

**НОВОСИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НОВОСИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**



**ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДОЛОГИИ
И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**



**Сборник научных трудов
по материалам национальной
Научно-технической конференции
с международным участием**

НОВОСИБИРСК - 2021

Сборник научных трудов «ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ» сформирован по материалам Национальной научно-технической конференции с Международным участием, состоявшейся 16-19 февраля 2021 года в Новосибирском государственном аграрном университете.

Организаторами данной конференции явились: Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Российская академия естественных наук, научно-технический и производственный журнал «СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ».

При подготовке конференции и формировании сборника научных трудов приняли участие более ста научных и производственных работников России, Украины, Узбекистана, Казахстана, Литвы, Молдовы, Монголии, Германии, Чехии и других стран. Основные вопросы и приведенные результаты исследований направлены на решение всей тематики конференции - комплексное рассмотрение новых эффективных методов исследования физико-химических процессов при получении строительных материалов, позволяющим улучшить качество изделий и активно применять местное сырье и отходы производства. Внедрение инновационных разработок и ресурсосберегающих технологий в современном строительном материаловедении обеспечит эффективность строительно-технологического комплекса. С этих позиций все работы представляют определенный интерес для руководителей и специалистов в области строительства, а также научных работников, аспирантов и студентов.

Ответственный редактор

академик РАЕН, д.т.н., профессор Пичугин А.П.

Технический редактор

Онищенко Н.В.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

д.т.н., профессор Бурученко А.Е. (Красноярск)

д.т.н., профессор Хозин В.Г. (Казань)

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Сборник научных трудов «ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ» сформирован по материалам очно-заочной Национальной научно-технической конференции с Международным участием, организованной Новосибирским государственным аграрным университетом совместно с Российской академией естественных наук, Академией проблем качества, научно-техническим и производственным журналом «Строительные материалы» и Сибирским НИИ строительных материалов и новых технологий. При подготовке конференции и формировании сборника научных трудов приняли участие более ста пятидесяти научных и производственных работников России, Украины, Израиля, Кыргызстана, Казахстана, Молдовы, Монголии, Германии, Чехии и других стран.

В сборнике нашли отражение статьи, объединенные по следующей тематике:

1. Теоретические и методологические вопросы развития науки в области управления качеством строительных материалов.
2. Физико-химические исследования процессов, обеспечивающих эффективные показатели качества композиционных материалов.
3. Пути совершенствования оценки качества материалов и технологических решений в строительстве.
4. Экономико-организационные вопросы внедрения новых методов и технологий в строительстве.

По каждому из предложенных направлений представлены доклады, статьи и результаты проведенных исследований. По первому направлению следует отметить работы, выполненные в научных школах Ростова-на-Дону (профессоров Котляр В.Д, Моргун Л.В.), Иваново (профессора Румянцевой В.Е) Томска (профессоров Кудяков А.И., Копаницы Н.О.), Красноярска (профессор Бурученко А.Е.), Барнаула (профессор Козлова В.К.), Новосибирска (профессор Ильина Л.В., профессор Ларичкин В.В., профессор Пичугин А.П. и др.), Новокузнецка (профессор Столбоушкин А.Ю.) и др.

Физико-химические исследования, обеспечивающие определенный эффект в материаловедении и ресурсосберегающих технологиях отмечены в работах профессора Скрипкюнаса, (Вильнюс, Литва), профессора Пичугина А.П., профессора Хританкова В.Ф. и др. (Новосибирск), профессора Овачаренко Г.И., профессора Низиной Т.А. (Саранск), профессора Ляшенко Т.В. (Одесса) и др.

Интересный опыт изучения и внедрения наноразмерных добавок с целью усиления материалов, изделий и конструкций. Новые направления научного и технологического

обеспечения представлены профессором научными коллективами Москвы, Твери, Иваново, Ростова-на-Дону, Новосибирска и другими исследовательскими школами, а также Одесской государственной академией строительства и архитектуры. (Украины).

Интересен опыт использования традиционных природных стеновых материалов в жилой и общественной застройке предложены коллективами Краснодара, специалистами Казахстана, Монголии, новосибирска и др., в которых раскрывают особенности применения новых проектных и технологических решений при использовании уникальных материалов в современном строительстве. Особо следует отметить новые керамические материалы и технологии, разработанные Донским техническим университетом под руководством профессора В.Д.Котляра.

Применению нанодобавок, совершенствованию приемов изучения новых строительных материалов, в том числе и на основе местного сырья, и отходов производства, а также решению вопросов по обеспечению нормативной базы и экономико-организационных вопросов внедрения эффективных технологий в строительном комплексе посвящены работы научных университетских лабораторий и научно-проектных организаций Москвы, Новосибирска, Красноярска, Томска, Одессы, Краснодара и др. городов.

Следует отметить, что большинство рассматриваемых вопросов и исследований направлены на решение главной проблемы, поставленной на Национальной конференции, новым технологиям в строительном материаловедении, эффективному внедрению ресурсосберегающих процессов в современном строительном-технологическом комплексе. С этих позиций все работы представляют значительный интерес для широкого круга специалистов, научных работников, студентов, аспирантов, работников проектных организаций и производства.

Ответственный редактор

ПРИМЕНЕНИЕ ВСПЕНЕННЫХ БИТУМОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РЕСПУБЛИКЕ КАРАКАЛПАКСТАН

П.У. Абдикадиров

Республика Узбекистан.

Аннотация. В статье представлен исследуемый проект, останавливающий процесс разрушения и продлевающий срок службы старых асфальтобетонных покрытий, на которых появились признаки износа в виде трещин, шелушения, выкрашивания и другие.

Ключевые слова: автомобильные дороги, асфальтобетон, органические вяжущие, битум, вспененный битум.

Annotation. The article provides a study project that stops the process of destruction and making the service life of old asphalt concrete pavements, on which signs of wear have appeared in the form of cracks, peeling, chipping and others.

Key words: highways, asphalt concrete, organic binders, bitumen, foamed bitumen.

Дорожное строительство требует огромного количества строительных материалов. Особые трудности строительных организаций связаны с получением остродефицитных органических вяжущих материалов и прежде всего вязких нефтяных битумов, необходимых для строительства автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями.

Поэтому в современных условиях в области производства дорожно-строительных материалов большое значение имеет внедрение новых прогрессивных способов приготовления асфальтобетонных смесей, обеспечивающих требуемое количество готовой продукции при снижениях энергоемкости, трудоемкости и материалоемкости технологических процессов.

Менее известны способы, основанные на использовании вспененных битумов. Вяжущие в вспененном состоянии характеризуются большой поверхностной энергией, малой вязкостью и, следовательно, высокой активностью при взаимодействиях с минеральными материалами (щебень, песок).

При изготовлении асфальтобетонных смесей вспененного битума во время перемешивания каменного материала с вяжущим обычно содержит не более 20-30% газовой фазы. Поэтому, при описании вяжущего в таком состоянии, авторы используют термин «вспененный битум».

В тех случаях, когда рассматривают битум с объемным содержанием газовой составляющей более 50 процентов, применяют термин «Битумная пена». Для получения вспененных битумов используются битум в жидком или нагретый до жидкого состояния и вода или пар. При взаимодействии битума и воды битум вспенивается. [1, с.4]

Настоящий проект является по существу первой попыткой изложения вопросов применения вспененных битумов в дорожно-строительной практике.

Современный опыт приготовления асфальтобетонных смесей и укрепление скелетных материалов на основе вспененных битумов свидетельствует о существенных преимуществах такого способа производства работ.

