая промышленность. В процессе производства пищевых продуктов, таких как майонезы, салатные соусы и кремы, смешение компонентов используется для достижения однородной текстуры и равномерного распределения ингредиентов по всей массе. Это позволяет получить продукты высокого качества с отличным вкусом и консистенцией.

Важной отраслью, где применяется смешение компонентов для достижения гомогенной массы, является фармацевтическая промышленность. В процессе производства таблеток и капсул, смешение компонентов используется для поддержания равномерного содержания активного вещества в каждой порции. Это важно для обеспечения одинаковой эффективности и безопасности приема лекарственных препаратов пациентами.

Автомобильная промышленность является одной из сфер, где применяется смешение компонентов. В процессе производства автомобилей, смешение компонентов используется для достижения однородного распределения материалов, таких как краска или клей, по всей поверхности. Это обеспечивает равномерное покрытие и прочность соединений, что важно для качества и долговечности автомобиля.

Таким образом, смешение компонентов для получения гомогенной массы требует соблюдения нескольких принципов, использования оптимальных методов, знание физических и химических свойств компонентов, выбор подходящих методов смешения и настройка рабочих параметров являются важными факторами для достижения желаемого результата. Это позволяет обеспечить качество и однородность конечной продукции.

Также смешение компонентов для получения гомогенной массы имеет широкое применение в различных отраслях. Это позволяет достичь необходимой однородности и равномерности в процессе производства различных продуктов и материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физическая химия: химическое равновесие : учеб. пособие /Л. В. Сеничева, В. А. Яргаева. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. – 83 с.
2. Смещение химического равновесия // ФОКСФОРД URL: <https://foxford.ru> (дата обращения: 23.03.2024).
3. Бокштейн Б. С. Краткий курс физической химии / Б. С. Бокштейн, М. И. Менделев. – М. : «Че Ро» МИСИС, 2002. – 232 с.
4. Зимон А. Д. Физическая химия / А. Д. Зимон, Н. Ф. Лещенко. – М. : Химия, 2000. – 320 с.
5. Майзлиш, В.Е. Технология и оборудование химико-фармацевтической промышленности. Гомогенизация: учебное пособие /В.Е. Майзлиш, А.В. Борисов, Е.А. Данилова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2019. – 140 с.
6. Zagrodnuk L. H., Lesovik V. S., Volodchenko A. A., Yerofeyev V. T. // Optimization of mixing process for heat insulating mixtures in a spiral blade mixer // Year the Document was Publish 2016. Source of the Document International Journal of Pharmacy and Technology // Volume 8, Issue 3, 2016, pages 15146 – 15155.

УДК 636.09

*Газиев Х.Х., Кикалишвили Е.Н. Тарасов И.А.
Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ НА ПОВЫШЕНИЕ АДСОРБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ

Дисперсность - одно из ключевых понятий в химии и физике, которое играет важную роль во многих процессах. Ее влияние на адсорбирующие свойства материалов неоспоримо и может быть использовано для повышения эффективности различных технологических процессов.

Адсорбция, является процессом притягивания молекул одного вещества к поверхности другого. Она широко применяется в различных областях, таких как фильтрация, очистка воды и газа, а также при производстве лекарственных препаратов. Дисперсность материала может значительно повлиять на его адсорбционные свойства.

Чем выше дисперсность материала, тем больше его поверхность, доступная для контакта с другими субстанциями. Мельчайшие частицы материала имеют большую площадь поверхности по сравнению с крупными частичками того же материала. Это создает больше возможностей для молекул других веществ "прилипнуть" к этой поверхности и быть поглощенными. Таким образом, повышение дисперсности материала может значительно увеличить его адсорбционные свойства.

Например, в процессе очистки воды от различных загрязнений частицы фильтрующего материала должны иметь высокую дисперсность. Это позволяет им притягивать и удерживать больше загрязнений на своей поверхности, что обеспечивает более эффективную очистку воды. Аналогично, при производстве лекарственных препаратов, повышение дисперсности активного ингредиента может увеличить его способность адсорбировать другие компоненты и тем самым повысить эффективность препарата.

Влияние дисперсности на адсорбирующие свойства материалов является важным фактором. Повышение дисперсности материала способствует увеличению числа активных поверхностей для взаимодействия с поглощаемыми веществами. Большая поверхность обеспечивает более интенсивный контакт и более эффективную активность адсорбентов.

Дисперсность также влияет на пористую структуру материала. При увеличении дисперсности происходит увеличение числа пор, и их размер становится меньше. Это позволяет достичь более быстрого проникновения адсорбата внутрь материала и увеличивает доступность активных центров для взаимодействия с веществом.

Увеличение дисперсности вещества может значительно повысить его адсорбирующие свойства. Это происходит благодаря различным механизмам, которые обусловлены изменением поверхностных характеристик материала.

Первый механизм основан на увеличении площади поверхности при уменьшении размера частиц. Более дисперсное вещество содержит более мелкие частицы, которые имеют большую поверхность по сравнению с крупными частицами. Это обеспечивает большую поверхность для взаимодействия с другими веществами, что увеличивает возможность адсорбции и удержания различных молекул на поверхности.

Второй механизм связан с увеличением пористости материала при увеличении дисперсности. Мелкие частицы вещества образуют мельчайшие поры, что создает большую систему сообщающихся пор и

каналов. Это позволяет молекулам свободно проникать во внутреннюю структуру материала и удерживаться в нем.

Третий механизм основан на изменении поверхностных свойств материала при увеличении дисперсности. Более дисперсное вещество имеет более разветвленную поверхность с большим количеством активных узлов и функциональных групп

Дисперсность определяется размером частиц вещества, и чем меньше размер частиц, тем более равномерное распределение вещества и его поверхности.

Благодаря высокой дисперсности, адсорбенты имеют большую поверхность контакта с поглощаемым веществом. Это способствует более эффективному проникновению молекул вещества за счет увеличения площади взаимодействия. Таким образом, чем лучше дисперсность адсорбента, тем большее количество молекул будет фиксироваться на его поверхности.

Значительное увеличение адсорбирующих свойств за счет повышенной дисперсности сорбентов можно проследить на примере активированного угля. Уголь имеет высокую дисперсность, обусловленную мельчайшими размерами его частиц. Благодаря этому, активированный уголь обладает высокой поверхностью и способностью удерживать большое количество адсорбата.

Благодаря повышенной дисперсности, поверхность материала становится более доступной для взаимодействия с молекулами адсорбата. Увеличенная площадь поверхности обеспечивает большую площадь контакта между материалом и адсорбатом, что способствует более эффективному проникновению последнего в структуру материала и его удержанию.

Кроме того, высокая дисперсность материала способствует улучшению диффузии адсорбата в структуре материала и увеличению возможности его адсорбции. Это связано с тем, что частицы с меньшим размером обладают более высокой мобильностью и легче проникают в зоны пористости материала. Повышенная дисперсность материала увеличивает его адсорбирующие свойства путем увеличения площади поверхности и повышения возможности взаимодействия с молекулами адсорбата

Дисперсность играет ключевую роль в оптимизации адсорбирующих свойств материалов. Благодаря увеличению поверхности, мелкодисперсные материалы могут эффективно взаимодействовать с загрязнителями и адсорбировать их. Это приводит к более эффективному очищению среды от вредных веществ и улучшению качества окружающей среды.

Помимо этого, дисперсность способствует лучшему контакту между активными центрами материала и загрязнителями. За счет более равномерного распределения активных поверхностей, дисперсность помогает усилить процессы адсорбции и ионного обмена, что обуславливает повышенные адсорбирующие свойства материала.

Важно отметить, что повышение дисперсности не всегда приводит к улучшению адсорбирующих свойств. В некоторых случаях, слишком высокая дисперсность может вызывать проблемы с агрегацией и образованием нестабильных структур материала, что снижает его эффективность.

Однако, современные технологии синтеза и модификации материалов позволяют достичь оптимального баланса между дисперсностью и стабильностью структуры.

В заключение, дисперсность играет существенную роль в адсорбционных свойствах материалов. Повышение дисперсности может значительно улучшить эффективность процессов адсорбции и использоваться для оптимизации различных технологических процессов. Дальнейшие исследования в этой области помогут раскрыть еще больший потенциал дисперсности и разработать новые методы для повышения адсорбционных свойств материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поверхностные явления. Адсорбция: Учебное пособие./ М.В.Улитин, Д.В.Филиппов, А.А. Федорова. ФГБОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет.- Иваново, 2014.- 206 с.

2. Адамсон А. Физическая химия поверхностей.- М.: Мир, 1979. - 568 с.

3. Адсорбация // StudFiles URL: <https://studfile.net> (дата обращения: 21.03.2024).

4. Влияние на адсорбцию свойств адсорбента и адсорбтива. Динамическая адсорбция. Адсорбция из смесей газов // KraskaBiz URL: <http://kraska.biz> (дата обращения: 20.03.2024).

5. Кривошапкин П.В., Кривошапкина Е.Ф., Назарова Е.А., Сталюгин В.В. Основы коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 138 с.

6. Загороднюк Л. Х., Лесовик В. С., Воронов В. В., Чулкова И. Л., Куприна А. А., Павленко О. А. // Особенности твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. №10. С. 32 – 36.

УДК 693.54

Газиев Х.Х., Чжан Сюань

Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЯ КИТАЯ

Мелкозернистый бетон широко используется в строительной отрасли Китая и является незаменимым материалом для возведения зданий и различных сооружений, его называют «самым революционным материалом в технологии бетонного строительства за последние десятилетия». Отмечается, что мелкозернистый бетон отлично зарекомендовал себя в технологиях свайных фундаментов. Мелкозернистый бетон эффективно решает проблему сжатия сваи и сопротивление вытягиванию. В связи с быстрым развитием городского строительства, освоения земельных ресурсов, доступных для строительства, строительства высотных и супер- высотных зданий и сооружений требуется разработка высокоэффективных мелкозернистых высокопрочных бетонов для создания фундаментов. При устройстве фундаментов высотных и сверхвысотных зданий требования к несущей способности фундамента становятся все выше и выше.

По мере роста экономики Китая и ускорения тенденции к глобализации промышленное гражданское строительство вносит значительный вклад в развитие страны, что нельзя игнорировать при возведении строительных объектов. В частности, при выполнении свайных работ, необходимо учитывать все особенности грунтов, а также назначение строительного объекта.

Особую значимость в современном строительстве приобретают свайные фундаменты.

В настоящее время получают широкое распространение буронабивные сваи, которые зарекомендовали себя положительно при устройстве сооружений на мягких грунтах. С целью снижения массы зданий в настоящей работе использовалось композиционное вяжущее, полученное на основе портландцемента и различных разновидностей песков Китая, а также пластифицирующей добавки. Применение прилагаемых принципов подбора составов тяжелого бетона обеспечивает формирование плотной структуры, а также оптимизирует

процесс получения тяжелых бетонов с получением высоких классов прочности, а также внедрить их в производство свайных фундаментов.

Для разработки мелкозернистого бетона для изготовления свайных бетонов было разработано композиционное вяжущее с применением различных минеральных наполнителей. Для получения композиционных вяжущих в работе использовали портландцемент ЗАО «Белгородский цемент» ПЦ 500-Д0-Н (ГОСТ 10178-85, ГОСТ 30515-2013) [1, 2]. Качество цемента определялось в соответствии с ГОСТ 310.1-76 – 310.4-81 «Цементы. Методы испытаний» [147-148]. Показатели основных строительно-технических свойств цемента приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав цемента

Марка цемента	Химический состав, масс. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O
ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2016	22,0± 0,3	5,4±0, 1	4,2±0, 1	66,2± 0,4	0,6±0, 2	0,14± 0,1	0,55± 0,1

Таблица 2 – Строительно-технические характеристики цемента

Наименование показателя	ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2016
Минералогический состав клинкера, масс. %	
C ₃ S	59,0±2,0
C ₂ S	18,8±2,0
C ₃ A	7,0±0,2
C ₄ AF	13,1±0,3
Удельная поверхность, м ² /кг	330±4
Нормальная густота цементного теста, %	25,5±0,3
Сроки схватывания, мин	
начало	130-170
конец	200-230
Средняя активность при пропаривании, МПа	39,5±1,1
Активность в двухсуточном возрасте, МПа	26

использовали в качестве минеральных добавок три вида наполнителей, добываемых в ближайшем месторождении: песок кварцевый, алевроиты и песчано-глинистые породы (таблица 3).

Таблица 3 - Химический состав минеральных добавок

Наполнитель	Химический состав, %								
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Проч.	Сумма
Кварцевый песок	97,2	0,075	0,67	0,33	0,21	0,025	0,08	1,41	100
Алевроиты	62,6	4,56	12,7	10,6	2,1	1,4	1,1	4,99	100
Песчаноглинистые породы	79,6	2,95	9,85	0,89	0,48	0,85	1,39	3,99	100

Для получения, композиционного вяжущего применяли вибрационную мельницу и обрабатывали требуемый технологический режим для достижение необходимых результатов.

Для определения физико-механических показателей из вяжущих композиций формовали образцы-кубики размером 3×3×3 см, которые хранились в нормальных условиях и испытывали в возрасте 14 и 28 суток (таблица 4).

Таблица 4 – Физико-механические характеристики вяжущих композиций

Кол-во пепла, %	Суд, м ² /к г	НГ	Без помола				№	Кол-во пепла, %	Су, м ² /к г	НГ	С помолом		
			Прочности при сжатии в возрасте, суток в МПа		+при рост/снижение *	Прочности при сжатии в возрасте, суток в МПа					+приrost/снижение*		
			14	28		14						28	
0	367	25,5	54,14	72,24	100	1п	0	689	27,0	70,75	88,84	100	
10	376	27,77	59,50	81,98	+113,48	2п	10	699	33,40	75,98	99,87	+112,42	
20	376	30,06	52,24	70,30	-97,31	3п	20	689	36,31	68,65	89,89	+101,18	
30	371	32,86	48,25	65,43	-90,57	4п	30	692	41,42	62,92	78,62	-88,50	
40	374	35,83	34,36	57,24	-79,23	5п	40	696	45,00	44,99	69,39	-78,62	
50	374	42,00	29,13	55,06	-76,22	6п	50	691	54,00	3763	6533	-73,76	

* - прочности в возрасте 28 сут относительно состава без пепла, %

График зависимости прочности вяжущих композиций от количества в вяжущей композиции алевритов приведен на рисунке 1.

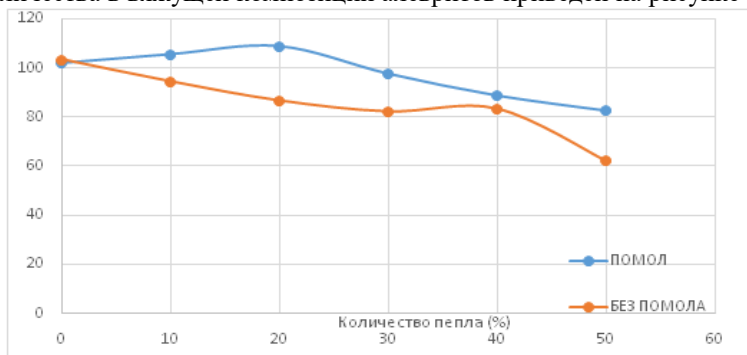


Рис. 1– Изменение прочности вяжущих композиций в зависимости от количества алевритов.

Выполненные исследования подтвердили, что прочность цементных камней, полученных из вяжущих композиций на основе цемента и алевритов в большей мере зависит от содержания в этих цементах фракций размерами от 3 до 30 мкм, а также наличия высокодисперсного минерального наполнителя. Совместная активизация вяжущих композиций помолом цемента с алевритом в количестве 10% позволяет повышать прочность при сжатии на 23%, а при использовании 20% алевритов повышать прочность на 22%, при определенной экономии дорогостоящего энергоемкого портландцемента до 20%. Экспериментальные результаты указывают на факт влияния гранулометрического состава минерального наполнителя и цемента в вяжущих композиций в формировании их физико-механических показателей. В результате выполненных исследований показана возможность и целесообразность применения алевритов как минерального наполнителя в композиционных вяжущих для получение мелкозернистых бетонов и последующего их использования при изготовлении буронабивных свай.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каплунов Д. Р. Новая технология и оборудование для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при

подземной обработке месторождений // М. В. Рыльникова, В. А. Арсентьев, В. В. Квитка, Р. Ш. Маннанов // Горный журнал – 2012. №2. С. 41 – 43.

2. Сергеев А. А. Рациональное использование рудных месторождений // А. А. Сергеев – М.: Металлургия, 1964 – 248 с.

3. Баженов Ю. М. Мелкозернистые бетоны из техногенного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений // Д. К. Батаев, С. А. Муртазаев // Грозный, 2011, с. 154 – 179.

4. Лесовик В. С. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Л. Х. Загороднюк, Д. А. Беликов, А. Ю. Щекина, А. А. Куприна // Строительные материалы – 2014, №7. с. 82 – 85.

5. Белов В. В. Капиллярное структурообразование сырьевых композиций на основе минеральных вяжущих // Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2010, №6. с. 63 – 75.

УДК 552.54

Губарев С.А., Лютенко А.О.

Научный руководитель: Загороднюк Л.Х. д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОСОБЕННОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Карбонатные породы (карбонатолиты) - осадочные образования, более чем на 50% состоящие из карбонатных минералов - кальцита, арагонита, доломита, сидерита, магнезита, анкерита и другие. Цвет чаще всего белый и светло-серый, примесь железа дает красный и розовый, а примесь органического вещества - темно-серый и черный.

Основная классификация проводится по минеральному составу:

- 1) известняки - кальцит или арагонит;
- 2) доломиты;
- 3) сидериты;
- 4) магнезиты;
- 5) анкериты;
- 6) родохрозиты.

Одно из основных предназначений карбонатных пород это производство цементных и отделочных смесей, а также они учувствуют в процессах нефтедобычи и строительства в целом.

Также порода находит свое применение в стекольном производстве, где используются преимущественно доломит и меньше

известняк и мел. А известняк и мел в свою очередь используют при производстве целлюлозы и во многих других производствах.

Основная проблема, это недостаточная изученность физических характеристик карбонатных пород, большой диапазон значений, сложность выведения зависимостей при использовании в сфере строительства и высокая зависимость характеристик породы от внешних воздействий.

Основная часть. Карбонатные породы состоят в основном из минералов, называемых карбонатами. Наиболее распространенным карбонатом является кальцит (CaCO_3), но также встречаются и другие карбонаты, такие как доломит и арагонит [3].

Так же есть и другие классификации, в т.ч. по процентному содержанию карбонатов и глин по С. Г. Вишнякову:

Таблица 1 - Классификация карбонатных пород

Порода	Карбонат, %	Глина, %
Известняк, доломит	95-100	0-5
Глинистый известняк, глинистый доломит	75-95	5-25
Мергель, доломитовый мергель	25-75	25-75
Известковая глина, доломитовая глина	25-5	75-95
Глина	0-5	100-95

Структура карбонатных пород может быть разнообразной. Они могут быть мелкозернистыми, с кристаллами размером менее 1 мм, или крупнозернистыми, с кристаллами размером от 1 до 10 мм. Кристаллы карбонатов могут быть различной формы, от призматической до пластинчатой.

Карбонатные породы также могут содержать различные породообразующие минералы, такие как кварц, глина и песчаник. Эти минералы могут быть примесью или образовывать включения в карбонатной матрице [5].

Структура карбонатных пород может быть различной. Они могут быть слоистыми, с ярко выраженными плоскостями раздела между слоями, или массивными, без явных разделов. Карбонатные породы также могут иметь различные текстуры, такие как кристаллическая, гранулометрическая или пиритовая.

Карбонатные породы обладают высокой пористостью и проницаемостью, что делает их хорошими резервуарами для хранения и передачи воды, нефти и газа. Они также обладают хорошей устойчивостью к химическому воздействию и механическим нагрузкам,

что делает их прочными и долговечными материалами для строительства и промышленности.