При применении вспененных вяжущих уменьшается расход битума (до 10 % массы вяжущего) и время перемешивания материалов (на 20-25%), что позволяет рассматривать этот способ как материала и энергосберегающую технологию и увеличении приготовления асфальтобетонных и битумо-минеральных смесей.

При этом способе имеется реальная возможность существенно уменьшить температуру нагрева вяжущего и минеральных материалов, что может обеспечить не только сокращение расхода топлива, но и увеличение продолжительности межремонтных сроков эксплуатации дорог с асфальтобетонными покрытиями. Вспенивание битума осуществлялось паром и водой. При вспенивании объем битума увеличивался в 15-20 раз. [1, с. 5]

Более широкие работы по развитию технологии проводились в США и Австралии в 60-70 годах.

В критическом обзоре опыт применения вспененных битумов в дорожном строительстве.

Позднее был разработан способ вспенивания путем введения в поток горячего битума холодной воды. Вода вводилась в специальную емкость, в которой уже находился битум. Битум при контакте с водой вспенивался и выходил из ёмкости через ряд сопел. Расход битума был постоянным, а расход воды регулировался с помощью запорного вентиля. Примерно наибольшей эффект достигался при введении в битум 1-2 % воды. Наблюдения за опытными участками дорожных одежд показали хорошие результаты.

В 70-х годах в Австралии в большом объеме применялись вспененные битумы для обработки щебня с последующим устройством из него оснований дорожных одежд. Этот материал называли пеноасфальт.

В 70-80 годах проводились работы по приготовлении смесей на основе песка, гравия и щебня. С использованием вспененных битумов приготовление холодных и горячих смесей в стационарных смесителях периодического и непрерывного действия.

Установлено, что холодные смеси можно готовить с влажным минеральным заполнителем.

Такие смеси длительное время не слеживаются при хранении в штабелях. Приготовление смесей с использованием вспененных битумов требует меньше битума и затрат энергии. Отвечает экономическим требованиям.

Лабораторные и полевые испытания показали, что вспененные битумы могут применяться при холодной регенерации асфальтобетонных покрытий, а битумо-минеральные смеси, полученные с ними, обладают высокими показателями физико-механических свойств. Из них можно устраивать верхние слои оснований и покрытия автомобильных дорог. [1, с. 19]

В связи с широким применением этой смеси на вспененных битумах в разных странах возникла необходимость разработать в Республике Каракалпакстан «Технические условия» стандартные методы их испытаний с учётом особенностей свойств и структуры этого материала.

Таким образом, перспективы использования вспененных вяжущих в дорожном строительстве, а также в смежных областях производства весьма широким и вызывают повышенный интерес к этой области исследования.

На настоящее время в распоряжении у заявителя имеется:

– Сеть автомобильных дорог по Республике Каракалпакстан;

Основная цель предлагаемого проекта направлена на решение следующих задач:

Разработать методы для приготовления асфальтобетонных смесей на вспененных битумах и образцов из них в лабораторных условиях. [2, с. 24]. Определить основные достоинства технологии приготовления асфальтобетонных смесей, а именно более равномерное распределение вяжущего в минеральном материале (в процессе перемешивания, более высокие показатели) физико-механических свойств асфальтобетона, экономия битума и другие свойства.

Разработать в Республике Каракалпакстан «Технические условия» стандартные методы их испытаний с учётом особенностей свойств и структуры этого материала.

Предложение альтернативного варианта приготовления асфальтобетонных смесей и укрепление скелетных материалов на основе вспененных битумов для городских условий широко применяемого в зарубежье.

Разработать экономическую эффективность технологии приготовления асфальтобетонных смесей на вспененных битумах.

- сбор и анализ имеющихся материалов по приготовлению асфальтобетонных смесей и укрепление скелетных материалов;

- Испытания образцов битума на вспененном состоянии в лабораторных условиях;

- Приготовление асфальто-бетонных смесей с применением вспененных битумов;
- Испытания образцов физико-механических свойств асфальто-бетонных смесей.
- Приготовление асфальто-бетонных смесей в полевых условиях непосредственно на объекте методом смешения на дороге. [3, с. 9]

Исследования выполненных объемов работ на физико-механических свойств асфальто-бетонных смесей.

установление параметры асфальтобетонных смесей на вспененных битумах;

- Изучение температуры при строительстве автомобильных дорог;
- разработка мероприятий по реконструкции автомобильных дорог, разработка предложений направленных асфальтобетонных смесей, на вспененных битумах.

а) Изыскания возможности оптимальной вариант асфальтобетонных смесей на вспененных битумах.

б) Предложить альтернативного варианта приготовления асфальтобетонных смесей и укрепление скелетных материалов.

- в) Разработать предложения по выбору конструкции асфальтобетонных смесей, на вспененных битумах;

Технико-экономическая эффективность применения вспененных битумов.

Экономическая эффективность технологии приготовления асфальтобетонных смесей на вспененных битумах достигается за счёт, при сокращении времени перемешивания смеси на дороги, снижения расхода битума, снижения энергетических затрат на нагрев и высушивания исходных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Першин.М.Н, Баринов.Е.Н Вспененный битумы в дорожном строительстве Москва Транспорт 1989 -80 с.
2. Самойлов.В.И., Оспелов В.М. Способ приготовления горящих асфальтобетонных смесей и устройства для его осуществления. Москва 1980 -93 с.
3. Персман.М.Н., Баринов Е.М. Красных Л.Г. Асфальто-бетонных смесей на вспененных битумах Транспорт Москва 1986 -88 с

ПРИНЦИПЫ РАСЧЁТА ДЕРЕВЯННЫХ МОСТОВЫХ ОПОР

М.О.Батин, В.И.Грохотов

г.Новосибирск, Россия

В сельской местности для обеспечения движения через овраги и небольшие речки постоянно требуется устройство мостовых переходов. Особенно остро этот вопрос встает в далеких от магистралей лесных районах. В этом случае устраиваются мосты из древесины, т.е. все элементы мостового перехода, включая опоры, выполняются из круглого лесоматериала.

Для расчёта элементов опор (насадки, сваи) необходимо определить давления, передающиеся прогонами на насадки и насадками на сваи. В мостах с сосредоточенными прогнозами давления, передаваемые насадке прогонами, определяется следующим путём.

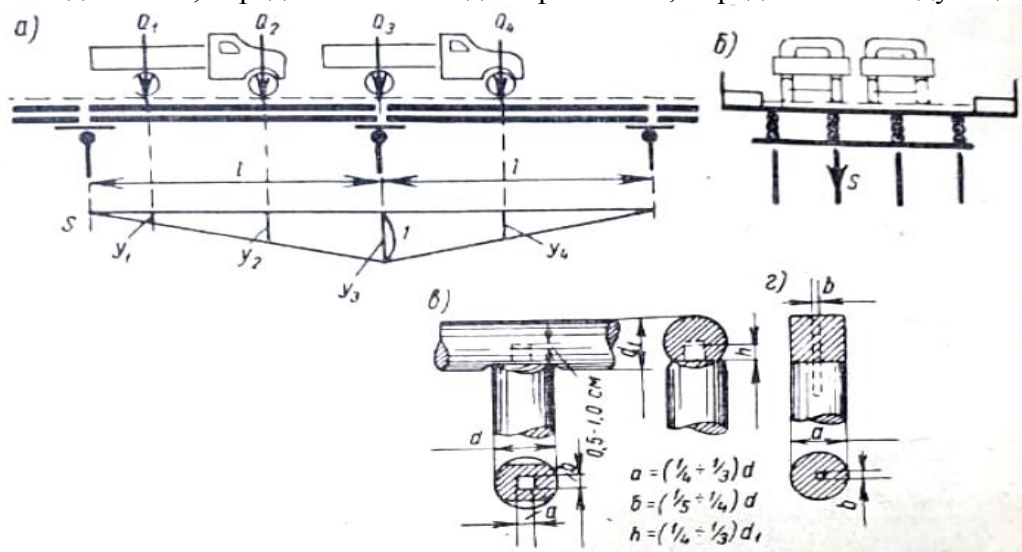


Рисунок 1- Схемы к расчёту сопряжения насадки со свай в пролетном строении с сосредоточенными прогнонами.

Сначала загружают линию влияния давления S , передающегося на опору (рис. 1); наибольшее расчётное давление, передаваемое одной нитью прогонов, будет:

$$S = (n_n g_n + n_{\text{пост}} g) l + n_{\text{вр}} K \Sigma Q y$$

где g_n – погонная нагрузка прогона от веса верхнего настила;

g – погонная нагрузка прогона от веса остальных частей пролетного строения;

K – коэффициент поперечной передачи для рассматриваемого прогона (рис.1);

$n_n, n_{\text{пост}}, n_{\text{вр}}$ – коэффициенты перегрузки.

Давление сосредоточенных прогонов на насадку передаётся последней непосредственно на сваи. Поэтому сама насадка в мостах с сосредоточенными прогонами работает только на смятие, причём в месте опирания её на сваи расчётная площадь смятия обычно оказывается меньшей. Поэтому расчёт насадки в таких мостах сводится к проверке на смятие места её сопряжения со свай.

Условие прочности сопряжения на смятие:

$$\frac{S}{F} \leq R_{\text{см}}$$

где F – площадь смятия за вычетом шипа или штыря (рис.1);

$R_{\text{см}}$ – расчетное сопротивление на смятие того из соприкасающихся элементов, для которого смятие опаснее; для сопряжения сваи с насадкой всегда опаснее смятие насадки, происходящее поперек волокон.

Задавшись размерами шипа или штыря, зная расчетное сопротивление R_{cm} , можно определить из условия прочности насадки необходимый диаметр сваи. Диаметр насадки обычно принимают несколько большим диаметра сваи.

В мостах со сближенными прогнозами опорные давления передаются насадками и вызывают их работу на изгиб. Сделав продольное нагружение прогонов (см. рис. 1), получим величину давления, передаваемого каждым рядом колес на опоры:

$$S_K = (n_n g_n + n_{пост} g) l + n_{вр} \frac{1}{2} \Sigma Q y$$

Это давление получено без упругого распределения давлений колес временной нагрузки, которое будет иметь место для осей Q_1, Q_2, Q_4 , располагающихся в пределах пролетов прогонов.

Насадка работает как неразрезная балка, лежащая на опорах (сваях), которые могут иметь податливость.

Для расчёта надо определить в ней отрицательный и положительный изгибающие моменты. Отрицательный момент над сваяй (рис. 43, а) в запас прочности можно определить, как для неразрезанной балки без учёта податливости её опор, загружая давлениями S_K линию влияния $M_{оп}$; тогда расчётный отрицательный момент в насадке будет:

$$M_{оп} = \Sigma S_K z$$

Положительный изгибающий момент насадки может быть определен, как для простой балки пролетом b (рис. 2); влияние неразрезности может быть учтено коэффициентом 0,7. Тогда расчетный положительный момент в насадке $M_{ср}$ для наиболее опасного нагружения линии влияния будет:

$$M_{ср} = 0,7 \Sigma S_K z$$

Аналогично может быть получено и наибольшее давление на сваю S при соответствующем поперечном расположении нагрузки (рис. 2):

$$S = 1,15 \Sigma S_K z$$

где 1,15 – коэффициент, приближенно учитывающий увеличение давления на сваю вследствие неразрезности насадки.

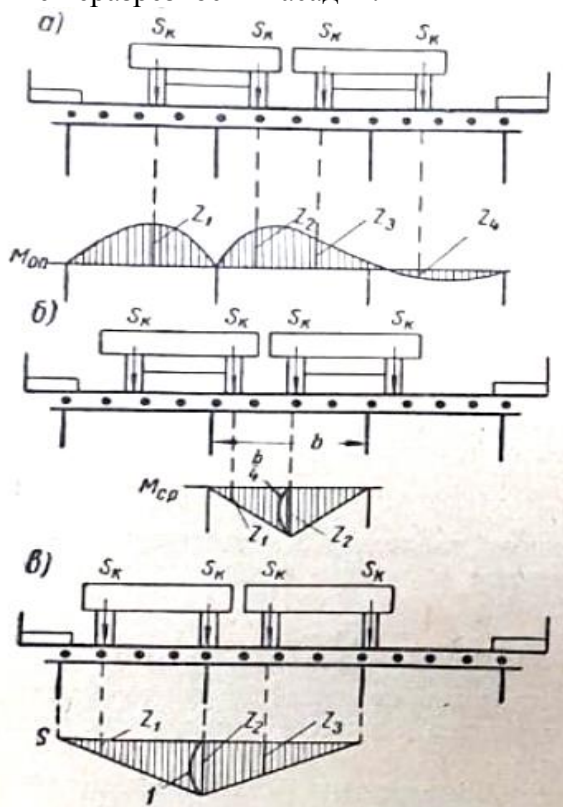


Рисунок 2 - Линии влияния изгибающих моментов в насадке и давлений на сваю при сближенных прогонах.

Неучет упругого распределения давлений колес тех осей, которые располагаются в пределах пролетов прогонов, не даёт существенных погрешностей и, как правило, идет в запас прочности. Если всё же учитывать их упругое распределение, то необходимо вначале определить давления, передающиеся на отдельные прогоны от колес каждого ряда осей Q_1, Q_2, Q_4 . Если для осей Q_1 давления, передающиеся отдельным прогонам с учётом упругого распределения, обозначить P_{11}, P_{12}, P_{1mk} , то полные давления отдельных прогонов на насадки получим как опорные реакции прогонов. Так, для m -го прогона опорное давление на посадку будет:

$$P_m = (n_n g_n + n_{\text{пост}} g) l + n_{\text{вр}} (P_{1m} y_1 + P_{2m} y_2 + P_{3m} y_3 + P_{4m} y_4)$$

где давление P_{3m} для осей Q_3 , располагающихся прямо над опорой, определяют без учёта упругого распределения. При проверке прочности насадки нужно учитывать уменьшение её сечения подтесками, а для сечения над сваями – также и ослабление шипом.

Расчет сваи заключается в проверке прочности её на сжатие с учетом продольного изгиба. Зная наибольшее давление S , действующее на сваю от постоянной и временной нагрузок, проверяют её на сжатие с учётом продольного изгиба по формуле:

$$\frac{S}{\varphi F_{\text{бр}}} \leq R_c$$

где $F_{\text{бр}}$ - полная площадь (брутто) сечения свай;

φ - коэффициент продольного изгиба;

R_c - расчетное сопротивление на сжатие древесины свай.