Карбонатные породы образуются в результате осадочных процессов, связанных с накоплением и превращением органических и неорганических отложений в морских и пресноводных средах. Они являются результатом активности организмов, таких как кораллы, морские водоросли и микроорганизмы, а также химических процессов, происходящих в воде [7].

Биологическое осаждение является одним из основных процессов образования карбонатных пород. Организмы, такие как кораллы, морские водоросли и микроорганизмы, выделяют кальций и карбонатные ионы из воды, чтобы строить свои скелеты и оболочки. По мере накопления этих органических остатков, они превращаются в карбонатные породы.

Химическое осаждение происходит при насыщении воды карбонатными ионами и последующем их осаждении в результате изменения условий окружающей среды. Это может происходить при изменении температуры, давления или pH воды. Примером химического осаждения является образование сталактитов и сталагмитов в пещерах.

Механическое осаждение происходит при накоплении мелких частиц карбонатных минералов, таких как известняк или доломит, в результате физического перемещения воды. Это может происходить в реках, озерах или морях, где течение воды переносит и откладывает эти частицы на дне.

Диагенез - это процесс превращения осадочных отложений в карбонатные породы под воздействием давления и температуры. В результате диагенеза происходит компактация и цементация частиц, что приводит к образованию прочных и плотных карбонатных пород.

Все эти процессы могут происходить одновременно или последовательно, в зависимости от условий окружающей среды и наличия органических и неорганических источников карбоната. Результатом этих процессов являются различные типы карбонатных пород, такие как известняк, доломит и мрамор.

Рассмотрим физико-механические свойства карбонатных пород, на примере мела. Прочность во многом определяется влажностью. В не увлажненном состоянии мел имеет временное сопротивление при сжатии 1000 - 45 000 кН/м². Модуль упругости такой породы - 3 тыс. МПа (для рыхлого состояния) и до 10 тыс. МПа (для плотного). Величина угла внутреннего трения – 24 - 30 градусов, при всестороннем сжатии сцепление достигает 700 - 800 кН/м² [2].

Плотность варьируется в границах 2690 - 2720 кг/м³; пористость 44 - 50%; естественная влажность 19 - 33%.

При воздействии воды физические свойства мела начинают резко меняться. В первую очередь происходит снижение прочности [1].

Сильнотрещиноватые мела и мергеля мелоподобные слабоглинистые отличаются от мелов и мергелей аналогичного состава.

По значениям физических свойств, они обладают более низким значением коэффициента пористости (0,9 и 0,84), более низким значением числа пластичности, соответствующим суглинкам легким. Нормативные значения основных показателей физических свойств: плотность - 1,80 г/см³; коэффициент пористости ϵ - 0,94 [5].

Деформационные свойства мелов сильнотрещиноватых характеризуются большой изменчивостью. Для мелов природной влажности значения модуля деформации в интервале нагрузок 0,1 - 0,3 МПа меняются от 12,8 до 79,4 МПа при нормативном значении от 50,9 до 62,2 МПа. Для мелов замоченных нормативное значение модуля деформации в интервале нагрузок 0,7 - 0,9 МПа составляет 56,6 - 79,7 МПа. При замачивании мела в ряде случаев проявляют тенденцию к просадочности, а иногда ведут себя как просадочные грунты, давая при замачивании значение относительной просадочности 0,01 при начальном просадочном давлении 0,05 МПа [4].

Заключение. Дальнейшее распространение исследования карбонатных пород, будет способствовать решению части проблем и развитию в области строительства и геологоразведки в целом. Что в последствии приведет к ускорению и повышению качества проводимых работ, разработке типовых проектов, а также следствием будет являться - высокий контроль качества производимых работ. Использование более современного оборудования, разработка новых установок и методик, заточенных под конкретные задачи, повысит точность измерения, снизит погрешности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дурнев Ю.Ф. Мел - мергельные грунты правобережья Дона / Справочное пособие. – Воронеж: Фондовые материалы «Воронеж ТИСИЗ», 1985, 195 с.

2. Загороднюк Л.Х., Черныш А.С., Губарев С.А., Рыжих В.Д. Проектирование фундаментов на карбонатсодержащих породах. Материалы VI Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации» / М-во науки и высшего образования Российской Федерации, Новосиб. гос. архитектур.-строит.

ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2023. Стр.204-210.

3. Олферьев А.Г., Алексеев А.С. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка. – М.: Палеонтологический институт РАН, 2005, 204 с.

4. Химические и физические свойства мела [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fb.ru> свободный – (20.04.2024).

5. Каталог минералов. Мел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://catalogmineralov.ru> вободный – (20.04.2024).

6. Карбонатные породы: определение, свойства и использование в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nauchniestati.ru/spravka/petrologiya-karbonatnyh-porod/>, свободный – (24.04.2024).

7. Литология. Карбонатные породы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://r-schekoldin.ru> свободный – (22.04.2024).

УДК 691.3

Данилов Д.Ю.

Научный руководитель: Толыпина Н.М., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БЕТОНА

Ультразвуковой метод определения прочности бетона обладает определенными достоинствами и недостатками. К первым можно отнести то, что этот метод относится к неразрушающим, что позволяет делать испытания непосредственно конструкций без какого-либо вреда для них. Другим важным фактором является оперативность вывода данных с помощью встроенной в прибор вычислительной системы, что позволяет получать моментальный результат на табло прибора. Что касается недостатков, то главным из них является его сильная зависимость от многих факторов, влияющих на скорость распространения ультразвука по телу бетона, из-за чего связь скорости с прочностью бетона может быть нестабильной, а также потребность в высокоточном оборудовании [1]. На эту скорость влияют в том числе влажность образца/конструкции, количество и вид крупного заполнителя и пр. Уменьшить влияние этих факторов на связь «скорость-прочность» можно, если принять бетон за неоднородный

материал.

Как известно, бетон имеет огромный спектр конфигураций, причем даже при одинаковой прочности его состав может довольно сильно отличаться. Степень его неоднородности так же может различаться, т.к. на структурообразование влияют самые разные факторы: технология производства, качество перемешивания, характер транспортировки, уплотнения, термовлажностной режим при затвердевании [2]. Оказывают влияние различные факторы и на уже затвердевший бетон.

Наличие настолько большого количества переменных повлекло за собой то, что все еще не разработана единая схема и теория распространения ультразвука через бетон [3]. По этой причине скорость ультразвука в бетоне определяют по формуле как для однородного материала:

$$V = \frac{L}{t} \quad (1),$$

где L – путь, пройденный ультразвуком, t – затраченное на его прохождение время.

Для рассмотрения схемы распространения ультразвуковой волны через бетон необходимо пойти на некоторые допущения. Примем, что затвердевший бетон состоит из двух компонентов: относительно однородной растворной части с плотностью ρ_1 и скоростью ультразвука V_1 и крупного заполнителя с ρ_2 и V_2 . При этом $V_1 < V_2$.

Работа ультразвукового прибора основана на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в материале от излучателя к приемнику, расположенных на расстоянии L друг от друга. На этом пути волна первым делом попадает в слой, являющийся контактным между излучателем и бетоном, пройдя который она частично отражается в обратном направлении, а частично проникает в толщу бетона. Далее проникая вглубь по растворной части, волна будет встречать на своем пути и гранулы крупного заполнителя, от которых также будет частично отражаться, меняя свое направление, а частично проходить сквозь гранулы.

Принимая во внимание условие $V_1 < V_2$ можно утверждать, что некоторое расстояние d первой пройдет та волна, которая прошла через гранулы крупного заполнителя. Те волны, которые не отразятся от поверхности, а пройдут сквозь гранулу, называют головными волнами. Сами же эти гранулы можно считать элементарными сферическими источниками излучения ультразвуковой волны в растворную часть бетона, к которой применим принцип Гюйгенса — Френеля, по которому каждый элемент волнового фронта можно рассматривать как

центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны. То есть головная волна, проходя сквозь растворную часть, будет порождать все новые элементарные сферические источники излучения ультразвуковой волны и таким образом, пройдя путь L и достигнув второго контактного слоя, попадет в приемник, где преобразуется в электрический сигнал.

Таким образом, путь L от излучателя к приемнику определяется теми волнами, которые преодолели его за минимальное время. Отсюда

$$t = t_1 + t_2 \quad (2),$$

где t_1 – время, затраченное на прохождение растворной части, t_2 – время, затраченное на прохождение гранул крупного заполнителя.

И аналогичным образом,

$$L = L_1 + L_2 \quad (3),$$

где l_1 – путь через растворную часть, l_2 – путь через гранулы крупного заполнителя.

Здесь стоит отметить, что пройденное расстояние L скорее всего будет неравно прямому расстоянию от излучателя к приемнику, т.к. волна идет по пути максимальной скорости, а не самому краткому пути. Время же, которое потребовалось для прохода через контактные слои, не учитывается при вычислении t .

Преобразовав уравнения (2) и (3) и подставив их в (1), получаем:

$$V_1 = \frac{l_1}{\left(\frac{L}{V} - \frac{l_2}{V_2}\right)} \quad (4)$$

где V – усредненная скорость УЗ, V_2 – скорость УЗ в материале крупного заполнителя (устанавливается экспериментально или принимается справочно).

Экспериментальным путем в [4] установлена формула определения прочности бетона при применении описанного метода:

$$R_c = abV_1^{3.75} \quad (5)$$

Рассмотренная схема актуальна для большинства бетонов, применяемых на заводах ЖБИ и строительных площадках. Не подходит она для керамзитобетона, пенобетона и бетона с туфовым

заполнителем.

Ультразвуковая диагностика, несмотря на относительную простоту схемы, имеет широкий диапазон использования с разными целями. Его можно использовать и для определения трещиностойкости (в том числе определения глубины трещины), и для поиска полостей и зон расслоения внутри тела бетона, и для измерения морозостойкости бетона. Существуют методики определения пригодности бетонных конструкций после разного рода ЧП, таких как пожар, землетрясения и пр., что указывает на возможность применения УЗ диагностики как для вновь возведенных, так и для давно эксплуатируемых конструкций.

Спектр применения УЗ диагностики широк, но отнюдь не окончателен. Так в данное время всё еще не развито ее использование при определении коррозионной стойкости бетона, что является вовсе не последней величиной для успешной и продолжительной эксплуатации бетонных конструкций. Потребность в этом есть, т.к. существующие методы применимы в основном в лабораторных условиях и предполагают большой объем работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркулов, С. И. Уточнение зависимости «плотность-прочность» тяжелого бетона на основе математической модели / С. И. Меркулов, С. М. Есипов, Д. В. Есипова // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения : Материалы Международных академических чтений, Курск, 18 ноября 2020 года / Под редакцией С.И. Меркулова. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2020. – С. 186-190.

2. Рахимбаев, Ш. М. Влияние мелкого заполнителя из песка на эффективность действия добавок-разжижителей / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Тольпина, Е. Н. Хахалева // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 3(49). – С. 74-79.

3. Штенгель, В. Г. Ультразвуковой контроль структуры бетона / В. Г. Штенгель // В мире неразрушающего контроля. – 2004. - №1. – С. 4..

4. Зубков, В. А. Совершенствование ультразвукового метода определения прочности бетона / В.А. Зубков // Бетон и железобетон. – 1997. – № 4. – С. 21-23.

УДК 691.322

Данилов Д.Ю.

*Научный руководитель: Толыпина Н.М., д-р. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ БЕТОНА

Строительство, как постоянно развивающееся направление деятельности всегда требует совершенствования, а также сопряжено с идеей коммерческой выгоды, поэтому поиск новых технологических решений и способов снизить расходную ведомость при отсутствии снижения качества конечных продуктов остается актуальным. Такой подход необходим по отношению к бетону, как наиболее потребляемому и чувствительному к изменениям материалу.

Распространенным способом придать бетону новые свойства или изменить какой-либо из его показателей является использование в его составе минеральных добавок. Это особый тип составляющих бетона, т.к. их нельзя отнести ни к заполнителям из-за мелких размеров зерен (0,16 мм и меньше), ни к химическим добавкам, которые, в отличие от минеральных добавок, растворяются в воде. Минеральные добавки представлены широким спектром разновидностей, каждая из которых обладает определенным набором потенциальных свойств.

Нередко в качестве минеральных добавок используют кварцевую муку, являющуюся продуктом помола песка с высоким содержанием кремнезема. Дозировки его могут быть разными и составлять от 10 до 30 % от массы вяжущего, однако в некоторых случаях применяют и дозировки выше. Одним из эффектов применения кварцевой муки в качестве минеральной добавки является увеличение прочности бетона как на сжатие, так и на изгиб, о чем свидетельствуют исследования [1] и [2]. Другой целью использования кварцевой муки может быть получение жаростойких бетонов. В [3] с добавлением молотого кварцевого песка удалось достичь марок И8 и И16 класса по предельно допустимой температуре применения. Помимо перечисленного, целесообразно использовать кварцевую муку при производстве самоуплотняющихся бетонов. При условии правильного подбора гранулометрического состава микрозаполнителя можно получить бетон различных классов по удобоукладываемости и устойчивости к расслаиваемости. В работе [4] показано, что использование кварцевой муки позволяет создать дополнительный «каркас устойчивости» в

структуре бетонной смеси, что помогает снизить ее расслаиваемость. Также благодаря применению кварцевой муки в составе бетона увеличивается его стойкость к проникновению сульфатов, что было отмечено в [5].

Довольно частым явлением стало использование в составе бетонов такой минеральной добавки как зола-уноса, которая является продуктом отходов энергетической промышленности, что само по себе уже можно назвать одним из достоинств этой минеральной добавки. Но помимо того, что с помощью включения золы в состав бетонной смеси удешевляется строительное производство и образуется один из путей утилизации золы как отхода, зола демонстрирует и некоторые другие эффекты от применения. Например, применение золы, как и любых других мелкодисперсных добавок, за счет получения бетонной смесию необходимого количества цементно-водно-минеральной суспензии обеспечивает ее заданную удобоукладываемость, что, в свою очередь, уплотняет структуру бетона. В исследованиях [6] и [7] отмечено увеличение у бетона с золой прочности на сжатие, но с некоторым ограничением – золы должно быть не более 20 % от объема вяжущего, в противном случае прочность на сжатие будет ниже. В целом использование золы-уноса требует тщательного предварительного исследования, так как она имеет разновидности (кремниевая, кальциевая и пр.), которые по-разному влияют на бетонную смесь и затвердевший бетон [8].

Не менее распространенной минеральной добавкой является тонкомолотый известняк, который обладает высокой степенью совместимости с вяжущим и другими компонентами бетонной смеси. В [9] у образцов, в составе которых имелся известняк, было отмечено существенное увеличение прочности (по сравнению с аналогичными образцами без минеральных добавок) как на седьмые, так и на двадцать восьмые сутки твердения. Но здесь важно учесть еще и дозировку, так как при большой доле добавки, так же, как и в случае с золой, наблюдается снижение прочности бетона [10]. Есть сведения, что при использовании известняка благодаря увеличению времени твердения и химическому взаимодействию с алитом и трехкальциевым алюминатом наблюдается увеличение сульфатостойкости у бетонов [11]. Помимо перечисленных и иных типичных для мелкодисперсных добавок свойств известняк еще обладает способностью осветлять бетон, что широко используется в производстве отделочных материалов.

Таким образом, в настоящее время существует большое количество разновидностей минеральных добавок, которые классифицируются по происхождению, тонкости помола, химическому

составу и т.д. Мы перечислили лишь часть, среди которых можно выделить некоторые общие черты:

- минеральные добавки позволяют экономить на строительных материалах за счет уменьшения использования доли вяжущего;
- добавки уплотняют структуру бетона и уменьшают его пористость;
- при умеренной дозировке наблюдается увеличение прочности образцов, при чрезмерной – снижение;
- все перечисленные добавки обоснованно использовать в самоуплотняющихся смесях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александрова, О.В. Влияние кварцевого порошка и минеральных добавок на свойства высокопрочных бетонов / О. В. Александрова, Д. В. К. Нгуен, Б. И. Булгаков, В. Б. Петропавловская // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2020. – № 3. – С. 7-15.

2. Баженов, Ю.М. Высокопрочный бетон из материалов Вьетнама / Ю. М. Баженов, О. В. Александрова, Д. В. К. Нгуен [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 3. – С. 32-38.

3. Жугинисов, М.Т. Жаростойкий бетон с применением кварцевого песка / М. Т. Жугинисов, Е. К. Кушеков // Материаловедение. – 2017. – № 3(23). – С. 14-18.

4. Пустовгар, А.П. Влияние кварцевой муки на технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей / А. П. Пустовгар, И. С. Иванова, А. А. Еленова [и др.] // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13, № 6(117). – С. 717-728.

5. Рахимбаев, Ш.М. Сравнительная стойкость бетона с заполнителями и наполнителями разного состава / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Тольпина, Д. А. Тольпин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 10(718). – С. 13-21.

6. Хунг, Н.С. Влияние содержания золы-уноса на прочность бетонов на основе сульфатостойкого портландцемента / Н. С. Хунг, Т. В. Лам, Б. И. Булгаков [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 1. – С. 51-58.

7. Строителева, Е. А. Влияние наполнителя из золы-уноса ТЭС Дальнего Востока на свойства мелкозернистого бетона / Е. А. Строителева // Проектирование развития региональной сети железных дорог. – 2013. – № 1. – С. 75-80.

8. Гергичны, З. Применение золы-уноса в составе цемента и бетона / З. Гергичны // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование: Материалы V международной конференции, Москва, 24–25 апреля 2014 года. – 2014. – С. 76-80.

9. Тольпина, Н.М. Влияние микронаполнителей на эффективность суперпластификаторов и прочность бетонов с низким содержанием цемента / Н. М. Тольпина, Е. Н. Хахалева, Д. Ю. Данилов, Д. Ю. Чашин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 8. – С. 8-15.

10. Крамар, Л. Я. Влияние известняка в цементе на структуру и модуль упругости тяжёлого бетона / Л. Я. Крамар, М. В. Мордовцева, К. В. Шуддяков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 40-49.

11. Куляев, П. В. Тонкомолотый известняк в производстве эффективных бетонов / П. В. Куляев, Р. В. Соколов // Научные технологии и инновации: Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 29 апреля 2019 года. Том Часть 4. – 2019. – С. 259-262.

УДК 666.9:666.127

Денисова А.П., Яремчук М.В.

Научный руководитель: Воронцов В.М., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

НАНОДИСПЕРСНЫЙ ПОРОШОК ЗОЛЯ КРЕМНЕЗЕМА - ПУЦЦОЛАНОВАЯ ДОБАВКА К СТЕКЛОЩЕЛОЧНОМУ ВЯЖУЩЕМУ

Бесцементное стеклощелочное вяжущее, состав которого был ранее разработан и запатентован [1, 2] нуждается, по мнению разработчиков, в повышении водостойкости. С этой целью был исследован нанодispersный порошок (НДП) золя кремнезема, выделенный из гидротермальных источников скважин Мутновского месторождения (Камчатская область).

Данные химического анализа показали высокое содержание в исследуемой пробе диоксида кремния – 95,0–99,0 масс. %. Сами образцы кремнезема имеют аморфную структуру, что подтверждается

наличием на рентгенограммах гало аморфной фазы с максимумом в районе 0,38–0,40 нм (рис. 1).