Коэффициент продольного изгиба φ зависит от гибкости сжатого элемента

$$\lambda = \frac{l_0}{r}$$

где l_0 - свободная длина сжатого элемента, образующая при продольном изгибе волну;

r - радиус инерции сечения элемента $r = \sqrt{\frac{I_{\text{мин}}}{F}}$, составляющий для круглого сечения

$$r = \frac{d}{4}.$$

Свободную длину сваи в опорах балочных мостов условно принимают равной $3/4$ полной высоты опоры от насадки до грунта при отсутствии стыка наращивания и полной длине от насадки до стыка при наличии его.

При гибкости элемента $\lambda \leq 75$ коэффициент продольного изгиба определяют по формуле:

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2$$

при гибкости $\lambda > 75$ – по формуле:

$$\varphi = \frac{3100}{\lambda^2}$$

Если сжатый элемент имеет большое ослабление сечения, равное или превышающее 25%, то при проверке элемента вместо площади сечения $F_{\text{бр}}$ вводят условную площадь $F = 4/3 F_{\text{нт}}$, где $F_{\text{нт}}$ – площадь ослабленного сечения.

Сваи нужно забивать в грунт на глубин, при которой их несущая способность будет достаточной. Определение несущей способности свай расчетным путём представляет большие трудности вследствие невозможности учесть все особенности условий работы в грунте. Наиболее надежный способ определения несущей способности свай – испытание пробных свай нагрузкой. Однако вследствие трудности организации таких опытов при постройке деревянных мостов таким методом редко удаётся пользоваться. Поэтому несущую способность свай в деревянных мостах чаще всего оценивают по величинам отказа, получающимся при их забивке, а также при забивке пробных свай.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

М.О.Батин, А.П.Пичугин, Л.А.Митина, М.Г.Алешкевич, И.М.Дзю

Новосибирск, Россия

Приведены различные способы модифицирования древесины полимерными композициями. Дана сравнительная оценка акустической сушки древесины, показывающая превосходство её по всем показателям. При осуществлении традиционной сушки часть древесины коробится и растрескивается, но опыт работы в течении ряда лет опытно промышленной установки для акустической сушки древесины показал практически полное отсутствие брака при сушке пиломатериалов.

Ключевые слова: древесина, модифицирование древесины, сушка древесины, полимерсодержащие композиции

NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR WOOD MODIFICATION

M. O. Batin, A. P. Pichugin, L. A. Mitina,

M. G. Oleshkevich, I. M. Dzyu

Novosibirsk, Russia

Annotation

Various methods of modifying wood with polymer compositions are presented. A comparative assessment of acoustic drying of wood is given, showing its superiority in all indicators. When performing traditional drying, some of the wood is warped and cracked, but the experience of working for a number of years of a pilot plant for acoustic drying of wood has shown almost complete absence of defects when drying lumber.

Keywords: wood, wood modification, wood drying, polymer-containing compositions

Свойства древесины лиственных пород, считающихся непригодными для строительства и поэтому не используемых, могут быть значительно улучшены путем модифицирование синтетическими полимерами, низкомолекулярными органическими и минеральными веществами. Сущность модифицирования заключается в том, что натуральную древесину березы, осины, тополя, ольхи пропитывают мономером или низковязким олигомером, которые затем под действием тепла, химических реагентов или ионизирующих излучений переводятся в твердое состояние (отверждаются). Соответственно, методы модифицирования древесины разделяют на термохимический и радиационно-химический, но каждый из них имеет несколько разновидностей. Широко распространенными являются следующие: термомеханическое модифицирование с предварительным пропариванием (нагревом древесины) или без них; с предварительной пропиткой маслами, с наполнением древесины смолами, термохимическое модифицирование, химическое модифицирование древесины ацетилирующими реагентами, радиационно-химическое и др.

При модифицировании древесины используют фенолоальдегидные, аминокальдегидные, полиакриловые, полиэфирные, фурановые, кремнийорганические и другие олигомеры, органические мономеры – метилметакрилат, акридонитрил, стирол, мочевины, а также минеральные вещества – хлорид магния, бишофит, серу, кремнефтористый аммоний. Наиболее часто для промышленного выпуска используют олигомеры – фенолоспирты, водоразбавляемые карбамидные смолы, фурановые олигомеры, для которых разработаны эффективные способы пропитки древесины лиственных пород. Особенность модифицирования заключается в том, что модификатор не просто заполняет свободные пространства, в древесине, а взаимодействует с ее компонентами. В результате

ограничиваются или полностью устраняются набухание, усушка, коробление, растрескивание, загнивание, возгорание и другие отрицательные свойства древесины [1,2].

После модифицирования у материала увеличиваются прочность, твердость, износостойкость, химическое сопротивление, но и сохраняются достаточно невысокая плотность и тепло- звукопроводность материала. Эффект модифицирования во многом зависит от свойств исходной древесины ее породы, строения, влажности, плотности, но не всегда свойства натуральной и модифицированной древесины прямо связаны между собой: например, конечная плотность и прочность не пропорциональны начальным показателям. Отсюда следует, что наибольший эффект модифицирования ожидается в случаях, когда исходным материалом служит древесина с низкими показателями физико-механических свойств, т.е. малоценная древесина мягких лиственных пород, не имеющая пока достаточно широкого технического применения. Этим определяется экономическая эффективность модифицирования [1].

Для модифицирования важными являются: состав и особенности модификатора, способы введения в древесину, реакции отверждения. Кроме того, важным условием для качественного модифицирования древесины является освобождение её от влаги - сушка. Это процесс может осуществляться как в естественных условиях, так и в специальных сушильных камерах с определенными режимами подъемами и спадами температуры. Эффективность существующих способов сушки древесины вызывает много нареканий, т.к. после высушивания материал может растрескиваться, коробиться, изменять свои физико-механические свойства. Кроме того, этот процесс весьма энергозатратен.

В настоящее время разработаны новые технологии, позволяющие существенно повысить качество высушенной древесины и снизить в несколько раз расходы тепловой или электрической энергии.

К таким способам относится акустический метод сушки, который позволяет сушить любые капиллярно-пористые материалы (зерно, овощи, фрукты, древесину, уголь, торф, минерально-органические удобрения, лекарственные препараты и пр.) всех отраслей промышленности и сельского хозяйства, где требуется осушение материалов объемом, измеряемым десятками кубических метров. В отличие от традиционного термического способа, сушка протекает под действием звуковых колебаний высокой интенсивности без повышения температуры осушаемого материала, что позволяет сохранить природно-полезные свойства материала и обеспечить высокое качество и процент выхода товарного продукта.

Проведенные испытания на специальной установке ИТПМ СО РАН доказывают, что при акустической сушке влага может экстрагироваться из осушаемого материала в виде жидкой фазы, минуя фазу парообразования. Этим объясняются уникальные энергетические возможности акустического способа сушки, подтвержденные многочисленными практическими данными. Время сушки за счет создания особых гидродинамических условий на поверхности тела и внутри него значительно сокращено, а в тех случаях, когда осушаемый материал допускает нагрев, то скорость сушки может быть еще выше, в 2, 3 и более раз, и, что характерно, при практически полном отсутствии брака. По совокупности этих параметров эффективность акустической или акустотермической сушки на порядок превышает традиционные методы сушки. Технология акустической сушки прошла апробацию на опытной установке в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН [3,4].