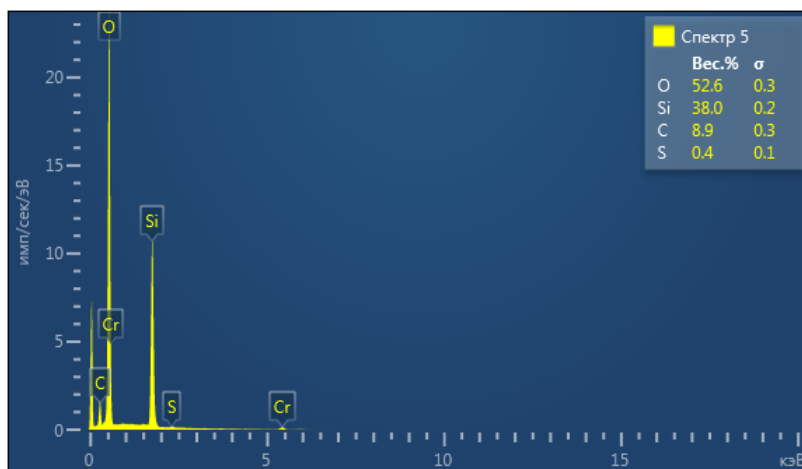


Рис. 1. Результаты химического анализа нанодисперсного порошка

Порошок, который вводили как нанодобавку в цементные образцы, имел удельную поверхность равную 156000 м²/кг (определения были проведены путем низкотемпературной адсорбции азота на порометре ASAP-2010 N Micromeritics), средний диаметр частиц 7,3 нм, плотность 35 кг/м³ (рис.2) [3].

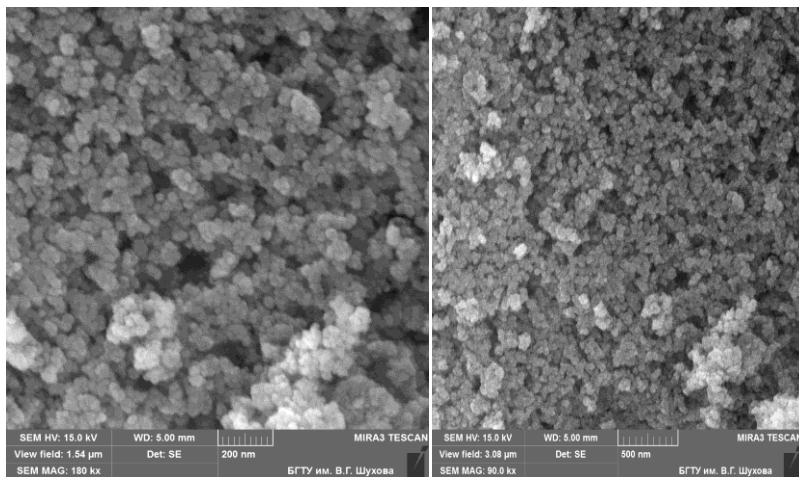


Рис. 2. Общий вид НДП, полученного путем выделения из гидротермальных вод

Вязущее готовилось совместным помолом твердых компонентов (стеклобоя и НДП) в присутствии водного раствора едкого натра с растворенным в нем суперпластификатором Melflux 2651 F. Все компоненты загружались в фарфоровую шаровую мельницу, где осуществлялся их совместный помол. В процессе помола образуется вязкая клеящая масса, обладающая высокой тиксотропностью при ударных и вибрационных воздействиях. Гиперпластификатор оказывает разжижающий эффект на связующую массу, снижает количество воды затворения и одновременно повышает концентрацию щелочи в растворе. Масса в процессе помола насыщается аморфным кремнеземом, молекулы которого, вступая в реакцию поликонденсации, образуют полимерные цепочки золя поликремниевых кислот, которые в процессе тепловой обработки преобразуются в кремнегели и отвердевают.

Вязущая масса после помола переносилась в металлические формы с кубическими ячейками размером $3 \times 3 \times 3$ см и уплотнялась на встряхивающем столике. Число ударов при формовании было постоянным и для каждого состава составляло 200 ударов. Отформованные образцы выдерживались в формах до приобретения распалубочной прочности (15–16 ч) и после распалубки подвергались тепловой обработке (сушке) в сушильном шкафу при температуре, не превышающей 90°C . Отвердевшие образцы подвергались обмерам, взвешиванию и испытанию на прочность. Часть образцов испытывалась

на прочность после водонасыщения в течение 15–16 часов. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Состав и свойства образцов стеклощелочного вяжущего

№ п/п	Массы компонентов, г			В/Т	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		K _{разм.}
	СБ	NaOH	НДП			сухих	водонас.	
1	500	15	-	0,20	1835	15,83	14,09	0,89
2	500	15	15	0,19	1881	17,52	17,92	1,02
3	500	18	20	0,19	1826	13,21	16,29	1,23
4	500	15	15	0,18	1838	15,90	18,51	1,16
5	500	16	20	0,17	1850	14,14	15,01	1,06

Как показали результаты, добавка нанодисперсного порошка кремнезоля в количестве от 3 до 4 % от массы стеклобоя (обозначен в таблице СБ), способствует увеличению коэффициента размягчения (K_{разм.}). Он становится выше 1, превышая аналогичное значение для контрольных образцов (серия 1). Таким образом, можно утверждать, что нанодисперсный порошок аморфного кремнезема, осажденный из гидротермальных источников (гейзеров) Камчатки играет роль пуццолановой добавки, повышая водостойкость бесцементного стеклощелочного вяжущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 2778880. Стеклощелочное вяжущее: заявка № 2021134166 / Воронцов В.М., Бессмертный В.С., Баранова А.С. и др. Дата гос. регистр. 30.08.2022.
2. Патент РФ № 2786468. Способ получения стеклощелочного вяжущего: заявка № 2022116572 / Воронцов В.М., Бессмертный В.С., Баранова А.С. и др. Дата гос. регистр. 21.12.2022.
2. Казлитина, О.В. Фибробетон для монолитного строительства : дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Казлитина Ольга Викторовна. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – 172 с.

*Дикарев А.Н., Богданова А.А., Ряпухин А.Н.
Научный руководитель: Казлитина О.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бетон, как материал для изготовления железобетонных конструкций должен обладать особыми физико-механическими свойствами: необходимой прочностью, хорошей адгезией к арматурным элементам, достаточной непроницаемостью для устойчивости арматуры от коррозии. В зависимости от назначения конструкции, а так же от условий ее эксплуатации, бетон для изготовления конструкции должен отвечать следующим требованиям: устойчивость к замораживанию и оттаиванию, коррозии, возможному воздействию агрессивной среды.

Бетоны разделяют по ряду признаков: а) по структуре бетоны бывают *плотной* структуры, где пространство между заполнителями плотно занято частицами вяжущего; *крупнопористые*, имеющие искусственную пористость затвердевшего вяжущего; *ячеистые* с искусственно созданными закрытыми порами; б) по средней плотности разделяют на *особо тяжелые* - более 2500 кг/м^3 , *тяжелые* - от $2200\text{-}2500 \text{ кг/м}^3$, *облегченные* - от $1800\text{-}2200 \text{ кг/м}^3$, *легкие* - $500\text{-}1800 \text{ кг/м}^3$; в) по виду заполнителей бетоны бывают на плотных заполнителях, пористых и специальных, которые могут удовлетворять требованиям биологической защиты и др.; г) по зерновому составу *крупнозернистые*, с применением крупных совместно с мелкими заполнителями; *мелкозернистые* на мелких заполнителях без применения крупных заполнителей; д) по условиям твердения - *бетон естественного твердения*, и бетоны, подверженные *тепловлажностной* либо *автоклавной обработке*.

В качестве плотных заполнителей для изготовления тяжелых бетонов применяют щебень дробленых горных пород и природный кварцевый песок. В качестве пористых заполнителей выступают природные материалы такие как, перлит, пемза, ракушечник и др., в качестве искусственных материалов может быть керамзит, шлак и др.

Для получения бетона заданной прочностью необходимо выполнить подбор его состава, с обеспечением удобоукладываемости смеси. На прочность бетона влияет множество факторов, таких как,

зерновой состав, прочность, пылевидность и форма зерен заполнителей, проектная марка и количество вяжущего. Известно, что при шероховатости зерен заполнителей повышается сцепление его с цементным раствором, создавая тем самым, большую прочность конгломерата.

В настоящее время современные технологии позволяют создавать бетоны, удовлетворяющие сразу нескольким требованиям. Перечислим несколько популярных новых видов бетонов для железобетонных конструкций:

- *самоуплотняющийся*, который всё чаще применяется при проведении сложных работ с ограниченными сроками выполнения. Особенностью таких бетонов является применение вибрирующих технологий, уплотняющие смесь, предотвращая образование пор в конструкции, делая структуру бетона более качественной;

- *полимерцементный бетон*, используется в качестве пропитки железобетонных изделий, работает как наполнитель. Связующими компонентами таких бетонов являются вяжущее, полимеры и заполнители;

- *жаростойкие бетоны* получили свое применение в изготовлении различных каминных и печных конструкциях, благодаря способности выдерживания длительных воздействий высоких температур;

- *фибробетоны* область применения которых определяется их технико-экономической эффективностью, которое обуславливается в том числе и с возможностью снижения расхода арматуры в конструкция.

При получении фибробетонов важное значение имеют не только правильный выбор и рациональное сочетание исходных материалов, но и технология их изготовления [1-3].

На сегодняшний день во многих лидирующих странах в области производства железобетонных конструкций в плотную занимаются исследованиями по разработке составов для несущих конструкций из сверхпрочных фибробетонов.

Процедуры проектирования таких конструкций останутся прежними – как для бетона, армированного обычной или напрягаемой арматурой. Необходимо только вести корректный учет распределенного армирования. Однако, нужно будет учитывать особенности прочностных и деформативных характеристик, а также технологические нюансы изготовления конструкций из фибробетонов. Материалы категории изготовления фибробетонов обладают высокими прочностными характеристиками на сжатие (от В130 до В200) и растяжение (так называемая остаточная прочность – более 6 МПа –

здесь и далее под остаточной прочностью подразумевается значение сопротивления растяжению, которое может быть использовано в расчетах на прочность).

В дополнение к параметру прочности на растяжение существует дополнительный критерий отнесения фибробетона к классу сверхпрочных, согласно которому требуется подтвержденное достаточно нехрупкое поведение материала при растяжении после образования трещин, в том числе и большого раскрытия – до 0,3 мм (критерий достаточной дуктильности материала). Отсутствие проявлений хрупкости в работе на растяжение позволяет принимать в прочностных расчетах достаточно большие значения сопротивлений материала растяжению. При проектировании это делает баланс расчетных проверок прочности и трещиностойкости сходным с тем, который характерен для железобетона, то есть при обычном стержневом армировании. Характерной особенностью фибробетона является также повышенная долговечность за счет его очень плотной структуры (при этом объемный вес от бетона отличается незначительно) [4].

В материале отсутствуют поры и каналы для проникновения влаги и агрессивных агентов из окружающей среды, что обеспечивает высокую водонепроницаемость и значительную по сравнению со стандартными бетонами морозостойкость, более существенную стойкость к хлоридам и карбонизации, а также к истиранию.

Конструкции и сборные элементы из фибробетона проектируются с целью минимизации размеров сечений и, соответственно, собственного веса, создания рациональных систем армирования. В ряде случаев решается задача повышения эстетических достоинств сооружений, связанных с лаконизмом и изяществом форм, например, за счет получения более гладких, перфорированных или барельефных (тисненых) поверхностей, а также создания разнообразных цветовых долговечных решений. Все это имеет особенно важное значение для конструкций, к которым предъявляются и повышенные требования, как с точки зрения надежности и долговечности, так и эстетики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казлитина, О.В. Исследование применяемых композиционных вяжущих для фибробетонов / О.В. Казлитина, Д.М. Сопин, А.А. Богданова //В сборнике: Научно-технические инновации и инновации (XXV научные чтения). Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород. — 2023. — С. 273-276.

2. Казлитина, О.В. Исследование влияния наномодификаторов на структурообразование фибробетона / О.В. Казлитина, Е.С. Глаголев, Д.М. Сопин, Д.А. Медведев // В сборнике: Фундаментальные основы строительного материаловедения. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса. — 2017. — С. 1016-1022.

3. Чернильник, А.А. Влияние вида применяемых фибровых волокон на прочность и деформативность дисперсно-армированных облегчённых бетонов / А.А. Чернильник А.А., В.Ю. Смачный, Д.М. Ельшаева, Ю.В. Жеребцов, Н.А. Доценко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2022. — № 2. — С. 20-29.

4. Лесовик, Р.В. Опыт использования высокопрочного мелкозернистого бетона в строительстве / Р.В. Лесовик, Д.М. Сопин, Г.А. Лесовик, О.В. Казлитина, М.А. Селюков // В сборнике: Фундаментальные основы строительного материаловедения. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса. — 2017. — С. 326-332.

УДК 691.327

Дудченко В.А.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

Легкий бетон не является чем-то новым в разрезе технологии производства бетона. На протяжении мировой истории легкие бетоны активно использовались в строительстве зданий и сооружений. Первые упоминания использования материала известны уже начиная со времен ранней Римской империи. Одним из самых известных примеров является Пантеон в Риме. Это здание, построенное примерно в 128 году нашей эры, поразило инженеров своей долговечностью и прочностью. Его применение распространилось и на другие отрасли промышленности, но после падения Римской империи его производство стало ограниченным из-за нехватки вулканических материалов.

В 19-м и 20-м веках разработка синтетических наполнителей привела к революции в материаловедении, проложив путь к широкому использованию легкого бетона. Эта новая технология доказала свою эффективность в судостроении, где она позволила создавать более легкие конструкции.

Первый крупный промышленный завод по производству легкого бетона был создан в Канзасе, США, в 1920 году, что

продемонстрировало потенциал этого материала. Создания первого завода, развитие использования легкого бетона продолжало свое активное развитие, улучшая как качество, так и дизайн. Благодаря своим преимуществам нашлось применение в судостроении, а также других отраслях промышленности. В 1920-х годах было построено несколько мостов с применением пенополистирола в качестве легкого наполнителя для бетона. К 1970-м годам в Соединенных Штатах и Канаде было возведено более 200 легких бетонных мостов.

В середине XX века появление легкого бетона привело к революции в архитектурном проектировании, способствуя возведению небоскребов, таких как башни Сент-Реджис и Мария в Чикаго. Этот вид бетона, который изначально применялся в основном для реконструкций, стал востребованным лишь в отдельных архитектурных задачах.

В Германии развитие легких бетонов началось с нефтяного кризиса 1973 г., когда правительство решило снизить потребность в иностранных источниках энергии. Данное решение привело к обострению проблемы энергоэффективности зданий.

Поэтому в 1990 году для решения этой проблемы были введены технические регламенты для бетонного строительства. Однако, учитывая растущий спрос на теплоизоляцию, было признано, что легких монолитных бетонных стен недостаточно, и возникла необходимость в использовании более толстых стен. Благодаря последним технологическим достижениям и совместным усилиям использование легкого бетона значительно расширилось. Хотя количество проектов с использованием этого материала все еще относительно невелико, наша команда усердно работает над снижением плотности при сохранении прочности.

Монолитные конструкции из легкого бетона с низкой прочностью и плотностью становятся все более популярными в Европе. Эти конструкции позволяют возводить стены за одну операцию, устраняя необходимость в многослойности, и являются предпочтительными из-за их потенциала для создания уникального архитектурного дизайна. Это обусловлено гибкостью и универсальностью материалов, используемых при их изготовлении, а также их специфическими физическими характеристиками, включая низкую плотность, высокую огнестойкость и долговечность.

Первые эксперименты с легкими бетонами в СССР были проведены Ф.Ф. Собеским в период с 1902 по 1906 год. В этот период он сосредоточился на разработке метода производства пористого керамического кирпича. В 1906 году Собески выставил первую партию

этих кирпичей на сельскохозяйственной выставке в Ташкенте, продемонстрировав их потенциальное применение в строительстве.

Он продолжал работать над этой технологией до 1922 года. Когда развитие производства пористых заполнителей в СССР было приостановлено из-за начала войны.

В конце 1940-х годов производство керамзита, шлаковой пемзы и вспученного перлита возобновилось в Москве, Киеве, Волгограде, Челябинске и других городах. Кроме того, в различных регионах были созданы опытные промышленные предприятия по производству других видов пористых заполнителей, таких как агломерат, глинозем-керамзит, зольный гравий, гранулированное пеностекло, шлак, термолит и шунгизит.

В конце 1980-х годов в Лузино Омской области началось производство гранулированного пеностекла, а в Залесье, Украина, - шлакобетона. В Тольятти, Россия, также был открыт завод по производству шлакобетона.

История использования легкого бетона имеет богатую историю не только в России но и во всём мире, и за годы активного применения показал не только свою универсальность, но и открыл границы для развития строительной отрасли. В настоящее время ведутся активные исследования и разработки в сфере использования наполнителей для лёгких бетонов, что доказывает развитие легких бетонов и по сей день.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Седла, Т. Н. Перспективы применения легких бетонов / Т. Н. Седляр, П. В. Кривицкий // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 105-112. – DOI 10.52275/2223-5396-2023-13-1-105-113.

2. Ярмаковский, В. Н. Физико-химические основы создания особо легких бетонов новых модификаций с высокими показателями теплотехнического качества / В. Н. Ярмаковский, Д. З. Кадиев // Строительные материалы. – 2022. – № 6. – С. 15-19. – DOI 10.31659/0585-430X-2022-803-6-15-19.

3. Зайченко, Е. М. Конструкционные легкие бетоны с высоким коэффициентом конструктивного качества / Е. М. Зайченко, В. Г. Вешневская, С. В. Лахтарина // Строительство и Архитектура - 2015 : материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26–27 ноября 2015 года / ФГБОУ ВПО "Ростовский государственный строительный университет", Союз строителей южного

федерального округа, Ассоциация строителей Дона. Том 2. – Ростов-на-Дону: Редакционно-издательский центр РГСУ, 2015. – С. 486-489.

4. Звездов, А. И. Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре / А. И. Звездов, В. Р. Фаликман // Жилищное строительство. – 2008. – № 7. – С. 2-6.

5. Разработка методологии проектирования мелкозернистых фибро-текстиль бетонов на техногенных песках белгородской области / Р. В. Лесовик, М. С. Агеева, С. В. Клюев [и др.] // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 09–10 апреля 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.В. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 227-241.

УКД 691.54

Иванюк Д.М., Ващева С.В.

***Научный руководитель: Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАЗРУШЕННЫХ ГОРОДОВ

В настоящий переломный момент времени, в развитии многих стран и любой отрасли науки, перед учеными стоит задача о сохранении ресурсов и планирование новых подходов в развитии становлении строительной индустрии с дальнейшим их внедрением.

Для решения вышестоящих задач были продуманы методы использования отходов от разрушенных зданий и сооружений в строительстве. В городах потерпевших большие разрушения инфраструктуры в ходе военных действий требуется быстрое восстановление и возведение жилых и не жилых зданий. Так же требуется инновационный подход в утилизации и использовании строительных отходов (бой кирпича, бетон и железобетон, стекло и др.). Кроме того, результаты многочисленных испытаний показали, что добавление минеральных добавок, в качестве которых выступают отходы от разрушенных зданий и сооружений позволяет снизить клинкерную составляющую в производстве вяжущих [1].

Эти инновационные подходы воплощены в представленной статье в виде использования в качестве альтернативы пенобетона на основе цемента, пенобетон разработанный на основе композиционного гипсового вяжущего с составом: гипс, цемент, тонкомолотые отходы бетонного лома. Гипс можно считать одним из наиболее экологичных связующих по нескольким причинам. Во-первых, энергия, необходимая для его производства путем прокаливании, значительно ниже энергии, необходимой для производства извести или цемента. В то время как известь обжигается при температуре около 1000°C, а цемент - при температуре более 1400°C, температура при обжиге гипса не превышает 200°C и обычно она даже ниже (130-160°C), поэтому использование гипса является благоприятным.

Обычно предполагается, что роль заполнителей в гипсе аналогична их роли в материалах на основе цемента; однако химический состав гипса и его поведение существенно отличаются от цемента. Поэтому представляется целесообразным провести более детальное изучение влияния легких заполнителей на микроструктуру и соответствующие свойства гипсовых строительных растворов [2]. На дробильно-сортировочных установках производится подготовка мелкого и крупного заполнителя, который проверяют на сродство структур и взаимодействие всех компонентов строительного материала в дальнейшем. Композиционное вяжущее получали путем совместного помола портландцемента и гипса с минеральной добавкой бетонного лома с удельной поверхностью 490...520 м²/кг. Совместная механохимическая активация минеральных добавок, портландцемента и гипсовых вяжущих помогает получить более высокие значения физико-механических параметров в начальный и последующие периоды твердения гипсоцементного композита. Это происходит за счет образования стабильных водонерастворимых гидратных новообразований, формирующих структуру нового типа. Исследования установили, что за счет создания непрерывных химических связей между компонентами затвердевшего композита, минеральная добавка бетонного лома позволяет получать более плотную микроструктуру затвердевшего изделия [3].