Акустотермическая сушка эффективнее чисто термической по энергопотреблению более чем в четыре раза. При оценке эффективности акустической сушки необходимо учитывать еще и фактор времени. Скорость сушки, которая за счет существенного влияния акустического воздействия на коэффициент диффузии и создания турбулентных потоков на поверхности и некоторых других факторов, значительно увеличивающих унос влаги с поверхности материала, в разы превышает скорость при обычной термической сушке. По совокупности этих факторов акустотермическая сушка на порядок эффективнее термической

сушки. Методику расчета эффективности акустической сушки можно применить для многих капиллярно-пористых материалов.

Для снижения влагосодержания одного кубометра пиломатериалов при использовании традиционного термического способа сушки необходимо не менее 400-700 кВтч энергии и более в зависимости от конкретных условий. Акустический способ требует для этого 50-100 кВтч. Кроме того, традиционный способ сушки требует затрат времени 5-10 раз больше, чем акустический. Сравнительная оценка акустической сушки древесины с любыми другими способами сушки показывает ее превосходство по всем показателям. При осуществлении традиционной сушки часть древесины коробится и растрескивается, но опыт работы в течении ряда лет опытно промышленной установки для акустической сушки древесины показал практически полное отсутствие брака при сушке пиломатериалов [3,4].

Не менее интересными являются новые методы насыщения пористых материалов и веществ жидкостями под действием высокочастотных колебаний или ударных волн. Высокочастотные колебания полости, целиком заполненной жидкостью, при наличии температурной неоднородности могут вызывать регулярные осредненные течения (явление термовибрационной конвекции) [1-3]. Возникающее при этом конвективное движение состоит из двух компонентов – колебаний с частотой вибраций и осредненного течения. Если период колебаний много меньше всех гидродинамических времен, а амплитуда смещения в некотором смысле мала, то может быть применен метод осреднения, который позволяет получить замкнутую систему дифференциальных уравнений для осредненных полей скорости, температуры и давления.

Улучшение качества модифицированной древесины можно добиться при использовании добавок направленного действия, например, растворов углеродных нанотрубок, кремнезоля и пр.

Всё это, в свою очередь, позволяет усовершенствовать процесс модифицирования, ускорив время обработки с нескольких суток или десятков часов до нескольких минут, обеспечивая при этом высокое качество древесины и изделий или конструкций из неё.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пичугин А.П., Батин М.О., Кудряшов А.Ю., Митина Л.А. Деревянные полы повышенной стойкости для производственных сельскохозяйственных зданий. Монография. /Новосибирск, НГАУ, 2017. – 142 с.
2. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е. Строительные материалы из растительного сырья. Монография. /Новосибирск, НГАУ, 2020. – 207 с.
3. Zhilin A.A., Fedorov A.V. Propagation and Reflection of nonequilibrium Shock Waves in Two-Components Media // Proceedings of the 9-th International Conference on Methods of Aerophysical Research, Novosibirsk, IT AM, 1998. Pt. 1. P. 61-66.
4. Жилин А.А., Федоров А.В. Распространение ударных волн в двухфазной смеси с различными давлениями компонентов // ПМТФ, 1999. Т. 40, № 1. С. 55-63.

СВОЙСТВА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА, ТВЕРДЕВШЕГО В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

А.Ф.Бернацкий

Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследования свойств и фазового состава глиноземистого цемента, твердевшего в широком интервале температур – от 20 до 175 °С. Повышение температуры, при которой происходит гидратация глиноземистого цемента, приводит к образованию гидроалюминатов кальция различного состава. Этим объясняется изменение прочностных характеристик цементного камня.

Ключевые слова: глиноземистый цемент, фазовый состав, температура твердения

Annotation

The article deals with the results of investigation of properties and phase composition of aluminous cement hardened in the wide interval of temperatures – from 20 to 178 °C. Temperature increase, under which hydration of aluminous cement takes place, results in formation of hydroaluminates of calcium of different composition. It explains change of strength characteristics of cement stone.

Key words: aluminous cement, phase composition, temperature of hardening

Из обширной группы минеральных вяжущих веществ особое внимание привлекает глиноземистый цемент, представляющий собой быстротвердеющее гидравлическое вяжущее и состоящий, в основном, из низкоосновных алюминатов кальция. Изучение процессов структурообразования глиноземистого цемента при различных температурно-влажностных условиях позволяет сравнить данный вид вяжущего с другими видами цементов.

Температурно-влажностные условия твердения оказывают значительно большее влияние на изменение состава твердой фазы гидратированного глиноземистого цемента, чем на другие виды цементов. Изменение фазового состава продуктов гидратации сказывается на величине механических характеристиках цементного камня, что достаточно подробно изучено в многочисленных исследованиях по глиноземистому цементу [1-3]. Однако ранее изучалось твердение глиноземистого цемента, главным образом, в интервале температур от 10 до 60 °С.

Процессы гидратации глиноземистого цемента, твердевшего в нормальных условиях и при повышенных температурах, изучены достаточно глубоко. Принято считать, что при нормальном твердении продукты гидратации глиноземистого цемента представлены низкоосновными гидроалюминатами кальция: $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, а также гидратом оксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Кроме вышеуказанных соединений также могут образовываться и высокоосновные гидроалюминаты типа: $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Низкоосновные гидроалюминаты кальция типа CAH_{10} и C_2AH_8 представляют собой кристаллы игольчатой и пластинчатой формы, переплетающиеся между собой и образующие прочный кристаллический сросток, чем и определяется высокая механическая прочность глиноземистого цемента.

Твердение образцов при повышенных температурах около 35...45 °С приводит к перекристаллизации низкоосновных гидроалюминатов кальция в высокоосновные. Переход от структуры цементного камня, имеющей войлокообразное строение, к другой, содержащей кубические кристаллы C_3AH_6 , считается причиной снижения механических характеристик глиноземистого цемента.

В данной работе проведены исследования глиноземистого цемента, гидратированного в более широком интервале от 20 до 175 °С. Для исследования взят глиноземистый цемент

Пашийского цементного завода с химическим составом (% мас.): SiO_2 – 8,3; Fe_2O_3 – 2,4; Al_2O_3 – 39,1; CaO – 33,5; MgO – 4,32.

Физико-механические характеристики данного цемента: нормальная густота – 28 %; начало схватывания – 0,8 ч; конец схватывания – 2,5 ч; удельная поверхность – 320 м²/кг; активность – 53 МПа.

Образцы, изготовленные из цементного теста нормальной густоты, твердели в различных температурно-влажностных условиях: в течение 28 суток в нормальных условиях при 20 °С, пропаривались при 40, 60 и 100 °С и подвергались автоклавной обработке в среде насыщенного водяного пара под давлением 0,4 и 0,8 МПа и температуре 146 и 175 °С.

После твердения образцы высушивались до постоянной массы при 105 °С и подвергались различным испытаниям. Определялись пределы прочности при сжатии и растяжения при изгибе, общая и дифференциальная пористости. Для исследования фазового состава новообразований применялись рентгенофазовый и дифференциально-термический анализы.

Из результатов эксперимента, приведенных в таблице, видно, что имеется минимум прочностных свойств, который соответствует температуре твердения, равной 40 °С. При автоклавной обработке образцов наблюдается максимальное значение механической прочности образцов.