Существование в твердеющей системе гетерозернистых добавок в композитах различного минерального состава приводит к формированию плотной и прочной системы, показанной на (Рис. 1) за счет синтеза новообразований кристаллов гидросиликатов кальция, которые равномерно заполняют имеющиеся поры в затвердевшем пенобетонном композите. Характеристика и свойства новообразований объясняется добавкой бетонного лома в составе КГВ.

В результате наступления 28 суточного возраста частицы гидросиликатов, гидроалюмосиликатов, гидроалюмоферритов кальция объединяются в непрерывную структуру, а прочность композита возрастает. Данный эксперимент показал нам возможность и продуктивность использования бетонного лома в качестве дополнительного компонента системы композиционного гипсового вяжущего.

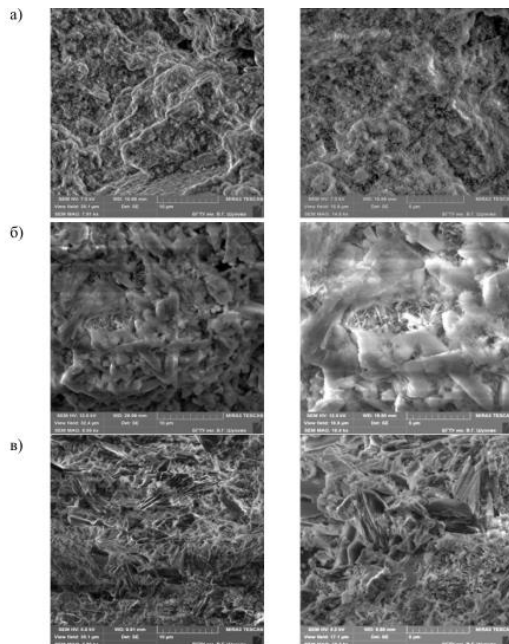


Рис. 1 Микроструктура затвердевшего КГВ: а) через 2 часа; б) через 7 сут.; в) через 28 сут.

Далее был проведен ряд опытов по влиянию на прочность состава композиционного гипсового вяжущего в разное время твердения, результаты которых представлены ниже в таблице.

Таблица – Физико-механические свойства КГВ с добавлением бетонного лома

Вид вяжущего	В/В	Сроки схватывания, мин		Прочность на сжатие, МПа		
		Начало	Конец	2 ч.	7 сут.	28 сут.
КГВ (БЛ)	0,42	10	11	5,8	12,6	15,7

Рассматривая сроки схватывания вяжущих композиций в сравнении с портландцементом, необходимо отметить, что с увеличением количества минерального наполнителя происходит увеличение как начала, так и конца схватывания. По результатам проведения рентгенофазового анализа фракций бетонного лома выявили в образце наличие негидратируемых частиц алита (C3S) и белита (C2S) и частично закристаллизованным гидросиликатом кальция CSH(B) и портландитом Ca(OH)₂ (рис. 2).

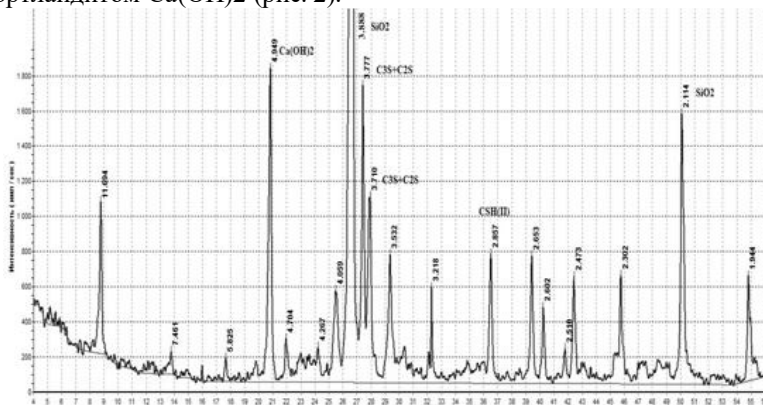


Рис. 2 Рентгенограмма пробы тонкомолотого бетонного лома

Вышесказанное свидетельствует о том, что данный вид минеральной добавки обладает остаточными вяжущими свойствами. Рентгенограмма также показала наличие в пробе двухосновных гидросиликатов кальция, с доминирующими размерами зёрен диаметром: 38,78, 10,75 и 1,31 мкм.

При разработке композиционных гипсовых вяжущих необходимо тщательно производить отбор веществ, поверхность которых имела бы избыток отрицательно заряженных сорбционных центров [4]. Наиболее эффективным методом повышения водо- и атмосферостойкости композиционного гипсового вяжущего и изделий на его основе является использование портландцемента и активных минеральных добавок.

Включение отходов бетонного лома в композиционное гипсовое вяжущее создает синергию между материалами, поскольку полученные композиты обладают аналогичными или улучшенными свойствами по сравнению с традиционными гипсовыми материалами без добавок.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что актуальной задачей является повышение эффективности гипсового композита с

использованием портландцемента, а также отходов от разрушенных зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик, В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении // Белгород, (2-е издание, дополненное). – 2016.

2. Иванюк, Д.М. Композиты нового поколения для аддитивных технологий / Д.М. Иванюк, В.В. Воронов, Р.С. Федюк // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Военно-инженерное дело на дальнем востоке России. – 2022. – С. 279-283.

3. Lesovik, V.S. Performance investigation of demolition wastes-based concrete composites. / V.S. Lesovik, A.A. Ahmed, R.S. Fediuk, B. Kozlenko, Y.H. Mugahed Amran, A.Kh. Alaskhanov, M.A. Asaad, Murali G., V.A. Uvarov // Magazine of Civil Engineering. –2021. – 106(6). – Article No.106108.

4. Lesovik, V.S. Durability behaviors of foam concrete made of binder composites. / V.S. Lesovik, E.S. Glagolev, V.V. Voronov, L.Kh. Zagorodnyuk, R.S. Fediuk, A.V. Baranov, A.Kh. Alaskhanov, A.P. Svintsov // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – 100(8). –10003.

УДК 691.3

Иванюк Д.М., Милькин А.С., Ваиева С.В.

Научный руководитель: Сальникова А.С., канд. техн. наук, ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Современная строительная сфера стремительно развивается, ежегодно внедряются новые технологии и выпускаются модернизированные строительные материалы. Среди них особое место занимают бетонные конструкции, отличающиеся высокой прочностью, долговечностью и универсальностью применения. Однако, как и любой материал, он имеет свои слабые стороны. Бетон содержит дефекты и микротрещины как в самом материале, так и на стыках еще до приложения внешней нагрузки. Эти дефекты и микротрещины возникают из-за избытка воды, просачивания, пластической деформации, термических и усадочных деформаций и концентрации

напряжений, вызванных внешними ограничениями. Под действием приложенной нагрузки распределенные микротрещины распространяются, сливаются и выравниваются, образуя макротрещины. При дальнейшем увеличении нагрузки на концах макротрещин возникают условия критического роста трещин, что приводит к нестабильному и катастрофическому разрушению [1-5].

Процессы микро- и макроразрушения, описанные выше, могут быть выгодно изменены путем добавления коротких, хаотично расположенных волокон из различных подходящих материалов. Волокна не только подавляют образование трещин, но и замедляют их распространение и рост. Данные волокна могут быть получены из различного материала [6, 7]:

– *Стальные волокна*, изготовлены из стали и обладают высокой прочностью и жесткостью (Рис. 1а).

– *Полипропиленовые волокна*, изготовлены из полипропилена и обладают хорошей химической стойкостью и прочностью на растяжение (Рис. 1г).

– *Стекловолоконные волокна*, изготовлены из стекловолокна и обеспечивают высокую прочность на растяжение и жесткость (Рис. 1б).

– *Базальтовые волокна*, изготовлены из базальта и обладают высокой прочностью, химической стойкостью и огнестойкостью (Рис. 1в).

– *Карбоновые волокна*, изготовлены из углеродного волокна (Рис. 1е) и обладают чрезвычайно высокой прочностью и жесткостью.

Представленные фиброволокна имеют разные размеры, форму, и их выбор зависит от требуемых свойств конструкции и условий ее эксплуатации.

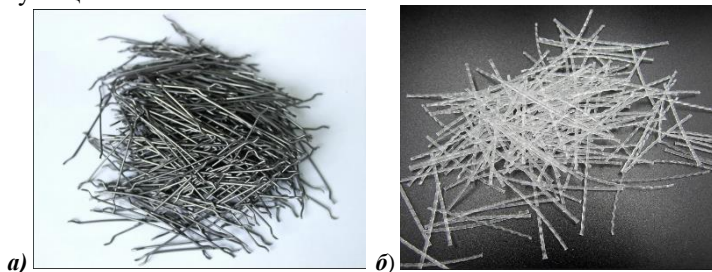




Рис. 1 Виды фибры: а) стальная; б) стеклянная; в) базальтовая; г) синтетическая полипропиленовая; д) акриловая; е) углеродная

С каждым годом появляются новые виды или варианты армирующих волокон, но лидерами среди них все так же остаются метарическая фибра, стеклянное и базальтовое волокно, стоит отметить, что наибольшая длина волокон в основном имеет стальная фибра, а наибольшую стойкость к коррозии имеют базальтовая фибра и полипропиленовая (Табл. 1) [8-10].

Таблица 1 – Основные характеристики различных видов волокон

Характеристика	Вид фибры			
	Стальная	Стеклянная	Полипропиленовая	Базальтовая
Длина фиброволокна, мм	30-50	4,5-18	6-18	3,2-15,7
Диаметр	0,25-1,2 мм	13-15 мкм	10-25 мкм	13-17 мкм
Температура плавления, С°	1550	860	160	1450
Стойкость к коррозии и щелочам	Низкий	Только для щелочестойкой фибры	Высокий	Высокий

Кроме основных показателей волокон, при проектировании

фибробетона, необходимо учитывать и их физико-механические свойства (Табл. 2) [11], а так же необходимо подобрать правильное количество волокон в его составе.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики различных видов фиброволокон

№ п/п	Вид фиброволокна	Показатель плотности, г/см ³	Характеристики модуля упругости, МПа	Показатель прочности на растяжение, МПа	Процент удлинения при разрыве, %
1	Стальная фибра	7,80	190000-210000	600-3150	3,0-4,0
2	Стекловолоконная фибра	2,60	7000-8000	1800-3850	1,5-3,5
3	Базальтовая фибра	2.6-2.7	7000-11000	1600-3200	1,4-3,6
4	Синтетическая полипропиленовая фибра	0,9	3500-8000	400-700	10-25
5	Акриловая фибра	1,1	2100-2150	210-420	25-45
6	Полиэтиленовая фибра	0,95	1400-4200	600-720	10-12
7	Нейлоновая фибра	1,1	4200-4500	770-840	16-20
8	Вискозная сверхпрочная	1,2	5600-5800	660-700	14-16
9	Полиэфирная фибра	1,4	8400-8600	730-780	11-13
10	Хлопковая фибра	1,5	4900-5100	420-700	3,0-10
11	Карбоновая фибра	1,63	280000-380000	1200-4000	2,0-2,2
12	Углеродная фибра	2,0	200000-250000	2000-3500	1,0-1,6
13	Асбестовая фибра	2,6	68000-70000	910-3100	0,6-0,7

Применение таких армирующих добавок обладает большим количеством положительных качеств [12, 13]:

– предотвращение образования трещин в бетоне за счет равномерного распределения растягивающих напряжений. Когда бетон начинает разрушаться, короткие фиброволокна ограничивают рост микротрещин и задерживают появление макротрещин. Длинные фиброволокна могут образовывать мосты через трещины, передавая нагрузки на неповрежденные участки бетона.

– увеличение прочности бетона на растяжение и изгиб. Оно ограничивает распространение трещин и помогает бетону выдерживать большие нагрузки перед разрушением.

– повышает ударную вязкость. Фиброволокна поглощают энергию удара, препятствуя разрушению бетона.

– увеличивает прочность бетона на сжатие, особенно при высоких нагрузках. Волокна сдерживают боковые деформации бетона, повышая его несущую способность.

Таким образом, применение различных видов фиброволокон значительно увеличивает физико-механические свойства бетонов, а широкий ассортимент армирующих волокон позволяет применять бетонные изделия в достаточно широких сферах строительной индустрии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоренко А.В. Фибробетоны на композиционных вяжущих // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2016. – С. 387-392.

2. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Яковлев Е.А., Шейченко М.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 1. – С. 30-33.

3. Талантова К.В., Михеев Н.М. Исследование влияния свойств стальных фибр на эксплуатационные характеристики сталефибробетонных 76 конструкций / К.В. Талантова, Н.М. Михеев // – Ползуновский вестник. – 2011. – №1. – С. 194 – 199.

4. Богачева М.А. Фибробетон и его применение в строительной индустрии / М.А. Богачева // VII Международный студенческий строительный форум - 2022: Сборник докладов VII Международного студенческого строительного форума, Белгород, 24 ноября 2022 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 213-220.

5. Соловьёв В. Г. Эффективность применения различных видов

фибры в бетонах / В.Г. Соловьёв, Е.А. Шувалова // Международный научно-исследовательский журнал. — 2017. — № 09 (63) Часть 3. — С. 78 – 81.

6. Перепечко С. А. Фибробетон и его использование в северных регионах России / С.А. Перепечко // – Молодой ученый. – 2017 – №2. – С. 185 – 187.

7. Клюев С.В. Фибробетон и его применение в строительстве / С. В. Клюев, А. В. Клюев, А. В. Шаповалова [и др.] // Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия при изготовлении строительных материалов и изделий: Материалы Международной научно-технической конференции, Саранск, 18–19 ноября 2022 года / Отв. редактор В.Т. Ерофеев [и др.]. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2023. – С. 214-217.

8. Пухаренко Ю.В. Исследование свойств сталефибробетона на основе аморфной металлической фибры / Ю.В. Пухаренко, У.Х. Макдеев, В.И. Морозов и др. // Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура. – 2013 – Вып. 31 (50). – С. 132 – 136.

9. Пухаренко Ю.В. Эффективность применения фибробетона в конструкциях при динамических воздействиях / Ю.В. Пухаренко, В.И. Морозов // Вестник МГСУ. – 2014 №3. – С. 189 – 196.

10. Клюев С.В. Мелкозернистый фибробетон с использованием полипропиленового волокна для покрытия автомобильных дорог / С. В. Клюев, Е. Н. Авилова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 1. – С. 37-40.

11. Морозов В.И. Эффективность применения фибробетона в конструкциях при динамических воздействиях / В.И. Морозов, Ю.В. Пухаренко // – СПб.: СПбГАСУ, 2014. – С. 189 – 196.

12. Klyuev S. V. Fiber concrete for the construction industry / S. V. Klyuev, A. V. Klyuev, N. I. Vatin // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – No. 8(84). – P. 41-47.

13. Шорстова Е. С. Фибробетон для 3D-печати / Е. С. Шорстова, С. В. Клюев, А. В. Клюев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 3. – С. 22-27.

Игнатов А.О., Журавлева Е.С.

*Научный руководитель: Ганигин С.Ю., д-р техн. наук, проф.
Самарский государственный технический университет,
г. Самара, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАВНОВЕСНОГО СОСТАВА РЕАКЦИОННОСПОСОБНОЙ СМЕСИ Ti-C-W

В настоящее время широкое распространение в нефтегазодобывающей промышленности, получили реакционноспособные составы. Такие составы представляют собой механическую смесь двух и более металлических и неметаллических порошковых композиций, которые являются инертными в обычных условиях, но при воздействии на них высокоскоростного удара или нагрева способны к сильной экзотермической реакции, что позволяет сделать процесс добычи наиболее эффективным [1-3].

В результате патентного исследования и анализа рынка перспективными составляющими реакционноспособной смеси являются такие компоненты как: титан, углерод и вольфрам. Благодаря ряду своих физико-химических свойств они обладают достаточно высокой плотностью, термостабильностью и твердостью [4]. В связи с этим целесообразно оценить возможность прохождения реакции композиции Ti-C-W в режиме горения, а также определить, при каком оптимальном содержании моль каждого компонента выделяется наибольшее количество теплоты.

Исследование проводилось с помощью программы «Thermo», которая применяется для расчетов равновесного состава в сложных многоэлементных гетерофазных системах [5]. Расчет производился следующим образом: в компьютерную программу вносились исходные компоненты исследуемой смеси, и для каждого компонента указывалось начальное состояние – жидкая, твердая или газообразная фаза, начальная температура и количество моль. В результате расчета, программа предоставляла данные по предполагаемым продуктам горения, значение адиабатической температуры горения, а также значение теплового эффекта реакции, позволяющего судить об экзотермичности, либо эндотермичности реакции.

Анализ проводился путем увеличения количества моль от одного до пяти с шагом 0,5 моль для одного из трех компонентов смеси.

По числовым данным, полученным в результате термодинамического расчета, построены графики зависимости

адиабатических температур горения и энтальпии продуктов реакции смеси $xTi-xC-xW$ от молярного содержания исходных компонентов (рис. 1-3).

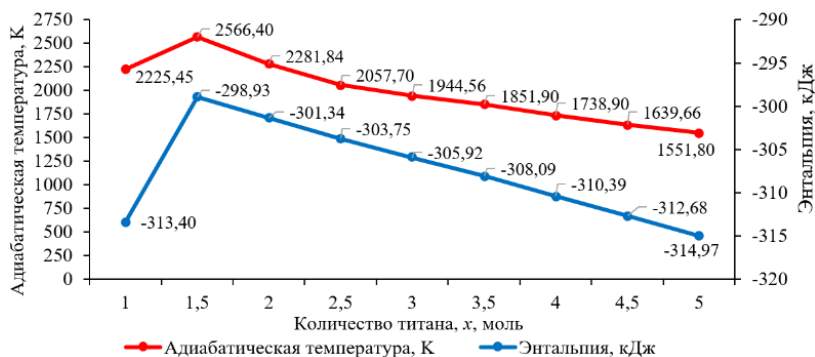


Рис. 1 – Результаты термодинамического анализа состава Ti-C-W при увеличении содержания титана

Из рисунка 1 видно, что увеличение содержания титана в составе Ti-C-W приводит к снижению, как адиабатической температуры горения, так и теплового эффекта реакции. Причем, в интервале от одного до полутора моль, температура увеличивается в 1,15 раз, и далее уменьшается до 1551 К. Тепловой эффект реакции имеет неоднозначный характер и лежит в интервале (-298,929 ... - 314,968) кДж при различном количестве моль титана. Таким образом, оптимальное количество титана в системе $xTi-C-W$ составляет (1-1,5) моль.

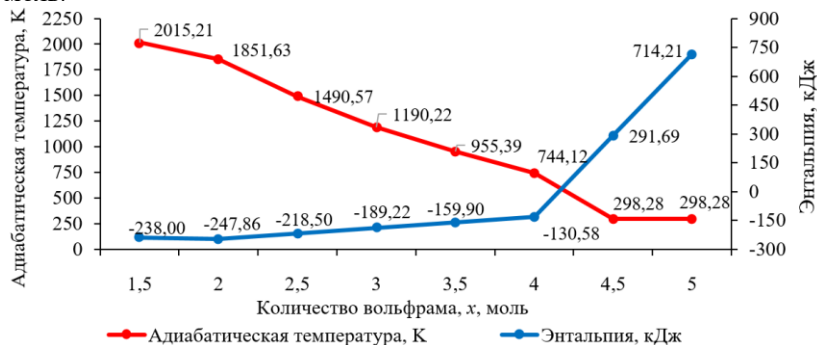


Рис. 2 – Результаты термодинамического анализа состава Ti-C-W при увеличении содержания вольфрама

Из рисунка 2 видно, что увеличение содержания вольфрама в составе приводит к значительному уменьшению адиабатической температуры горения. При увеличении от полутора до пяти моль вольфрама температура уменьшается от 2015 К вплоть до отсутствия протекания реакции горения. Тепловой эффект реакции при количестве в составе вольфрама более четырех моль переходит в эндотермический процесс. Из рисунка видно, что оптимальное количество вольфрама в системе Ti-C-xW составляет (1-2) моль.



Рис. 3 – Результаты термодинамического анализа состава Ti-C-W при увеличении содержания углерода

Из рисунка 3 видно, что увеличение содержание углерода в составе приводит к резкому уменьшению адиабатической температуры горения. При увеличении от двух до пяти моль углерода температура уменьшается от 2225 К вплоть до отсутствия протекания реакции горения. Тепловой эффект реакции при количестве в композиции углерода более двух с половиной моль переходит в эндотермический процесс. Из рисунка видно, что оптимальное количество углерода в системе Ti-xC-W составляет (1,5-2) моль.

Таким образом, в результате проведенного термодинамического анализа реакционноспособной системы, состоящей из титана, вольфрама и углерода установлено:

- анализируемый состав способен самостоятельно вступать в экзотермическую реакцию с температурой продуктов горения (2015 ... 2566) К и может быть использован для увеличения эффективности перфорационных систем, используемых в нефтегазодобывающей промышленности;

- для протекания экзотермической реакции целесообразно использовать следующее соотношение компонентов: количество титана и углерода в смеси не должно превышать двух моль, количество

вольфрама не должно превышать полутора моль. Получено, что эффективная смесь имеет соотношение 1-2-1 соответственно компонентам Ti-C-W.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема №АААА-А12-2110800012-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. I.V Saikov. et al, Reports of the Russian Academy of Sciences. Chemistry, materials science. 2020, 492. No. 1. P. 162-166.
2. N.A. Imkhovik, A.V. Svidinsky, A.S. Smirnov, V.B. Yashin, Combustion and explosion. 2017, Vol. 10. No. 1. pp. 93-101.
3. S. A. Okulov, E. A. Khmelnikov, K.V. Smagin, K.V., T.E. Zavodova, Youth and science. 2021. P. 59-61.
4. Абзалов Н. И. Макрокинетика СВС гранулированных смесей (Ti+C)-Ni. Влияние размера гранул //Москва. – 2023. – Т. 1. – С. 172-173.
5. Мержанов, А.Г. Твердопламенное горение / А.Г. Мержанов, А.С. Мукасян // М.: Торус Пресс. – 2007. – 336 с.

УДК 691.3

Капуста А.С., Рулев Д.А.

*Научный руководитель: Сивальнева М.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ПЕНОБЕТОНАХ

Ячеистый бетон представляет собой вид бетона, характеризующийся ячеистой структурой макропор, равномерно распределенных в объеме матрицы и отделенных друг от друга тонкими и достаточно прочными перегородками [1]. Данный материал выпускается в широком диапазоне плотностей и обладает малым собственным весом, высокой текучестью растворной смеси, минимальным использованием заполнителя, контролируемой прочностью и высокими теплоизоляционными свойствами.

В большинстве случаев в качестве вяжущего в ячеистых бетонах используют портландцемент, который, несмотря на ряд положительных свойств, имеет недостатки. Они в основном вызваны энергоемкостью цементного производства, сопровождаемое значительными выбросами

вредным веществ в атмосферу. Поэтому предлагается снижение доли применения цементного вяжущего в технологиях получения строительных композитов, что возможно реализовать путем замены его части на различные сырьевые компоненты природного и техногенного происхождения [2–4].

В последнее время все чаще в технологии ячеистых бетонов, в частности пенобетона, используют отходы различных производств. Наибольший интерес вызывают золошлаковые отходы топливно-энергетических предприятий, которые скапливаются в виде тонкодисперсного остатка, крупнозернистой части, а также их смеси. Первые представляют собой пылевидные образования размером частиц до 0,3 мм, которые удаляются вместе с дымовыми газами и улавливаются электрофильтрами. Существует сухое золоулавливание, в этом случае отходы называют золы-уноса, и мокрое – тогда это золы гидроудаления. Крупные остатки размером около 1–50 мм представляют кусковой шлак, получаемый в виду слипания размягченных частиц золы.

В России имеются большие накопления данного вида отходов. Ежегодно на теплоэлектростанциях (ТЭС) сжигается более 123 млн т угля. В результате чего в отвалы уходит около 1,5 млрд т в год золошлаков, которые занимают площади более 28000 гектаров [5]. Большие их скопления негативно сказываются на экологической обстановке, так как происходит серьезное загрязнение почвы и водных ресурсов. В связи с этим встает острая проблема, требующая утилизации отходов и снижения объемов их хранилищ. Однако в РФ применение золошлаковых отходов находится на низком уровне и составляет всего лишь 10 % от объема ежегодного накопления.

Имеется опыт применения зольных и золошлаковых отходов в производстве строительных материалов, который основан на их определенной пуццолановой способности и высокой дисперсности, что позволяет использовать в качестве активного компонента в цементных композитах.

Как известно, зола в составе бетона может применяться в виде самостоятельного или заменяющего компонента, позволяющего улучшить ряд характеристик конечного материала (Рис. 1) [6].



Рис. 1 Роль золы в системе бетонных композитов

Рассмотрим более подробно использование зол в пенобетонах, в технологии которых данный компонент в большинстве случаев идет, как замена части вяжущего либо заполнителя.

Частичная замена цемента на золу в пенобетоне не приводит к значительному снижению прочности на сжатие, в отдельных случаях она даже увеличивается. К примеру, разработка композиционного вяжущего с содержанием золы гидроудаления позволяет улучшить ряд свойств пенобетона. Применение данной золы, предварительно измельченной до высокодисперсного состояния, увеличивает прочность на сжатие, снижает проницаемость, а повышение плотности межпоровых перегородок способствует росту морозостойкости ячеистого композита. Выявлено оптимальное содержание высокодисперсного отхода – 10 % [7].

Зола из золошлаковых материалов ТЭЦ может быть использована не только как активная минеральная добавка, которая повышает прочность пенобетона за счет влияния на структурообразующие процессы, формируя прочные межпоровые перегородки, но и наполнителя с микропорами, способствуя росту теплосопротивления стенового материала. Достижение указанных качеств возможно путем подбора оптимальных рецептурно-технологических решений, заключающихся в введении комбинированной добавки, состоящей из золы и суперпластификатора, и одностадийности перемешивания всех компонентов. В результате достигается требуемая пластичность и ускорение структурообразования получаемых изделий, увеличение прочность на сжатие на 26–66 %, снижение водопоглощения по массе на 30 % при незначительном уменьшении теплопроводности [9].

Использование золы в качестве частичной доли основного заполнителя приводит к улучшению удобоукладываемости пенобетонной смеси и прочностных показателей конечного изделия [8]. При этом максимальные значения прочности достигаются при замене 50 % песка на золу с размером части около 100 мкм.

В тоже время отмечается и отрицательное влияние золы на характеристики пенобетона. Так наблюдается увеличение водопоглощения, сорбционной способности, усадки при высыхании материала. Последнее может быть связано с отсутствием частиц песка, сдерживающих усадочное движение.

Поскольку пористая структура материала играет доминирующую роль в регулировании его теплопроводности, использование золосодержащих пенобетонов может привести к более равномерному распределению пустот и, как следствие, к увеличению теплопроводности.

Таким образом, использование золы в технологии пенобетона имеет важное значение. С одной стороны, решаются экологические проблемы за счет утилизации золосодержащих отходов, с другой – снижается доля природных (заполнители), энергоемких, дорогостоящих (вяжущие вещества) компонентов и улучшаются ряд характеристик готового пенобетона. В связи с этим определена потребность в повышении доли использования данного вида отхода в России, а именно в отрасли производства строительных материалов и изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: учебное пособие / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2002. – 701 с.

2. Ярмаковский, В.Н. Композиционные малоклинкерные вяжущие для теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов / В.Н. Ярмаковский, Д.З. Кадиев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4 (382). – С. 66–73.

3. Копаница, Н.О. Вторичные ресурсы в производстве композиционных строительных материалов на основе цемента / Н.О. Копаница, О.В. Демьяненко, А.А. Куликова, Е.В. Ткач, Н.И. Шестаков, И.В. Степина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 10. – С. 49–60.

4. Воронов, В.В. Композиционные вяжущие с применением опоковидного мергеля для производства пенобетона / В.В. Воронов //

Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 1. – С. 21–27.

5. Бартеньева, Е.А. Пенобетон естественного твердения с использованием золы-уноса / Е.А. Бартеньева, А.Е. Куралов // Оригинальные исследования. – 2023. – Т. 13. – № 12. – С. 156–161.

6. Степаненко, М.А. Оценка активности зол-уносов различного состава как минеральных добавок для цементных систем / М.А. Степаненко, И.Ю. Маркова, В.В. Строкова, А.Ю. Марков // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 11 (779). – С. 50–59.

7. Кузнецова, И.Н. Технология производства пенобетона на композиционном вяжущем с золой гидроудаления / И.Н. Кузнецова, М.А. Ращупкина // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 5 (51). – С. 101–106.

8. Ву, К.З. Влияние минеральных добавок, летучей золы, доменного шлака на механические свойства пенобетона / К.З. Ву, С.И. Баженова, В.Л. Танг // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 2 (88). – С. 25–34.

9. Кудяков, А.И. Теплоизоляционный цементный пенобетон неавтоклавного твердения с золой гидроудаления / А.И. Кудяков, А.Б. Стешенко, Н.П. Душенин, Н.Е. Рябцева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – Т. 23. – № 5. – С. 105–117.

УДК 666.3.017

Комиссарова М.С., Журавлева Е.С.

*Научный руководитель: Ганигин С.Ю., д-р техн. наук, проф.
Самарский государственный технический университет,
г. Самара, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ УТРЯСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФТОРПОЛИМЕРОМ СМЕСИ Ti2CW

Реакционноспособные смеси относятся к новому классу высокоэнергетических веществ, состоящих из двух и более порошковых композиций – металла и неметалла, способных к интенсивной экзотермической реакции при сильном механическом, либо тепловом воздействии [1].

В качестве исследуемого реакционноспособного состава рассматривалась смесь, состоящая из порошка титана, мелкодисперсного активированного древесного угля и вольфрама, с нанесенным фторполимерным покрытием на поверхность частиц порошков. Фторполимер в таких составах является одновременно и связующим, и окислителем, что позволяет делать из реакционноспособного материала прочные элементы с высокой химической и термической стойкостью, которые применяются в нефтегазодобывающей промышленности.

С целью определения параметров готовых изделий, в которых могут применяться те или иные высокоэнергетические составы, необходимо подобрать оптимальную технологию их формирования. Для этого целесообразно изучить свойства исходных компонентов, такие как дисперсность и форма частиц, удельная поверхность, микротвердость, а также содержание примесей, легированных добавок. Немалый интерес представляет исследование технологических свойств уже готовых реакционноспособных смесей, таких как насыпная плотность, уплотняемость, текучесть, формуемость, прессуемость и плотность утряски [2-3]. Так как основное направление использования рассматриваемой в статье реакционноспособной смеси является применение при взрывных работах в нефтегазодобывающей промышленности, актуально рассмотреть такое технологическое свойство как плотность утряски.

Целью исследования является определение плотности утряски композиции Ti2CW, модифицированной фторполимерным покрытием, в зависимости от разных способов получения готовой смеси.

Исследовалось четыре состава, полученные следующим образом:

- 1) простая механическая смесь немодифицированных порошков титана, углерода и вольфрама;
- 2) механическая смесь порошков титана, углерода и вольфрама, совместно модифицированных фторполимером;
- 3) механическая смесь порошков титана, углерода и вольфрама, с нанесением фторполимерного покрытия на каждый компонент отдельности;
- 4) механическая смесь, состоящая из параллельно модифицированных систем титан-углерод и углерод-вольфрам. При таком способе получения готовой реакционноспособной смеси фторполимерное покрытие наносилось отдельно на состав титан-углерод и отдельно на состав углерод-вольфрам, а затем, примешивалась с соблюдением заданного количества молей готовой смеси.

Плотность утряски определялась в соответствии с [4]. Важно отметить, что разброс значений насыпной плотности у исследуемых композиций лежит в интервале (1,06...2,14) г/см³, поэтому для исследования плотности утряски масса навески составляла 20 г и 50 г при объеме мерного цилиндра 25 см³. Амплитуда встряхивания составляла 3 мм, а частота – 250 ударов/минуту, данные по высоте столбика образца состава фиксировались каждые 5 минут до состояния, пока среднее значение плотности утряски не станет постоянным. Эксперимент повторялся три раза для каждого временного интервала.

Результаты по определению насыпной плотности не модифицированного и модифицированных составов приведены на рисунках 1-4.



Рис 1 – Зависимость средней плотности утряски немодифицированной механической смеси Ti-2C-W от времени встряхивания

Установлено, что в процессе эксперимента объем исследуемой порошковой композиции уменьшился на 68% от исходной величины, а значение плотности увеличилось на 46,7% на 15 минуте встряхивания.

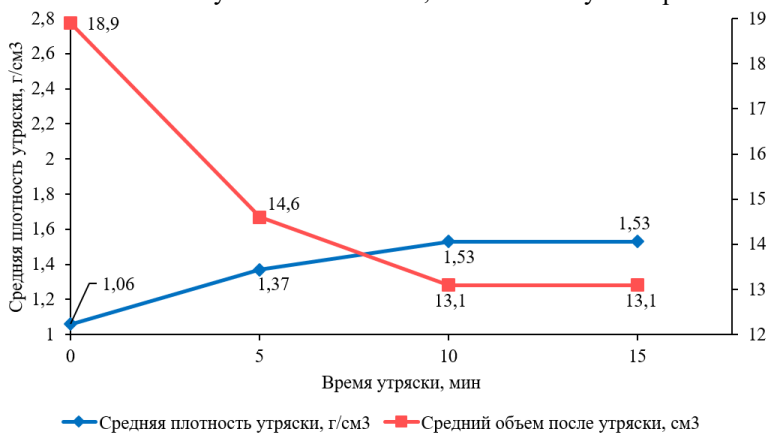


Рис 2 – Зависимость средней плотности утряски механической смеси одновременно модифицированных компонентов Ti-2С-W+фторопласт от времени встряхивания

Установлено, что в процессе эксперимента объем механической смеси одновременно капсулированных компонентов Ti-2С-W+фторопласт уменьшился на 69% от исходной величины, а значение плотности увеличилось на 44% и достигла своего постоянного значения на 10 минуте встряхивания.

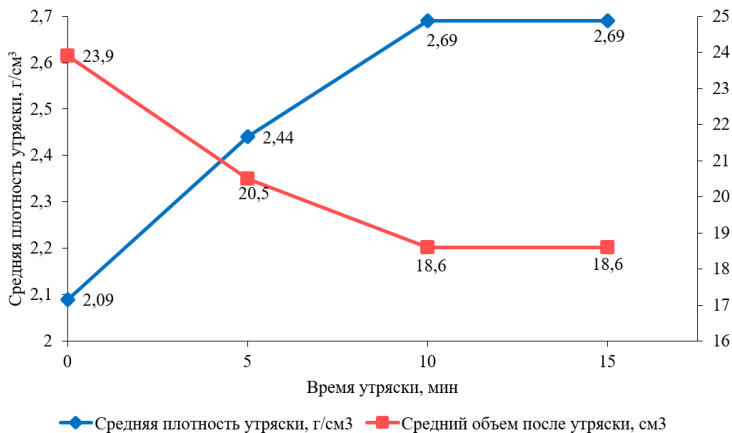


Рис. 3 – Зависимость средней плотности утряски механической смеси отдельно модифицированных компонентов Ti-2C-W+фторопласт от времени встряхивания

Установлено, что в процессе эксперимента объем механической смеси отдельно капсулированных компонентов Ti-2C-W+Ф-32Л уменьшился на 77% от исходной величины, а значение плотности увеличилось на 28,7% и достигла своего постоянного значения на 10 минуте встряхивания.

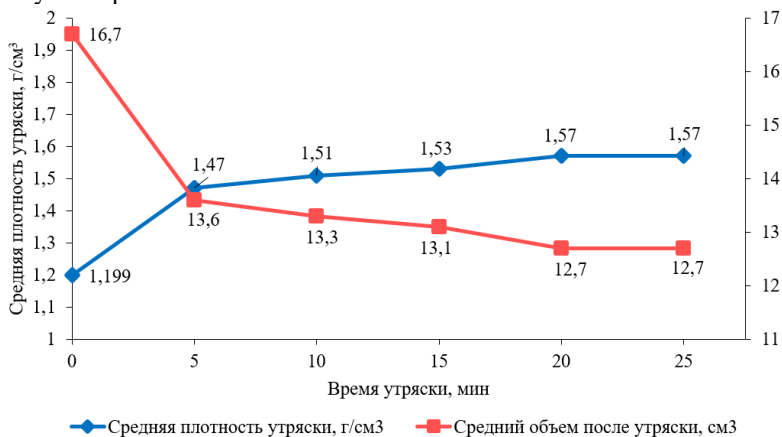


Рис. 4 – Зависимость средней плотности утряски механической смеси параллельно модифицированных компонентов Ti-C+W-C+фторопласт от времени встряхивания

Установлено, что в процессе эксперимента объем механической смеси параллельно капсулированных компонентов Ti-C+W-C+фторопласт уменьшился на 76,1% от исходной величины, а значение плотности увеличилось на 30,9% и достигла своего постоянного значения на 20 минуте встряхивания.

По результатам экспериментального исследования получено, что наибольшая способность порошка к уплотнению без деформации частиц установлена у немодифицированной механической смеси Ti-2C-W, где плотность после встряхивания увеличилась на 46,7% и составила 3,14 г/см³ при встряхивании в течение 15 минут и механической смеси отдельно капсулированных компонентов Ti+2C+W+фторопласт, где плотность после встряхивания увеличилась на 44% и составила 2,69 г/см³ при встряхивании в течение 10 минут, что оказывает негативное влияние на готовые смеси реакционноспособных материалов при транспортировке и эксплуатации на месте применения по целевому назначению.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема №АААА-А12-2110800012-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. N. A. Imkhovik, A. V. Svidinsky, A. S. Smirnov, V. B. Yashin. Gorenje i Vzryv (Moskva) – Combustion and Explosion. 2017 T. 10, № 1, с. 93.
2. Гиршов В.Л. Котов С.А., Цеменко В.Н. Современные технологии в порошковой металлургии: учеб. пособие/ В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко.- СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010.- 385 с
3. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: учеб. пособие / В.Н. Анциферов [и др.]; под общ. ред. Б.С. Митина. – М.; Металлургия, 1987. – 792 с.
4. ГОСТ 25279-82. Порошки металлические. Метод определения плотности после встряски.

Левицкая К.М., Бухтияров И.Ю.

*Научный руководитель: Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СУПЕРСУЛЬФАТИРОВАННЫЙ ЦЕМЕНТ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

В современном строительстве активно используются различные виды цемента. Одним из таких видов является суперсульфатированный цемент (ССЦ), который является разновидностью экологически чистых цемента [1, 2].

Производство цемента негативно влияет на окружающую среду. Применение суперсульфатированных цемента имеет ряд преимуществ, что обусловлено несколькими факторами, включая более эффективное использование природных ресурсов, уменьшение выбросов вредных веществ и снижение энергозатрат.

Традиционные типы цемента требуют большого количества известняка, глины и других природных материалов. В то время как суперсульфатированный цемент требует гораздо меньшего количества этих материалов, а также позволяет утилизировать отходы производства и тем самым расширять сырьевую базу.