Таблица 1

Прочность образцов глиноземистого цемента, твердевших при различных температурах, МПа		
Условия твердения	Прочность образцов при	
	сжатии	изгибе
Нормальные условия, 20 °С	70,4	7,2
Пропаривание при t , °С		
40	65,8	5,3
60	70,9	7,4
100	75,6	8,0
Автоклавная обработка, 174 °С	82,8	8,7

Изучение продуктов гидратации и структуры затвердевшего цементного камня дало следующие результаты. Состав новообразований определялся на основании данных рентгенофазового и дифференциально-термического анализов (рис. 1 и 2). Основное содержание в исходном цементе составляет геленит $Ca_2Al[(AlSi)O_7]$ (линии с d/n = 0,426; 0,37; 0,307; 0,285; 0,273; 0,253; 0,243; 0,239; 0,229; 0,203; 0,192; 0,181 и 0,175 нм) и однокальциевый алюминат кальция (d/n = 0,37; 0,297; 0,268; 0,24 и 0,203 нм). В незначительном количестве присутствует и другой алюминат кальция - C_5A_3 .

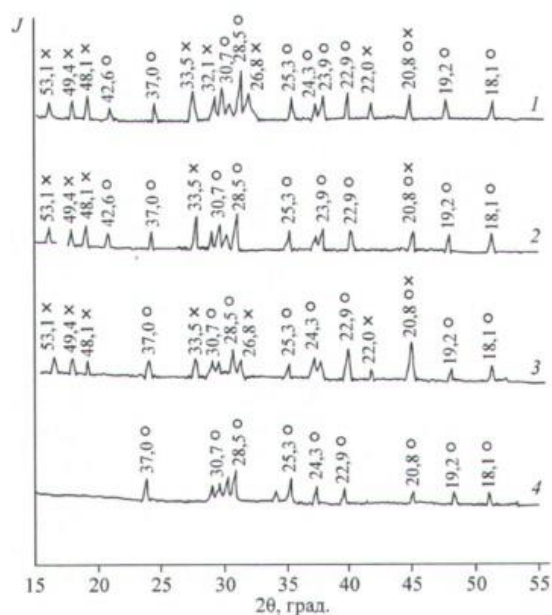


Рис. 1. Рентгенограммы продуктов гидратации глиноземистого цемента, твердевшего при различных температурах.
1 – 20 °С; 2 – 60 °С; 3 – 175 °С;
4 – негидратированный цемент.
○ – геленит; х – C_3AH_6

Новообразования в образцах из глиноземистого цемента, твердевшего при 20 °С, представлены в основном шестиводным гидроалюминатом кальция C_3AH_6 (рис. 1, кривая 2). Это подтверждается также и данными термографии (рис. 2,а). Эндотермический эффект при 290 °С свидетельствует о присутствии. При этой же температуре наблюдается и наибольшая потеря массы, что соответствует удалению из C_3AH_6 4,5 молекул кристаллизационной воды. Образуется также и гидроксид алюминия $Al(OH)_3$, находящийся в слабо закристаллизованном состоянии. Наличие небольшого экзотермического эффекта при 425 °С обусловлено перекристаллизацией образовавшегося гиббсита $Al(OH)_3$. Пониженная прочность образцов нормального твердения может быть объяснена неблагоприятным фазовым составом, так как образовавшиеся кристаллы C_3AH_6 расположены в высоководном геле из $Al(OH)_3$.

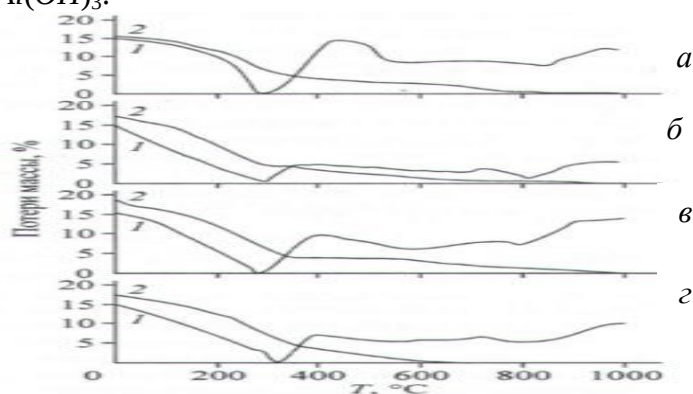


Рис. 2. Термограммы и кривые дегидратации образцов из глиноземистого цемента, твердевших при различных температурах.
а – 20 °С; б – 60 °С; в – 175 °С; г – негидратированный цемент.

Повышение температуры твердения до 40 °С является причиной ускорения процессов твердения глиноземистого цемента, что подтверждается увеличением количества связанной воды по сравнению с образцами, твердевшими в нормальных условиях (соответственно, 17 и 15 %).

Вместе с тем наблюдается ускорение процессов перекристаллизации гексагональных гидроалюминатов кальция в кубические. Образование большого количества гидратных соединений в короткий срок в виде мелкозернистой массы не создает прочного кристаллического сростка и является причиной снижения механической прочности образцов глиноземистого цемента. Одновременно происходит образование небольшого количества геля в результате гидратации алюмосиликатов и частично геленита, вследствие чего процесс перекристаллизации гидроалюминатов кальция в C_3AH_6 тормозится. Это подтверждается уменьшением эндотермического пика при 290 °С на термограмме (рис. 2,б) и понижением интенсивности пиков, соответствующих C_3AH_6 , на рентгенограмме (рис. 1, кривая 2).

Дальнейшее увеличение температуры твердения до 60...100 °С приводит к еще большей степени гидратации клинкерных минералов глиноземистого цемента, что подтверждается, как уменьшением интенсивности пиков, принадлежащих однокальциевому алюминату (рис. 1, кривая 2), так и увеличением количества связанной воды (18 % по сравнению с 15 % для образцов нормального твердения).

Более высокая температура твердения способствует быстрее перекристаллизации гидроалюминатов кальция еще до того, как образующийся гель гидроксида алюминия будет способен замедлить этот процесс. Кроме того, в геле наблюдается меньшее количество воды, и он находится в более уплотненном состоянии, что также является дополнительной причиной повышения механической и электрической прочностей. Уплотнение геля приводит к уменьшению количества макропор (рис. 3) и к соответственному увеличению электрической прочности.

Автоклавная обработка образцов глиноземистого цемента при 175 °С способствует образованию в цементном камне нового соединения - бемита (γ - $Al(OH)_3$), который образуется в результате перекристаллизации при повышенной температуре гиббсита (рис. 1, кривая 3). Основным минерал - геленит в условиях гидротермальной обработки в значительной степени вступает во взаимодействие с водой с образованием гидрогранатов переменного состава в аморфном виде [63].

Вышеперечисленные процессы усиливают кристаллическую структуру цементного камня, уменьшают общую пористость и способствуют переходу макропор к порам меньшего диаметра (рис. 3). Все это приводит к увеличению механической прочности.