Еще одним фактором, влияющим на экологию при производстве цемента, является уменьшение выбросов вредных веществ. Традиционные типы цемента требуют высоких температур при их обработке, что приводит к выбросу значительного количества углекислого газа и других вредных веществ в атмосферу. Суперсульфатированные цементы, напротив, технологически производятся при более низких температурах, что минимизирует выбросы вредных веществ. Это способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду благодаря и обеспечивает более рациональное потребление энергии [3, 4].

Кроме того, использование суперсульфатированных цемента может иметь положительный эффект на экологию за счет увеличения срока эксплуатации зданий и сооружений посредством создания более долговечных и стойких к агрессивным условиям бетонных конструкций, что в дальнейшем также благоприятно влияет на окружающую среду благодаря уменьшению объема отходов и потребности в реконструкции.

Суперсульфатированный цемент представляет собой композиционное вяжущее, которое не требует обжига с низким содержанием портландцементного клинкера или вообще без него. В состав ССЦ входит 75–85 % доменного гранулированного шлака, 10–20 % сульфата (дигидрат гипса, фосфогипса др.) и 1–5 % щелочного активатора (цементный клинкер, гидроксид кальция, известь и др.) [1, 2].

Области применения суперсульфатированного цемента достаточно широки и представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Области применения суперсульфатированного цемента

Суперсульфатированные цементы отличаются следующими преимуществами:

- экологичность;
- высокие физико-механические свойства (особенно на поздних сроках);

- низкий уровень тепловыделения в процессе гидратации;
- повышенной стойкостью к воздействию щелочей сульфатов [1, 2].

Согласно информации литературных источников можно выделить следующие негативные аспекты:

- время схватывания ССЦ дольше, чем у портландцемента [1, 4];
- набор прочности происходит медленнее в сравнении с портландцементом [1, 2, 6], что приводит к необходимости длительного твердения во влажностных условиях, при этом прочность в возрасте 28 суток аналогична;
- карбонизация в следствии недостаточного отверждения может привести к запылению поверхности [5].

Для повышения эффективности использования ССЦ и нивелирования недостатков применяется большой спектр добавок: суперпластификаторов, ускорители сроков схватывания и т.д. [7, 8];

Суперсульфатированные цементы позволяют производить материалы и изделия на их основе практически без отходов, с минимальными энергетическими затратами, а также низким уровнем выбросов CO₂, что особенно актуально на сегодняшний день. Также необходимо отметить, что в России присутствует широкая номенклатура как алюмосиликатных, так и сульфатных сырьевых материалов, в том числе отходов производства [9–11], которые могут быть использованы для производства ССЦ.

Не смотря на очевидные преимущества, данный вид вяжущего не получил пока значительного распространения в связи с необходимостью дополнительного изучения свойств получаемых материалов в долгосрочной перспективе, недостаточностью понимания протекания процессов фазообразования и возможности применения различных составов, что будет в успешно решено путем проведения дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wu Q., Xue Q., Yu Z. Research status of super sulfate cement // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 294. 126228. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.126228
2. Juenger M.C.G., Winnefeld F., Provis J.L., Ideker J.H. Advances in alternative cementitious binders // *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. Iss. 12. Pp. 1232–1243. DOI:10.1016/j.cemconres.2010.11.012.
3. Xiang Q., Pan H., Ma X., Yang M., Lyu Y., Zhang X., Shui W., Liao W., Xiao Y., Wu J., Zhang Y., Xu M. Impacts of energy-saving and emission-

reduction on sustainability of cement production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 191. 114089. DOI:10.1016/j.rser.2023.114089.

4. Supriya, Chaudhury R., Sharma U., Thapliyal P.C., Singh L.P. Low-CO₂ emission strategies to achieve net zero target in cement sector. *Journal of Cleaner Production*. 2023. 417. 137466. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137466

5. Bijen J., Niël E. Supersulphated cement from blastfurnace slag and chemical gypsum available in the Netherlands and neighbouring countries // *Cement and Concrete Research*. 1981. Vol. 11. Issue 3. Pp. 307–322. DOI:10.1016/0008-8846(81)90104-6.

6. Liu S., Ouyang J., Ren J. Mechanism of calcination modification of phosphogypsum and its effect on the hydration properties of phosphogypsum-based supersulfated cement // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 243. 118226. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.118226

7. Li M., X. Deng, Jian S., Huang J., He X., J. Yang, Tan H., Effects of ettringite seed on the hydration and properties of supersulphated phosphogypsum-slag cement // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 452.142105. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142105

8. Liu S., Wang L., Yu B. Effect of modified phosphogypsum on the hydration properties of the phosphogypsum-based supersulfated cement // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 214, Pp. 9–16. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.052

9. Ларсен О.А., Александрова О.В., Наруть В.В., Полозов А.А., Бахрах А.М. Исследование свойств активных минеральных добавок для применения в гидротехническом строительстве // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 8. С. 8–17. DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-8-8-1

10. Levickaya K., Alfimova N., Nikulin I., Kozhukhova N., Buryanov A. The Use of Phosphogypsum as a Source of Raw Materials for Gypsum-Based Materials // *Resources*. 2024. 13. 69. DOI: 10.3390/resources13050069

11. Kozhukhova N.I., Alfimova N.I., Kozhukhova M.I., Nikulin I.S., Glazkov R.A., Kolomytceva A.I. The Effect of Recycled Citrogypsum as a Supplementary Mineral Additive on the Physical and Mechanical Performance of Granulated Blast Furnace Slag-Based Alkali-Activated Binders // *Recycling*. 2023. Vol. 8, No. 1. 22. DOI: 10.3390/recycling8010022

Лукьянова Е.Ю.

*Научный руководитель: Наумова Л.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА

Полимерные композитные материалы находят широкое применение во многих областях благодаря их уникальным свойствам, таким как высокая прочность, легкий вес, устойчивость к коррозии и возможность формирования сложных форм. Список областей применения композитов постоянно расширяется по мере развития новых технологий и совершенствования свойств этих материалов. В частности, композиционные материалы на основе эпоксидных олигомеров нашли широкое применение в качестве герметизирующих составов, ремонтных материалов, компаундов, в том числе, и со специальными свойствами. Наш интерес заключался в использовании эпоксидной смолы и в качестве наполнителя – один из отходов углеродсодержащего материала, для получения композита со специальными свойствами.

Эпоксидная смола (ЭС) — вещество, получаемое конденсацией полифенола с дихлоргидрином (ДФП) или эпихлоргидрином (ЭХГ) в присутствии щелочи в виде густой сиропообразной жидкости светло-коричневого или светло-желтого цвета. С точки зрения производства и масштабов применения первостепенное значение имеют диан-смолы, особенно ЭД-20 [1, 2].

Процесс производства ЭС периодическим методом состоит из следующих стадий: загрузка и конденсация сырья, промывка ЭС и отгонка воды, фильтрование и сушка. Процесс периодический, протекает в закрытом реакторе. После завершения цикла реактор освобождается для новой загрузки сырья. Контроль параметров (температура, давление, время) обеспечивает получение эпоксидной смолы с заданными свойствами.

Процесс производства ЭС непрерывным методом состоит из следующих стадий: приготовление растворов ДФП и ЭХГ, поликонденсация, выделение смолы, ее нейтрализация и сушка. Непрерывный метод обеспечивает постоянную подачу сырья и непрерывный выход готового продукта. Процесс полностью

автоматизирован и контролируется компьютерной системой управления. Этот метод позволяет получать эпоксидные смолы с высокой производительностью и стабильным качеством. [3, 4].

Наибольшее применение нашли процессы серийного производства ЭС по двух- и трехаппаратной схеме. Если приготовление смолы, промывку и перегонку летучих веществ производят в одном аппарате, а сушку смолы - во втором, то схема двухаппаратная. В конструкции с тремя устройствами эти операции выполняются на разных устройствах.

В технике применяются разные углеродсодержащие материалы, в их числе – графит. Величина удельного электрического сопротивления графита в основном зависит от пористости, размера зерна, размера кристаллита, что в свою очередь зависит от способа его получения (нагрев кокса в печи, пиролиз газообразных углеводородов и др.). Он имеет более совершенную кристаллическую решетку и высокие свойства анизотропии. Повышение свойств графита достигается карбонизацией технического углерода или осаждением из газовой фазы.

Технология карбонизации позволяет получить графит плотностью 1700... 1800 кг/м³ при теоретической плотности -2200 кг/м³. Структура после такой обработки скорее аморфная, чем кристаллическая, кристаллы неправильно ориентированы друг относительно друга (рис.1, а).

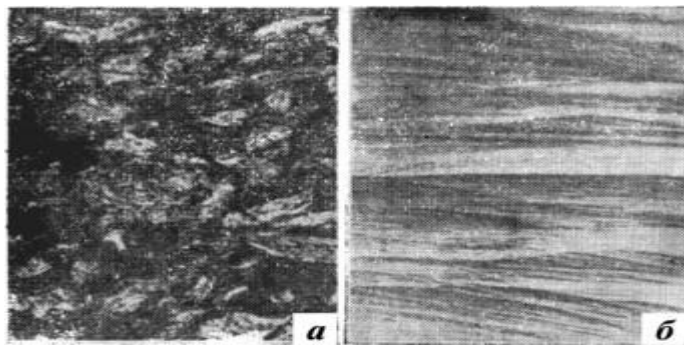


Рис. 1. Структура графита (125х):
а - после карбонизации; б - после осаждения из газовой фазы (пиролитический).

Процесс осаждение из газовой фазы является дорогостоящим. При сравнении способа производства графита мы выберем метод карбонизации, поскольку он относительно прост и не требует специального оборудования [5].

Эпоксидная смола – ЭД-20, представляет собой продукт конденсации эпихлоргидрина с дифенилолпропаном (бисфенолом А) в присутствии щелочного катализатора. Согласно ГОСТ 10587-84, ЭД-20 относится к эпоксидным смолам средней молекулярной массы и предназначена для изготовления различных компаундов, применяемых в строительстве, машиностроении, электротехнической и других отраслях промышленности. [6].

При смешивании проводящего компонента (графита) и диэлектрика (эпоксидной смолы) на выходе от одного электрода к другому образуются проводящие цепи.

Поведение систем с добавлением углеродсодержащего материала различного типа представляет значительный интерес для практического применения. Использовали концентрации наполнителя в диапазоне от 0 до 0,5 %. Можно отметить, что концентрация графита в композитах была относительно низкой, так как большинство композитов имеют содержание наполнителя более 10 %.

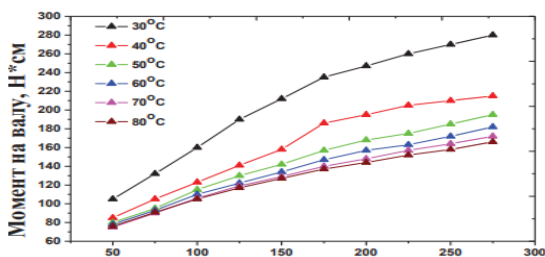


Рис. 2. Реологические кривые чистого эпоксидного олигомера

Параметры: время и температура процесса смешивания графитовой эпоксидной смолы измерялись с использованием механической мешалки ИКА Eurostar Power Control-Visc P7 для обработки материалов с высокой вязкостью. На рисунке 2 представлена зависимость момента вала от скорости мешалки. Видно, что крутящий момент на валу увеличивается с увеличением скорости. При 30–40°C наблюдается нелинейная зависимость, а дальнейшее повышение температуры выше 50°C делает форму кривой более линейной. При использовании чистой смолы при 175 об/мин и температуре 40°C крутящий момент вала немного увеличивается [7].

Острый пик наблюдается при 200 об/мин и 30°C. Как видно из полученных данных, повышенная вязкость смеси эпоксидная смола - графит наблюдается при относительно низких температурах (30-40°C).

На рис. 3 представлены реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5% ТУ. Загрузка углерода 0,5% приводит к увеличению

кажущейся вязкости композита уже при 30°C, при этом максимальный крутящий момент вала (при 275 об/мин) увеличивается с 280 Нсм до 315 Нсм.

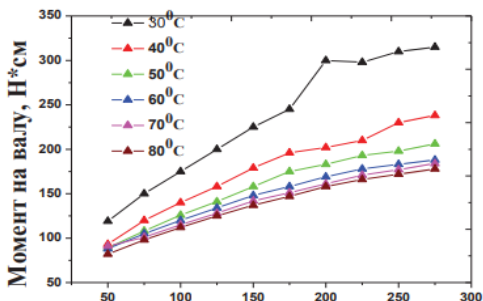


Рис. 3 Реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5 % графита

Эти реологические кривые были аппроксимированы для получения коэффициентов, которые можно использовать для прогнозирования вязкости системы на каждой скорости. С увеличением скорости перемешивания температурная зависимость момента вала становится более выраженной. Добавление графита в систему увеличивает величину крутящего момента на валу. Поэтому вязкость системы крутящего момента на валу увеличивается с повышением температуры.

Из вышеприведенного можно сказать, что анализ поведения эпоксидной смолы и графита при формировании композита позволит получить материал со специальными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Помогайло А.Д. Гибридные полимер-неорганические нанокompозиты / А.Д. Помогайло. // Успехи химии. – 2000. – Т. 69, № 1. – С. 60–89.
2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физматлит. 2005. – 412 с.
3. Наноструктурные покрытия и наноматериалы / Н.А. Азаренков, В.М. Береснев, А.Д. Погребняк, Д.А. Колесников. – М.: Либроком. 2013. – 368 с.

4. Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев. – М: КомКнига. 2006. – 592 с.
5. Губин С.П. Графен и углерод / С.П. Губин, С.В. Ткачев. – М.: Либроком, 2012. – 104 с.
6. Евсеев Н.Е. Простой метод получения полимерных нанокомпозитов с большим содержанием наполнителя / Н.Е. Евсеев, Д.В. Плешаков, А.А. Сизова // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. 31.№ 13. – С. 57–59.
7. Материалы в машиностроении. Неметаллические материалы: справочник: в 5 т. / В.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1969. – Т. 5. – 544 с.
8. Огнев А.Ю. Полимерный композиционный материал на основе эпоксидной смолы, упрочненный многослойными углеродными отходами/ А.Ю. Огнев, А.М. Теплых, В.А. Батаев, А.Г. Кудашов, А.В. Окотруб // Научный вестник НГТУ. – 2009. – № 4(37). – С. 115–121.
9. Майникова Н.Ф. Исследование температурных зависимостей теплопроводности эпоксидных углепластиков / Н.Ф. Майникова, С.С. Никулин, В.С. Осипчик, Т.П. Кравченко и др. // Пластические массы. – 2014. – № 9–10. – С. 35–37.
10. Чемеричко Г.И. Механическое оборудование заводов по производству полимеров: учебное пособие / Г. И. Чемеричко, Ю. В. Бражник, А. Е. Ченцов. - Белгород: Изд-во БГТУ. 2020. 175 с.
11. ГОСТ 7885-86. Углерод технический для производства резины. Технические условия.
12. ГОСТ 12138-86. Дифенилолпропан технический. Технические условия.
13. ГОСТ 7885-86. Углерод технический для производства резины. Технические условия.

Рулев Д.А., Бондаренко Д.О.

*Научный руководитель: Маркова И.Ю., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В настоящее время при строительстве дорожных конструкций природные ресурсы являются базовыми материалами, используемыми для их создания. Однако это обуславливает ряд факторов, которые затрудняют и значительно удорожают процесс дорожного строительства. Так, побочные продукты производства имеют значительное экономическое превосходство в сравнении с природными материальными ресурсами. Помимо экономической выгоды, есть преимущества и с точки зрения экологических аспектов, переработанные материалы значительно снижают потребление невозобновляемых природных ресурсных источников. Человечество озаботилось важностью сохранения окружающей среды, в том числе путем утилизации отходов.

Металлургическая промышленность является крупнейшим источником техногенных отходов, который превышает значение в 400 млн т в год. Состав металлургических шлаков варьируется в зависимости от сырья, но в основном представлен оксидами CaO , SiO_2 , Al_2O_3 [1]. Для хранения твердых отходов требуются огромные площади земли и значительные финансовые ресурсы, при этом одной из главных задач остается безопасная и экономичная их утилизация. В этой связи непрерывно ведутся разработки вариантов минимизации количества вырабатываемых отходов, среди которых применение «зеленых технологий», внедрение различных технологических решений производственной деятельности, переработки и повторного использования материала, утилизации путем сжигания [2–4].

Основываясь на способе получения металла, различают шлаки первичных и вторичных металлургических процессов (рис 1). Целью взаимодействия строительной отрасли и металлургической промышленности является переработка и использование всех побочных продуктов металлургического производства в строительстве, опираясь на их характеристики [5].



Рис. 1. классификация металлургических шлаков

Одним из решений проблемы утилизации металлургического шлака является его использование в дорожном строительстве. Свойства металлических шлаков очень близки к свойствам природных заполнителей, как по физическо-механическим параметрам, так и по химическому составу, поэтому они имеют огромный потенциал для широкого использования в данной отрасли. Однако некоторые виды шлаков требуют дополнительной обработки для обеспечения постоянства необходимых свойств. В дорожном строительстве доменные и сталеплавильные шлаки являются бюджетной заменой гранитному щебню, их применение может осуществляться во всех слоях дорожного покрытия, в том числе в качестве замены всех видов материалов минерального остова асфальтобетона при строительстве асфальтобетонных покрытий для дорог всех категорий и назначений. Особое внимание следует уделять пористости шлаковых материалов, так как это оказывает существенное влияние на расход органического вяжущего – битума.

Кроме того, отмечается положительное влияние металлургического шлака для стабилизации грунтов. Находящиеся в составе металлургического шлака SiO_2 и CaO непосредственно выступают в качестве стабилизирующих компонентов. Эти соединения, вступая в реакцию с водой, образуют устойчивую систему, повышая несущую способность. Так же отходы металлургического производства хорошо взаимодействуют в связке с другими компонентами в виде различных вяжущих при добавлении их в систему с грунтом. Анализ исследований показывает, что применение металлургического шлака

смешанного с портландцементом при стабилизации грунта позволяет уменьшить его расход, повышая эффективность укрепления грунта [6].

Положительно отмечается использование металлических отходов в качестве заполнителя непосредственно в составе асфальтобетонной смеси. Исследования показывают хороший уровень адгезии металлургического шлака с битумным вяжущим [7]. Колоссальная часть металлургических шлаков проявляет повышенные основные свойства, благодаря чему значительно возрастает степень их взаимодействия с битумом. Еще один немаловажный фактор – большая пористость, позволяющая вяжущему проникать в полости шлака, обеспечивая прочную адгезию. Однако высокая пористость увеличивает скорость поглощения шлаком воды, в которой нуждается асфальт [8]. Необходимо понимать, что рациональное использование такого шлака зависит от размера и форм его частиц, а так же концентрации в асфальтобетонной смеси. Зачастую использование металлургического шлака позволяет улучшить технические свойства асфальтобетона при снижении его стоимости. Относительная плотность как и прочность металлошлаковых заполнителей значительно выше, чем у природных наполнителей. Также показатели устойчивости к изменению температурного режима находятся выше показателей минеральных заполнителей. Анализируя приведенные ранее факты можно сказать, что металлошлаки оказывают влияние на обеспечение лучших эксплуатационных показателей у дорожного полотна.