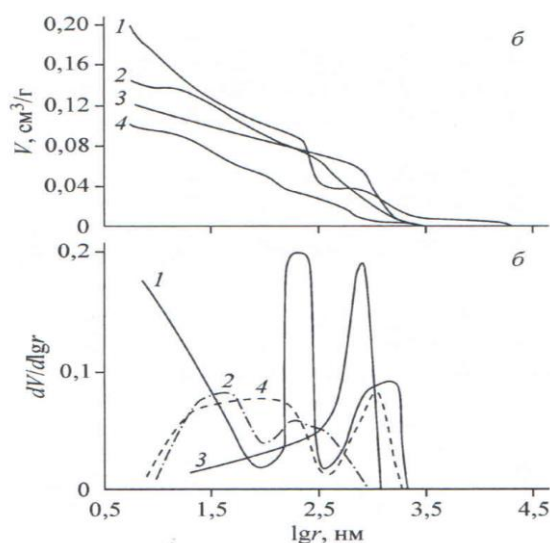


Рис. 3. Интегральные (а) и дифференциальные (б) кривые распределения структурной пористости образцов из глиноземистого цемента, твердевших при различных температурах.
1 – 20 °С; 2 – 60 °С;
3- 100 °С; 4 – 175 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова, Т.В. Глиноземистый цемент / Т. В. Кузнецова, И. Талабер. - М.: Стройиздат, 1988. – 266 с.
2. Румянцев, П.Ф. Гидратация алюминатов кальция / П.Ф. Румянцев, В.С. Хотимченко, В.М. Никушенко.- Л.: Наука, 1974. - 79 с.
3. Кравченко, И.В. Глиноземистый цемент / И.В. Кравченко.- М.: Госстройизда, 1961. - 175 с.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЦЕНКИ ЭСТЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИЦЕВОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Ю.А.Божко, Д.А.Овдун

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Вопрос оценки эстетических характеристик строительных материалов особенно актуален в последнее время. До недавних пор основным назначением лицевого кирпича являлась защита несущих конструкций от воздействия окружающей среды, а вариантов цвета и фактуры кирпича было не так уж много. Современные нормативные документы не отражают специфических требований к эстетической составляющей кирпичной кладки. На основании наблюдения, сбора информации и анализа широкого ассортимента лицевого кирпича структурированы данные о цвете, поверхности, размере кирпича и типе его кладки. Предложены методики оценки эстетики керамического кирпича и пути их развития в архитектуре и строительстве.

Ключевые слова: керамический лицевой кирпич, кирпич мягкой формовки, фактура, цвет, поверхность, эстетика, brick-дизайн.

Abstract. The issue of evaluating the aesthetic characteristics of building materials is particularly relevant in recent years. Until recently, the main purpose of the front brick was to protect the load-bearing structures from environmental influences, and there were not so many options for the color and texture of the brick. Modern regulatory documents do not reflect specific requirements for the aesthetic component of brickwork. Based on the observation, collection of information and analysis of a wide range of face bricks, data on the color, surface, size of the brick and the type of its masonry are structured. Methods for evaluating the aesthetics of ceramic bricks and ways of their development in architecture and construction are proposed.

Keywords: ceramic face brick, soft-formed brick, texture, color, surface, aesthetics, brick-design.

Современные строительство и архитектура ориентированы на удовлетворение не только технических задач, но и на создание эстетически выразительных объектов недвижимости. Всё больше людей стремятся к индивидуальности, а желание выделиться среди остальных является мощным аспектом развития индивидуального коттеджного строительства крупных городов.

Рынок керамических облицовочных материалов на данный момент может предложить огромное количество цветов, форматов и фактур лицевого кирпича. При этом, существенный объем потребления составляет кирпич «ручной» формовки из Бельгии и клинкерный кирпич из Германии. В России же широко распространен керамический кирпич с гладкой лицевой поверхности основных «кирпичных» цветов: красный, терракотовый, соломенный и коричневый. Долгое время наладить производство кирпича с повышенными эстетическими характеристиками было проблематично. Однако, последние пять лет российские заводы всё же начали выпускать кирпич, по внешнему виду схожий с европейским. Существенно расширилась цветовая линейка: белый, светло-желтый, оранжевый, серый, красный, бордовый, коричневый и графитовый. Популярным решением является смешение сразу нескольких цветов и их оттенков, что в народе приобрело название «баварская кладка» [1].

Основным документом, регламентирующим требования к лицевому керамическому кирпичу, является ГОСТ 530-2012. Большая часть требований относится именно к техническим и эксплуатационным характеристикам, однако, про внешний вид сказано довольно сухо и обтекаемо [2-3]. Если разобраться, то цвет и фактура кирпича являются одной из основополагающих характеристик при выборе материала потребителем. В первую очередь, архитектор, дизайнер или рядовой потребитель обращает внимание на внешний вид,

а уже затем на стоимость кирпича. Поэтому важным моментом является возможность максимально объективно оценить эстетическую составляющую лицевого кирпича.

Весь кирпич условно можно разделить на несколько больших групп: рядовой, лицевой и специального назначения (рис. 1). Рядовой и кирпич специального назначения не несут никакой эстетической функции, а лишь обеспечивают конструктивные функции. Лицевой же кирпич, в зависимости от исходного сырья и технологии производства, делится на группы: керамический, гиперпрессованный и силикатный. Последние два вида также не представляют особого интереса, так как имеют стандартную цветовую гамму и гладкую поверхность. Чаще всего его применяют в тех случаях, когда бюджет строительства сильно ограничен, либо в силу географических особенностей региона. Большую привлекательность с точки зрения разновидностей дизайна представляет лицевой керамический кирпич.

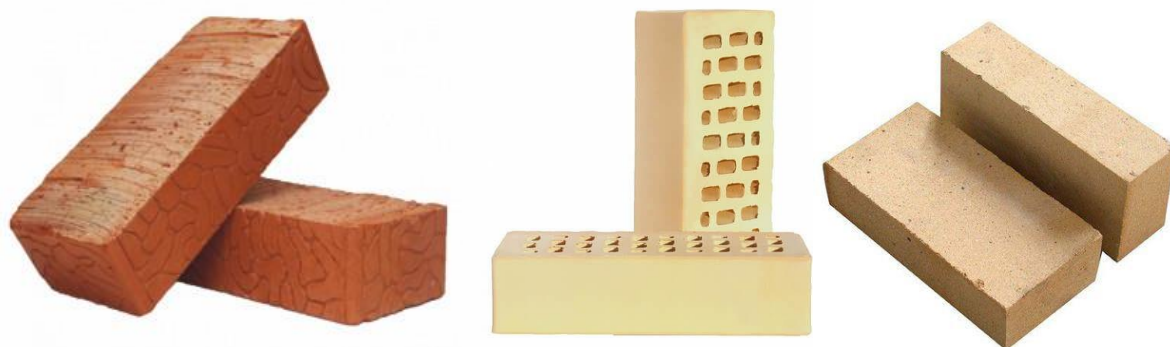


Рисунок 1 - Виды кирпича по назначению (рядовой, лицевой, шамотный)

Исходя из технологии формования, различают: пластический, компрессионный и «ручной» способы. В сфере продаж кирпича чаще всего применяют свою классификацию, упрощенную для потребителя: керамический, клинкерный и кирпич «ручной» формовки.

Действующий ГОСТ 530-2012 требования к внешнему виду трактует следующим образом: цвет и вид лицевой грани устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем и оговаривают в документе на поставку. Также в стандарте говорится о том, что лицевые изделия могут быть с гладкой и рельефной поверхностью, а также с поверхностью, офактуренной торкретированием, ангобированием, глазурированием и прочими способами. Изделия могут быть естественного цвета или объемно окрашенные. Остальные требования касаются наличия дефектов и их описания по видам. Таким образом, разработка цветовой гаммы и типов поверхностей лицевого кирпича остается прерогативой заводов-изготовителей.

На данный момент не существует единой закрепленной терминологии, затрагивающей колористические решения и варианты структуры лицевой поверхности кирпича. Поэтому схожие по своему внешнему виду поверхности, у разных производителей имеют различные названия. Например, вертикально расположенные углубления различной формы и длины (рис.2), похожие на царапины, могут называться «бархат», «тростник», «шероховатый», «кора дерева» и т.д. То же самое касается и цвета: один и тот же коричневый цвет может иметь названия «шоколад», «мокко», «кофе», «британия», «арабика» и т.д.