Исходя из выше сказанного, можно отметить, что основными особенностями применения металлургического шлака в дорожном строительстве является:

- экономическая эффективность: использование металлургического шлака позволяет снизить затраты на строительство дорог, так как этот материал стоит дешевле, чем традиционные материалы;

- улучшение качества дороги: металлургический шлак обладает высокой прочностью, что обеспечивает долговечность и надежность дорожного покрытия;

- экологическая безопасность: применение металлургического шлака способствует уменьшению объемов отходов и снижению загрязнения окружающей среды;

- универсальность: металлошлак можно использовать как для стабилизации грунта при подготовке к дорожно-строительным работам, так и непосредственно в составе асфальтобетонной смеси для укладки дорожного полотна.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00796, <https://rscf.ru/project/23-19-00796/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джаббарова, Н.Э. Влияние металлургических шлаков на свойства цемента и бетонов на его основе / Н.Э. Джаббарова, К.К. Алиев // *Наука, техника и образование*. – 2021. – № 1 (76). – С. 11–14.
2. Селицкая, Н.В. Влияние температурно-влажностной обработки на сроки набора прочности грунтобетона на основе техногенного сырья очистки щебеночного балласта / Н.В. Селицкая, А.Н. Бодяков // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2018. – № 11. – С. 41–46.
3. Бодяков, А.Н. Анализ нормируемых свойств шлакового щебня в результате кристаллохимической стабилизации / А.Н. Бодяков, И.Ю. Маркова, В.В. Строкова, Д.О. Бондаренко, Е.Н. Губарева, А.И. Буковцова // *Строительные материалы*. – 2023. – № 12. – С. 20–25.
4. Бодяков, А.Н. Свойства металлургического шлака, стабилизированного в промышленных условиях / А.Н. Бодяков, И.Ю. Маркова, А.А. Логвиненко, Л.Н. Боцман, Ю.Н. Огурцова // *Региональная архитектура и строительство*. – 2023. – № 2 (55). – С. 44–51.
5. Валуев, Д.В. Технологии переработки металлургических отходов: учебное пособие / Д.В. Валуев, Р.А. Гизатулин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 196 с.
6. Соловьева, В.Я. Инновационные способы подготовки основания транспортных магистралей с использованием техногенных образований металлургического производства / В.Я. Соловьева, А.С. Сахарова, Е.Г. Еремеев // *Инновационные транспортные системы и технологии*. – 2022. – Т. 8. № 2. – С. 28–42.
7. Пименов, А.Т. Обоснование возможности применения отходов металлургических производств при строительстве и ремонте дорожных покрытий и оснований / А.Т. Пименов, В.С. Прибылов // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. – 2021. – № 2 (57). – С. 42–48.
8. Пименов, А.Т. Применение шлаковых заполнителей в составе асфальтобетона для повышения долговечности дорожных покрытий / А.Т. Пименов, В.С. Прибылов // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2019. – Т. 16. – № 6 (70). – С. 766–779.

УДК 691.32:666.97

Соловьёв С.В., Яремчук М.В., Богун Н.В.

*Научный руководитель: Толстой А.Д., д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ «ЗЕЛЁНЫХ» БИОСИСТЕМ

Применение «зелёных» биосистем позволяет эффективно управлять отдельными процессами, а также всем биотехнологическим процессом в практически любом требуемом состоянии. Управление с точки зрения реализации эффективных исходных компонентов сводится к дозированному поступлению минеральных и органических смесей, питательных биогенов и модификаторов. Развитие науки показывает, что в ближайшем будущем будет происходить замещение обычных материалов многокомпонентными минеральными и полимерными компонентами [1].

Для повышения эффективности биокаменных композитов к решению актуальной проблемы комплексного использования новые системы. Прежде всего, использование принципов при решении вопросов исследования составов композиционных материалов с модифицированным составом, имеющих уникальных свойств и технологических особенностей их получения. Для этого общая классификация Международной организации по строительству подразумевает с композиционными компонентами, имеющие высококачественными свойствами. Подобные материалы находят все более широкое применение в строительстве Японии, Норвегии, США, Франции, Канаде и др. Исследованиям материалов нового поколения экологической чистоты с применением природного и техногенного сырья посвящены работы известных ученых и других. Авторы выделяют важную роль сырьевых компонентов техногенной природы в процессе структурообразования для получения и представленных в работах зарубежных ученых отмечается отсутствие загрязняющих примесей, которые способны вступать в химическое взаимодействие с биовеществами и повышать строительно-технические свойства композитов. В связи с этим, обостряется проблема селективного отбора утилизированных смешанных органических материалов в технологическом процессе. Передовые производства могут исказить свойства продукции и технологические параметры, и в конечном итоге,

характеристики получаемых низкого качества продуктов. Для повышения эффективности «зеленого» композита существенное значение имеет наиболее полное использование возможностей биокomпонентов, создание оптимальной структуры искусственного камня. Именно такой цели отвечают высокоактивные композиционные составы. Добавки-модификаторы, имеющими в своем составе компонент или компоненты, обеспечивающие микробный эффект [2].

Образование неорганических соединений в органической материи происходит двумя основными путями. При первом – «биологически-стимулированная» минерализация, которая находится с минеральной фазой и происходит в окружающей среде из «зеленые» композиты. В его составе могут содержать мелкий компонент (природный и искусственный) с необходимыми ионы, при «вмешательстве» живого организма для образования минерального осадка. При втором пути – «биологически контролируемая» минерализация – минеральная фаза происходит под прямым и постоянным «контролем» организма так, что минеральный осадок получает характерные уникальные кристаллические свойства. В данном случае форма, размер, положение и ориентация кристаллов могут контролироваться участвующими в этом процессе организма. Практически все биоминеральные структуры развиваются на заранее сформированных матрицах, состоящих из продуктов выделения [3].

Неорганической частью "материалов", образующихся при биоминерализации, являются карбонат кальция, сульфат кальция, сульфат бария и другие. Организмы способны образовывать кристаллы и композиты из аморфных неорганических полимеров, которые являются сложными структурными элементами их организмов. Кальцийсодержащие минералы составляют примерно 50% всех известных минералов, поскольку кальций сам по себе выполняет многие фундаментальные функции в составе клеток [4].

В работе предпринята попытка обосновать необходимость утилизации и переработки отходов производства не только с позиции охраны окружающей среды, но с точки зрения экономической выгоды, когда отходы являются дешевым сырьем. Для выбора оптимального научного решения по утилизации отходов необходимо иметь сведения о характеристике объекта, как сырьевого ресурса предполагаемые направления для использования технические решения. Исследования кальцийсодержащих биоминералов показали высокую реакционно-химическую способность, которые смешивали в количествах, определенных расчетом при изготовлении композитов. Обработка экспериментальных данных позволила получить зависимости

высококачественных «зеленых» материалов (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели «зеленых» высококачественных материалов на основе природного и техногенного биосырья

Проектный класс	ρ , кг/м ³	Прочность, МПа	Параметры поровой структуры			W_M , % по массе
			Средний размер пор, λ	Однородность пор, α	Удельная поверхность, S_0	
B45 (M600)	2290	68,5	0,83	0,45	7,76	2,3
B55 (M700)	2300	73,1	0,76	0,46	7,82	2,4
B60 (M800)	2350	80,4	0,79	0,48	7,93	2,6

Установлено, что после испытания коэффициент стойкости, определяемый как отношение прочности образца, полученного с техногенного биосырья образца до испытания, составлял 0,95-0,97. Полученные данные позволяют прогнозировать высококачественного композита. Образцы имеют плотную структуру оптимального состава.

Это объясняется мелкозернистой кристаллической микроструктурой (рис. 1), которая отличается меньшим количеством защемленного воздуха за счет высокоплотной упаковки частиц. Поскольку состав представлен частицами разных фракций, разной формы и разного происхождения за счёт эффекта заполнения порового пространства с более мелким большим процентом твердого вещества[5].

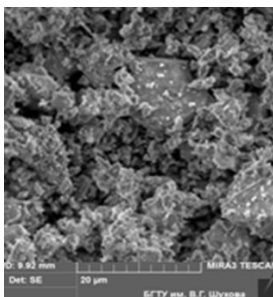


Рис. 1 – Микроструктура высококачественного «зеленого» композита

На микрофотографии видно, что зерна компонентов диаметром 0,05-0,06 мм расположились на расстоянии 0,04-0,05 мм между ними,

пространство заполнено биогелем. Такое расстояние указывает на то, что уплотнение достигло оптимального значения, и что при оптимальном содержании камня между зёрнами. В данном эксперименте прочность составила 85 % от скорости набора прочности образцами.

1. Определена степень активности компонентов биосостава в высококачественных смесях. Разработаны рецептуры композитов с тонкодисперсными минеральными материалами с менее пористыми из биоминералов структур развиваются на заранее сформированных матрицах, при этом доля минеральных составляющих составляет 25-40 % от карбонат кальция.

2. Предложены малоэнергоёмкие биотехнологические приемы с использованием природного и техногенного материала даны оптимальные высококачественные композиты и конструкций.

3. Расширена группа дисперсных биологических многокомпонентных отходов. В результате предшествующего процесса содержат в своем составе кальциевые или их смеси с дисперсным кварцевым компонентом, представляющие собой готовые центры кристаллизации. Модифицированием комплексной органоминеральной добавкой позволяет повысить долговечность композитов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A D Tolstoy; V S Lesovik; E S Glagolev; A I Krymova. Synergetics of hardening construction systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 327(3), 032056. doi: 10.1088/1757-899X/327/3/032056.

2. Дуглас С., Беверидж Т. Дж. Образование минералов бактериями в естественных микробных сообществах. FEMS Микробиология и Экология, 1998, № 26, с. 79-88. doi: 10.1111/j.1574-6941.1998.tb00494.x.

3. Толстой А.Д., Крымова А.И. Применение синергетических принципов самоорганизации в теории твердения строительных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2018, № 9, с. 24-29

4. Dove P.M., De Yoreo J., Weiner S. Biomineralization // Rev. in Mineralist & Geochem. 2003. V. 54. 381 p.

5. Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В. Композиты каркасной структуры на смешанных вяжущих // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-2 (38). – С. 421-426.

УДК 658.567

Цаль-Цалко А.С.

*Научный руководитель: Воронцов В.М., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Благодаря социальному и технологическому прогрессу, а также постоянному росту цен на сырьевые товары и экспоненциальному росту населения земли потребление природных ресурсов возросло. Эта тенденция особенно очевидна в странах с ограниченными или истощающимися минеральными ресурсами [1]. В то же время возрела осведомленность общественности об устойчивом развитии и давление со стороны экологических групп. Это привело к тому, что основное внимание было уделено сокращению потребления ресурсов и разведке более глубоких запасов. В последние годы средняя глубина залегания шахт в развитых странах редко превышала 1,5 километра [2]. Это побудило к разведке более глубоких залежей. Истощение неглубоких залежей и растущий спрос на сырье требуют разведки неосвоенных запасов для обеспечения экономической устойчивости горнодобывающих сообществ.

Комплексное использование сырья и отходов важно, потому что оно предполагает решение актуальных задач, стоящих перед предприятиями. Разработка и развитие технологий выпуска отходов имеет важное значение для организации химических, минеральных, микробиологических, металлургических, угольных, строительных и многих других промышленных ресурсов.

Накопление промышленных отходов при производстве продукции и сокращение запасов природных ресурсов приводит к актуализации проблемы утилизации отходов производства, которая особенно распространена в промышленно развитых странах [3].

Основной целью использования наполнителей в полимерных материалах является снижение их стоимости, что обуславливает значительный интерес к разработке оборудования для наполнения и внедрению систем наполнения. Наполнители играют решающую роль в композиционных материалах, поскольку они придают уникальные свойства и действуют как добавки. Поэтому разумно разделить их на две

основные категории: функциональные и нефункциональные наполнители.

Существует множество классификаций техногенных отходов. Они характеризуются состоянием концентрации, составом, степенью опасности и химической активностью. К техническим отходам относятся остатки сырья и полуфабрикатов, утративших свои качества. Их нельзя использовать по назначению, и их необходимо утилизировать. Прежде всего, искусственные отходы делятся на минеральные и органические.

Основными источниками промышленных отходов являются горнодобывающая промышленность, металлургия, деревообработка, лесное хозяйство, текстиль, строительство, энергетика, производство строительных материалов, химикаты, сельское хозяйство и бытовая деятельность человека [4].

Активно применяются техногенные отходы в производстве строительных материалов. Техногенное сырье способно удовлетворить до 40% потребностей в строительном сырье. В целом, использование техногенных отходов снижает себестоимость и рационализирует производство. Но необходимо учитывать, что полностью заменить наполнители на техногенные отходы не удастся в связи специфической нестабильности и неоднородности многих побочных промышленных продуктов, некоторые влияют не только условия их появления, но и химические и минеральные компоненты, условия хранения и продолжительность пребывания на свалках, что окажет влияние на качество строительных материалов [5].

Использование промышленных отходов рассматривается по-разному:

- самостоятельная утилизация отходов может решить проблемы охраны окружающей среды за счет высвобождения ценных участков земли.

- отходы значительно снижают потребность в сырье для производства строительных материалов.

- комплексная утилизация промышленных отходов требует особых капитальных затрат, кроме того, в некоторых случаях использование промышленных отходов может повлиять на пористость, плотность, водопоглощение и т. д. полученный продукт улучшает его физико-механические свойства.

1. Важно предпринимать активные шаги в области переработки отходов для извлечения ценных компонентов. Эти меры должны осуществляться при соблюдении стандартов экологической безопасности и обеспечении экономической целесообразности.

2. Поступая таким образом, мы можем заложить основу для устойчивого развития и создать возможности для продления срока службы объектов добычи полезных ископаемых. Использование техногенного сырья не исключит потребность в природных ископаемых, но существенно снизит их затраты. Так же, что не маловажно использование техногенных отходов позволит снизить себестоимость, учитывая что в России огромные запасы минералов которые можно использовать в качестве наполнителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка методологии проектирования мелкозернистых фибро-текстиль бетонов на техногенных песках белгородской области / Р. В. Лесовик, М. С. Агеева, С. В. Клюев [и др.] // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 09–10 апреля 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.В. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 227-241.

2. Лесовик, Р. В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкции / Р. В. Лесовик, А. В. Клюев, С. В. Клюев // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов : сборник докладов (XIX научные чтения), Белгород, 05–08 октября 2010 года. Том 3. – Белгород, 2010. – С. 140-143.

3. Клюев, С. В. Фибробетон на техногенном песке КМА и композиционных вяжущих для промышленного и гражданского строительства / С. В. Клюев, Р. В. Лесовик, А. В. Клюев. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2012. – 124 с.

4. Кульшикова, С. Т. Исследование свойств заполнителя из топливных шлаков / С. Т. Кульшикова, А. Ф. Кудашева // Труды университета. – 2023. – № 4(93). – С. 215-221. – DOI 10.52209/1609-1825_2023_4_215.

5. Облицовочный строительный материал на основе стеклобоя, модифицированного гидроксидом калия / В. С. Бессмертный, Н. М. Здоренко, М. А. Бондаренко [и др.] // Стекло и керамика. – 2023. – Т. 96, № 12(1152). – С. 10-17. – DOI 10.14489/glc.2023.12.pp.010-017.

Цаль-Цалко А.С.

Научный руководитель: Воронцов В.М., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ И ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Эффективное использование всех видов ресурсов является стратегической целью любого современного общества. Последним критерием выбора правильного пути к этой цели является повышение комфортности среды обитания человека, в том числе рост уровня благосостояния, здоровья и безопасности. Важным инструментом достижения этой цели является развитие строительного комплекса, что невозможно без создания эффективных высокотехнологичных материалов и технологий, ориентированных на широкую практику. Улучшение теплосберегающих и акустических свойств в настоящее время происходит преимущественно за счет комбинирования различных материалов, что неизбежно приводит к удорожанию и снижению темпов строительства, создает риски для надежности и безопасности. Вопросы защиты людей от негативных внешних и внутренних воздействий в обычных зданиях остаются практически нерешенными, поэтому не отвечают задачам улучшения здоровья нации [1].

Комплексный подход необходим для решения проблемы обращения с отходами. Требуются практические решения и предложения, позволяющие использовать на предприятии продукцию, произведенную человеком, в качестве ценного сырья для промышленного производства различных товаров, пригодных для продажи. Разработка композитных материалов с отличными характеристиками и новыми функциями является важным аспектом решения экологических проблем, таких как разработка природных и синтетических ресурсов и создание инновационных ресурсосберегающих технологий.

В современном мире проблема отходов становится всё более острой. Для её решения необходим комплексный подход, который включает в себя практические меры и действия [2]. Важно, чтобы продукция предприятий могла быть повторно использована в качестве ценного сырья для производства товаров, применяемых в различных

отраслях промышленности. Это позволит сократить количество отходов и снизить нагрузку на окружающую среду. Разработка передовых материалов с улучшенными характеристиками и инновационными свойствами также играет важную роль в решении экологических проблем. Такие материалы могут быть более долговечными, эффективными и устойчивыми, что позволит снизить потребление ресурсов и уменьшить количество отходов.

В наши дни проблема отходов становится всё более острой. С увеличением масштабов производства и потребления растёт и объём отходов, которые необходимо переработать. Одним из методов решения этой проблемы является переработка отходов в сырьё для создания новых материалов. [3].

Композитные вяжущие, изготовленные из техногенных отходов, обладают многими экологическими и экономическими преимуществами:

1. Применение отходов для создания новых материалов позволяет уменьшить количество промышленного мусора, отправляемого на свалки. Это способствует снижению уровня загрязнения почвы, воды и воздуха.

2. Рациональное природопользование. Применение отходов в качестве сырья для производства материалов позволяет сократить потребление таких природных ресурсов, как песок, гравий и глина. Это способствует их сохранению для будущих поколений.

3. Экономическая эффективность. Использование отходов в качестве сырья снижает производственные затраты. Это, в свою очередь, делает конечные материалы более доступными для потребителей.

4. Формирование рынка труда. Изготовление материалов из отходов привело к созданию новых рабочих мест в перерабатывающей промышленности, что способствовало экономическому развитию региона.

5. Развитие инновационных технологий: производство материалов из отходов стимулировало разработку новых технологий и методов переработки отходов и способствовало научно-техническому прогрессу.

6. Повышение конкурентоспособности предприятий: переработка отходов материального производства повышает конкурентоспособность предприятий на рынке и способствует экономическому росту.

Использование композиционных и вяжущих материалов из техногенных отходов является перспективным направлением развития

промышленности. Оно позволяет решать экологические и экономические проблемы, связанные с отходами [4].

Примеры композиционных и вяжущих материалов, производимых из техногенных отходов:

1. Композитные материалы для строительства. Из отходов стекла, пластика, резины и других материалов можно производить композитные материалы, которые используются для строительства дорог, зданий и других объектов.

2. Вяжущие материалы для дорожного строительства. Из отходов металлургической промышленности можно производить вяжущие материалы, которые используются для строительства дорог и других объектов инфраструктуры.

3. Материалы для производства мебели и строительных конструкций. Из отходов древесины, бумаги и других материалов можно производить материалы, которые используются для производства мебели, дверей, окон и других строительных конструкций.

Таким образом, использование композиционных и вяжущих материалов из техногенных отходов имеет ряд преимуществ, однако для успешного внедрения этой технологии необходимо провести дополнительные исследования и разработки, а также учесть возможные риски и ограничения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цаль-Цалко, А. С. Модифицирующие добавки к стеклощелочному вяжущему / А. С. Цаль-Цалко, М. В. Яремчук, В. А. Скрыпченко // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 4. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 205-208.

2. Баруздин Александр Андреевич, Закревская Любовь Владимировна, Николаева Ксения Алексеевна композиционный материал на основе техногенных отходов // Эксперт: теория и практика. 2023. №2 (21).

3. Облицовочный строительный материал на основе стеклобоя, модифицированного гидроксидом калия / В. С. Бессмертный, Н. М. Здоренко, М. А. Бондаренко [и др.] // Стекло и керамика. – 2023. – Т. 96, № 12(1152). – С. 10-17.

4. Вохидов, Б. Р. Разработка технологии получения платиновых металлов из техногенных отходов / Б. Р. Вохидов // Евразийский союз ученых. – 2020. – № 6-1(75). – С. 38-46.

УДК 691

Чащин Д.Ю.

Научный руководитель: Толыпина Н.М., д-р техн. наук, проф.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСХОДОВ ПО РЕМОНТУ ВЫТЯЖНЫХ БАШЕН ГРАДИРЕН

На многих инфраструктурных объектах России сегодня используются железобетонные градирни башенного типа, которые зарекомендовали себя как одни из наиболее эффективных, по сравнению с вентиляторными и открытыми. Анализ проведенных исследований долговечности данных сооружений выявил, что уже на начальных этапах эксплуатации возникают проблемы, связанные с разрушением их оболочек под воздействием повышенных температур и влажности как на внутренних, так и на внешних поверхностях [1, 2].

Несмотря на проведение регулярных ремонтных работ сооружений, остановки деструктивных процессов не происходит [3]. Ежегодно объемы повреждений железобетонных оболочек градирен лишь возрастают, что приводит к постепенному снижению их несущей способности. Сквозные отверстия, повреждения защитного слоя бетона, коррозия арматуры – все эти факторы ускоряют процесс разрушения. Помимо этого, из-за особенностей тонкостенных конструкций железобетонных градирен возможности по применению средств подмащивания и малой механизации значительно ограничены. Это ведёт к значительному увеличению стоимости ремонтных работ [4]. Поэтому изучение проблематики применения бетонов с повышенной долговечностью в условиях многофакторного воздействия тепла и влаги на бетонные конструкции является актуальным.

Основными элементами, которые подвержены термической деструкции, являются внутренняя и внешняя железобетонные оболочки вытяжной башни градирни (рис.1). Исправление дефектов на внутренней поверхности оболочки требует технологического перерыва в работе градирни, что приводит к частичной приостановке процессов предприятия. В то время как ремонт дефектов на внешней поверхности оболочки возможен без прекращения работы градирни [5, 6].

Специалистами проведены исследования, где в качестве объектов исследования были выбраны три различных типоразмера градирен: маленькая, средняя и большая [1, 4, 7]. Маленькая градирня имеет площадь орошения 1500 м², высоту 55,3 м и диаметр 50,03 м. Средняя градирня обладает площадью орошения 2600 м², высотой 74,0 м и диаметром 63,67 м. Большая градирня имеет площадь орошения 4400 м², высоту 90,0 м и диаметр 76,49 м. Ремонт оболочки монолитной железобетонной градирни требует проведения целого ряда сложных технических мероприятий, направленных на поддержание или восстановление исходных эксплуатационных характеристик как отдельных элементов конструкции, так и всей градирни в целом [7].



Рис.1. Фото железобетонной оболочки вытяжной башни градирни с признаками термической деструкции. Заимствовано из [9].

Для восстановления поверхностей железобетонной монолитной оболочек градирни предложено использовать два варианта.

Первый вариант включает в себя ремонт внешних и внутренних поверхностей оболочки с применением ремонтных смесей, а также создание антикоррозионного покрытия методом окрашивания и очистку основания пескоструйным методом.

Второй вариант предусматривает ремонт внешних и внутренних поверхностей оболочки с применением технологии торкретирования, создание антикоррозионного покрытия методом окрашивания и очистку поверхности гидроструйным способом.

На основе анализа технологической структуры ремонтных работ построены графики, отражающие технико-экономические показатели восстановления поверхности оболочки железобетонной градирни в

зависимости от площади орошения (рис.2).

Из анализа графиков видно, что стоимость ремонта градирен различных типоразмеров варьируется: от 19,62 до 22,15 миллионов рублей для малых, от 33,21 до 37,50 миллионов рублей для средних и от 49,37 до 55,75 миллионов рублей для больших градирен, в зависимости от выбранного варианта ремонтных работ. Несмотря на высокую стоимость, срок нормальной эксплуатации градирен после восстановления ограничивается 3–4 годами [8, 9].

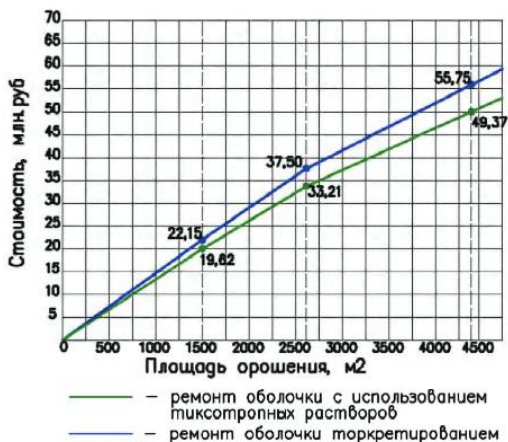


Рис. 2. Техничко-экономические показатели восстановления поверхности оболочки железобетонной градири в зависимости от площади орошения. Заимствовано из [1].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о необходимости дальнейших исследований, направленных на изучение механизма деструкции бетона в условиях повышенных температурах и влажности. Данные исследования помогут разработать меры по повышению долговечности конструкций и, таким образом, существенно сэкономят материальные ресурсы на этапах эксплуатации бетонных конструкций градирен за счет своевременного предупреждения разрушений бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазур В.А., Куценко Т.Н., Петров С.В. Выбор рационального метода ремонта монолитных железобетонных оболочек градирен с учетом использования различных средств подмащивания // Вестник

Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. № 6. С. 11-18.

2. Чашин Д.Ю., Тольпин Д.А. Проблемы деструкции бетона в условиях повышенных технологических температур и влажности // Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ, 2023. С. 94-98.

3. Основные причины и способы устранения повреждений бетонных поверхностей градирен // URL: <https://revolution.allbest.ru> (дата обращения: 10.05.2024).

4. Пономаренко, В. С. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев; под общей редакцией В. С. Пономаренко. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с. – Текст: непосредственный.

5. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей: монография. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. - 321 с.

6. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М., Хахалева Е.Н. Оптимизация процесса выбора типа цемента для изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2018. №3. С.18-23.

7. Реконструкция промышленных предприятий: в 2 томах, том 1 / В.Д. Топчий, Р. А. Гребенник, В. Г. Клименко [и др.]; под редакцией В. Д. Топчия, Р. А. Гребеника. – Москва: Стройиздат, 1990. – 591 с., ил. – Текст: непосредственный.

8. Калатузов В.А. Проблемы обеспечения надежности железобетонных вытяжных башен градирен // Энерго-INFO..№10(33), октябрь 2009.

9. Калатузов В.А. Проблемы эксплуатации железобетонных вытяжных башен градирен // Энерго-INFO..№10(33), октябрь 2009.

Чернуха Д.Г.

*Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЛИТА И ВЕРМИКУЛИТА

В ходе анализа физико-механических характеристик безобжиговых теплоизоляционных изделий на основе вермикулита выявлено, что прочность изделий повышается с увеличением расхода химических реагентов, а увеличивать расход химических реагентов возможно в пределах водоудерживающей способности вермикулита-сырца. Для повышения водоудерживающей способности сырьевой смеси и снижения средней плотности изделий целесообразно вводить в смесь различные добавки с высокой удельной поверхностью, например, вспученный перлит [1].

Выбор вспученного перлита в качестве добавки для получения безобжиговых теплоизоляционных изделий на основе вермикулитового концентрата и химического реагента обусловлен высокой способностью вспученного перлита поглощать жидкую фазу, а также низкой теплопроводностью, невысокой насыпной плотностью и негорючестью [2].

Взаимодействие перлита с вермикулитом в строительных материалах может привести к созданию композитов с улучшенными свойствами. Вот некоторые аспекты, которые могут быть улучшены благодаря такому взаимодействию:

Теплоизоляция: Комбинация перлита и вермикулита может улучшить теплоизоляционные свойства материала, так как оба компонента обладают низкой теплопроводностью.

Звукоизоляция: Эти материалы могут поглощать звук, что делает их полезными для звукоизоляционных приложений.

Механическая прочность: Смешивание перлита и вермикулита может увеличить прочность материала, делая его более устойчивым к механическим нагрузкам.

Огнестойкость: Вермикулит обладает хорошими огнестойкими свойствами, и его добавление может повысить уровень огнестойкости композитного материала.

Водостойкость и долговечность: Правильное соотношение перлита и вермикулита может способствовать улучшению водостойкости и долговечности материала.

Вспученный вермикулит и вспученный перлит являются универсальными заполнителями и позволяют получать материалы многоцелевого назначения. В зависимости от количества и качества воздухововлекающей добавки, режимов работы аэросмесителя, степени поризации и количества введенного вспученного заполнителя можно получить легкие аэрированные бетоны с широким диапазоном средней плотности и пористости [3].

Для достижения оптимальных результатов взаимодействия вспученного вермикулита и перлита, важно тщательно контролировать процесс смешивания (средства струкрур) и применять соответствующие методы наномодификации, чтобы обеспечить равномерное распределение и хорошее сцепление между частицами [4].

Методы наномодификации, применяемые для взаимодействия перлита с вермикулитом, могут включать следующие подходы:

1. Физическая модификация:

- Использование механического давления или ультразвуковой обработки для изменения структуры материалов на наноуровне.
- Применение высоких температур и давления для создания новых наноструктур.

2. Химическая модификация:

- Введение функциональных групп или молекул, которые могут улучшить взаимодействие между перлитом и вермикулитом.
- Использование катализаторов для ускорения химических реакций на поверхности материалов.

3. Создание композитных материалов:

- Синтез нанокompозитов, в которых перлит и вермикулит сочетаются с другими наноматериалами для улучшения их свойств.
- Применение полимерных связующих для улучшения адгезии между перлитом и вермикулитом.

4. Поверхностная модификация:

- Нанесение тонких пленок или покрытий на поверхность перлита и вермикулита для изменения их взаимодействия.
- Использование самоорганизующихся монослоев для создания упорядоченных наноструктур.

5. Использование наночастиц:

- Введение наночастиц металлов или оксидов для изменения электрических или тепловых свойств материалов.

- Создание гибридных наноструктур с уникальными свойствами, сочетающими характеристики обоих материалов.

Эти методы могут быть использованы отдельно или в комбинации для достижения желаемых свойств наномодифицированных строительных материалов на основе перлита и вермикулита. Разработка таких материалов требует тщательного планирования и контроля процессов на всех этапах производства.

Таблица – Сравнение физико-механических свойств изделий на основе вермикулита-сырца и вермикулита с добавкой перлита.

Соотношение компонентов вермикулит-сырец – перлит, по объему	Соотношение компонентов вермикулит-сырец – химические реагенты, по объему	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при изгибе МПа
2:1	1:1	410	0.54
1.5:1	1:1	420	0.63
1:1	1:1	435	0.72
1:1.5	1:1	450	0.73
Без добавки перлита	1,5:1	390	0.45
Без добавки перлита	1,5:1	450	0.62

Таким образом, установлен оптимальный расход компонентов для вермикулино-перлитовых изделий: соотношение компонентов вермикулит-сырец – перлит 1,5:1 – 1:1 по объему, вермикулит-сырец - химические реагенты 1:1 по объему.

Использование вспученного перлита в качестве добавки при производстве безобжиговых теплоизоляционных изделий на основе вермикулита и химических реагентов позволяет снизить среднюю плотность изделий на 7-10 % по сравнению с аналогичным показателем изделий без добавки перлита, без снижения прочностных показателей [1].

Суммируя возможности вспученного перлита и перлистых материалов, можно утверждать, что его комплексное использование в строительстве будет способствовать решению сложной проблемы энергосбережения как в новом строительстве, так и при реконструкции зданий [5].

Совместное использование перлита и вермикулита в строительстве приводит к созданию материалов с улучшенными характеристиками, такими как: теплоизоляция, звукоизоляция, огнестойкость, водостойкость, легкость и прочность, а также экологичность, за счет того, что оба материала являются натуральными и экологически безопасными, что делает их привлекательными для «зеленого» строительства.

Все это подчеркивает потенциал совместного использования перлита и вермикулита в разработке новых строительных материалов и технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кольцов А.И. Безобжиговые теплоизоляционные изделия из вермикулита // СПбГАСУ. – 2005. – С. 47.
2. Овчаренко Е.Г. Перспективы производства и применения вспученного перлита Текст. // Строительные материалы. – 1999. – №2. – С. 14–15.
3. Тихонов Ю.М. Аэрированные легкие и тепло-огнеозащитные бетоны и растворы с применением вспученного вермикулита и перлита и изделия на их основе // СПбГАСУ. – 2005. – С. 272-274.
4. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. – 2014. – №3 Ч. 2. – С.267-272.
5. Набиевский, С.Ю. Теплоэффективные строительные материалы на основе перлита // Строительные материалы. – 2011. – № 6. – С. 52–54.

УДК 666.

Шат-Ина Л.Г.

*Научный руководитель: Чернышева Н.В., д-р техн наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В АБХАЗИИ

Абхазия – уникальный регион, богатый историей и культурными традициями. Строительство как и архитектура этого региона отличается особым стилем, который является неотъемлемой частью абхазской культуры. Одним из направлений развития промышленности Абхазии

является производство строительных материалов. Наличие месторождений полезных ископаемых в горной части Абхазии (доломит, известняк, гранит, мрамор, мел, туф и др.) благоприятно для развертывания производства строительных и отделочных материалов [1].

С давних времен одним из отличительных признаков абхазского строительства является использование традиционных материалов. Страна издавна славится обилием природного камня, поэтому он является основным строительным материалом, о чем свидетельствует Великая Абхазская стена (рис.1).



Рис. 1 – Фрагмент Великой Абхазской Стены

По всей протяженности (160 км) она занимает третье место после Великой Китайской стены и Горганской стены в Иране [2]. Ее также называют Великой Абхазской стеной. Строилась она из крупных камней, скрепленных известковым раствором.

Известно, что еще в III–II тысячелетии до н.э. [3] из огромных известняковых плит строились монументальные сооружения – дольмены (наземные погребальные сооружения (рис. 2).



Рис.2 – Сохранившееся монументальное сооружение в Абхазии

В настоящее время природный камень также используется для возведения ограждающих конструкций зданий, так и для внутренней отделки. Он придает зданиям прочность и надежность, а также создает уникальный эстетический вид.

Абхазия известна своей обширной деревообрабатывающей промышленностью, предоставляющей широкий спектр деревянных материалов и изделий, которые широко используют как строительный материал для домов, бань, веранд и др. Деревянные конструкции в строительстве имеют свои отличительные черты, сочетая в себе эстетичность и функциональность. Дерево (дуб, кедр и др.) используется не только в каркасе зданий, но и для создания декоративных элементов, мебели и других деталей. Например, «Гагрипш» - легендарное здание в Абхазии [4], построенное полностью из дерева в 1902 году (рис.3).



Рис. 3 - Деревянное здание «Гагрипш» в Гаграх

Самым популярным строительным материалом является кирпич (керамический, силикатный, полнотельный) который используют для возведения зданий и других различных сооружений.

Для создания несущих и конструктивных элементов зданий широко используются металлические конструкции, состоящие из стальных или алюминиевых профилей, соединенных между собой сваркой, болтами или другими методами крепления.

Для кладки стен, ограждений и перекрытия широко применяют керамические блоки, изготовленные путем формования и обжига глины. в жилом и промышленном строительстве, в основном малоэтажных зданий.

В современном строительстве Абхазии ведущее место занимает бетон и железобетон, используемый для возведения фундаментов, стен, колонн и других конструкций. В качестве крупного и мелкого заполнителя используются местные пески и гравийно-песчаные смеси.

В то же время Абхазия испытывает дефицит в таких строительных материалах, как цемент и гипс, которые импортируются из России и Турции. Поэтому разработка композиционных вяжущих веществ и бетонов на их основе с использованием местных сырьевых материалов является актуальным.

Для строительства малоэтажных жилых и производственных объектов, при изготовлении бетонных изделий, в качестве замены энергоемкого портландцемента применяются эффективные вяжущие нового поколения КГВ-композиционные гипсовые вяжущие.

В качестве компонентов КГВ рекомендуется использовать вяжущие вещества, производимые в Краснодарском крае – цемент (компания «Новоросцемент») и гипсовое вяжущее (группа компаний «Минерал-Хорс»: ООО «Минерал-Хорс», ООО «Максимум», ООО «Гипспром»). Продукция группы компаний «Минерал-Хорс» предназначена в первую очередь преимущественно для внутреннего рынка и реализуется по сей день на всей территории Российской Федерации, а также в Абхазии. Она соответствует требованиям российских и международных стандартов качества. В качестве активных минеральных добавок рекомендуется использовать тонкодисперсное кварцсодержащее местное сырье.

Эффективность производства строительных материалов на основе КГВ заключается в следующем: ускорение процесса строительства; энергосбережение; широкое применение кладочных растворов, сухих строительных смесей. Для изготовления строительных стеновых изделий, деталей и конструкции

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абхазы / Отв. ред. Ю.Д. Анчабадзе, Ю.Г. Аргун ; Ин-т этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН ; Абхазский ин-т гуманитарных исследований им. Д.И. Гулиа. 2-е изд., исправленное. М.: Наука, 2012. - 547 с
2. Адлейба А. К. К истории культурного строительства в Абхазии, 1921—1937. Сухуми, 1961.
3. Маляя Е.М., Акаба Л.Х. Одежда и жилище абхазов : Изд-во Сухум 1982.
4. Аджинджал, И. Жилища абхазов [Текст]. - Сухуми : Абгиз, 1957. - 127 с. : ил.; 23 см.
5. Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса// Вестник БГТУ им.В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 27–34.
6. Ферронская А.В. Гипс в малоэтажном строительстве. М.: Изд-во АСВ. 2008. 240 с.

Оглавление

Аль-Мамури Саад Кхалил Шаид

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ РАСТВОРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ВЕРМИКУЛИТА 3

Братчун В.И., Леонов Н.С., Размыслова Е.Д.

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ
АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНОВ
МИКРОАРМИРОВАННЫХ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВЫМИ
ВОЛОКНАМИ 8

Бублик В.В.

ОЦЕНКА СОВМЕСТИМОСТИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ С
ВЯЖУЩИМ..... 12

Газиев Х.Х., Кикалишвили Е.Н. Тарасов И.А.

СМЕШЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ГОМОГЕННОЙ МАССЫ..... 16

Газиев Х.Х., Кикалишвили Е.Н. Тарасов И.А.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ НА ПОВЫШЕНИЕ
АДСОРБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ..... 21

Газиев Х.Х., Чжан Сюань

ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЯ
КИТАЯ..... 25

Губарев С.А., Лютенко А.О.

ОСОБЕННОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД..... 29

Данилов Д.Ю.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ БЕТОНА 33

Данилов Д.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ
МОДИФИЦИРОВАНИЯ БЕТОНА 37

Денисова А.П., Яремчук М.В.

НАНОДИСПЕРСНЫЙ ПОРОШОК ЗОЛЯ КРЕМНЕЗЕМА - ПУЦЦОЛАНОВАЯ ДОБАВКА К СТЕКЛОЩЕЛОЧНОМУ ВЯЖУЩЕМУ	40
Дикарев А.Н., Богданова А.А., Ряпухин А.Н.	
СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	44
Дудченко В.А.	
ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ	47
Иванюк Д.М., Вашева С.В.	
ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАЗРУШЕННЫХ ГОРОДОВ	50
Иванюк Д.М., Милькин А.С., Вашева С.В.	
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	54
Игноватова А.О., Журавлева Е.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАВНОВЕСНОГО СОСТАВА РЕАКЦИОННОСПОСОБНОЙ СМЕСИ Ti-C-W	60
Капуста А.С., Рулев Д.А.	
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ПЕНОБЕТОНАХ	63
Комиссарова М.С., Журавлева Е.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ УТРАСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФТОРПОЛИМЕРОМ СМЕСИ Ti2CW	68
Левицкая К.М., Бухтияров И.Ю.	
СУПЕРСУЛЬФАТИРОВАННЫЙ ЦЕМЕНТ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ	73
Лукьянова Е.Ю.	
ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА	77
Рулев Д.А., Бондаренко Д.О.	

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	82
Соловьёв С.В., Яремчук М.В., Богун Н.В.	
КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ «ЗЕЛЁНЫХ» БИОСИСТЕМ	86
Цаль-Цалко А.С.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ.....	90
Цаль-Цалко А.С.	
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ И ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ	93
Чашин Д.Ю.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСХОДОВ ПО РЕМОНТУ ВЫТЯЖНЫХ БАШЕН ГРАДИРЕН.....	96
Чернуха Д.Г.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЛИТА И ВЕРМИКУЛИТА.....	100
Шат-Ипа Л.Г.	
МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В АБХАЗИИ	103