Рисунок 2 - Пример лицевого кирпича с поверхностью «тростник»

Огромное множество вариантов названий цветов и поверхностей вводит в заблуждение потребителей и создает сложности при внесении номенклатуры в информационные базы, сайты и программы. Поэтому первым шагом на пути совершенствования оценки эстетических характеристик лицевого кирпича является разработка унифицированной терминологии, простой и доступной как профессионалам отрасли, так и потребителям.

На основании проведенных исследовательских и прикладных работ по изучению колористических решений, типов поверхности лицевого кирпича и других эстетических и конструктивных показателей, было решено ввести термин brick-дизайн [5]. Он соединяет в себе пять основных элементов: цвет, фактура кирпича, формат, шов и тип кладки (рис. 3), где каждый из них имеет свои уровни сложности. Комбинаторика этих составляющих дает бесчисленное множество вариантов внешнего вида кирпичной кладки и здания, в целом.

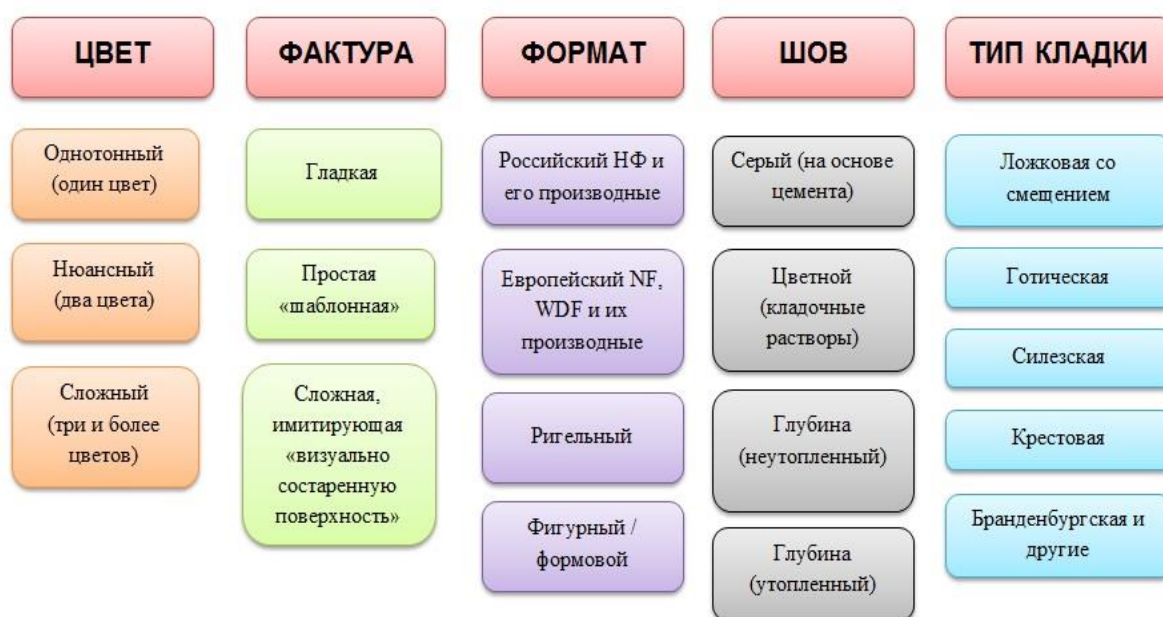


Рисунок 3 - Основные элементы brick-дизайна

Теперь подробнее рассмотрим каждый элемент и его уровни сложности. В цветовой гамме можно выделить три уровня: однотонный (один цвет), нюансный (в основе один цвет, который сочетается со вторым в виде нюансов) и сложный (три-четыре цвета, которые сочетаются между собой).

Фактура лицевого кирпича имеет три уровня сложности: простая гладкая, «шаблонная» (динамичный «узор», получаемый путем накатки специальными вальцами) и сложная, которая имитирует «визуально состаренную поверхность» (полиструктурированная) (рис. 4).

Большой объем клинкерного и кирпича ручной формовки поступает из европейских стран. С их приходом на российский рынок, нашему формату 1НФ 250*120*65 мм пришлось конкурировать с бельгийско-голландским WDF 210*100*65 мм и немецким NF 240*114*71 мм. Особенно вырос интерес к кирпичу длинного формата – ригельному, напоминающему старинную плинфу [6]. В отдельную категорию выносят формовой (фигурный) кирпич, используемый в качестве декора для повышения художественной выразительности фасада здания.

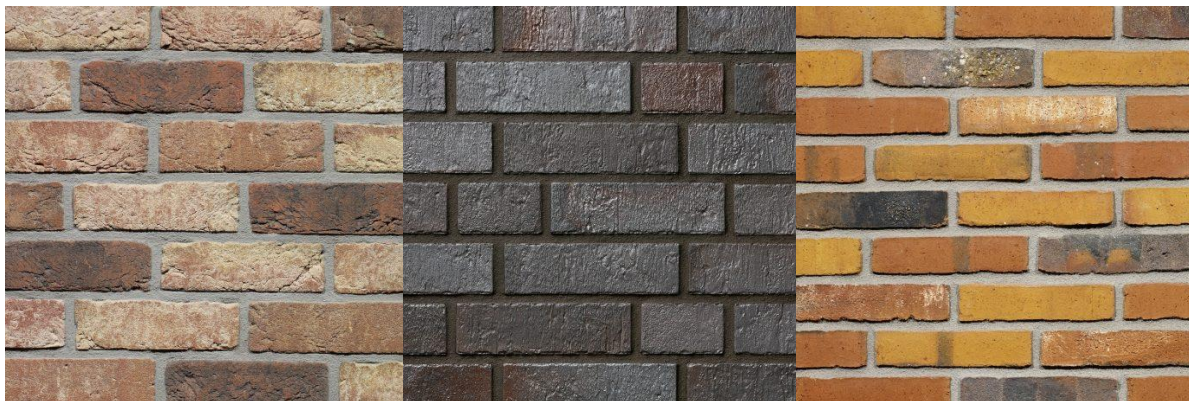


Рисунок 4 - Лицевой кирпич с полиструктурированной поверхностью

Что касается шва между кирпичом, то его можно охарактеризовать следующими параметрами – цветом применяемого раствора (натуральный цвет цемента или цветной кладочный раствор) и степень его заполненности (утопленный или вровень с лицевой поверхностью) [7].

И последний элемент, влияющий на визуальное восприятие кладки, это её тип. На сегодняшний момент известно более 1000 вариантов кирпичных кладок. Однако, далеко не все они доказали свою эффективность и удобство в работе. Мы выделили лишь основные, наиболее часто встречающиеся и характерные для нашего региона кладки: ложка с смещением, готическая, силезская, крестовая и бранденбургская. Из-за отсутствия закрепленной терминологии, один и тот же вид кладки может называться по-разному [5,8].

Огромным пространством реализации brick-дизайна являются объемно-пространственные кладки (рис.5). Их суть заключается в использовании игры света и тени, нарушения плоскости фасадов и создания точечных акцентов. С технической точки зрения это не вызывает сложностей, так как показатели по морозостойкости, прочности, водопоглощению и другим параметрам современного кирпича довольно высоки. Разработка объемно-пространственной кладки на фасаде здания носит творческий характер, однако, её реализация в жизнь требует наличия определенного опыта и мастерства каменщиков.



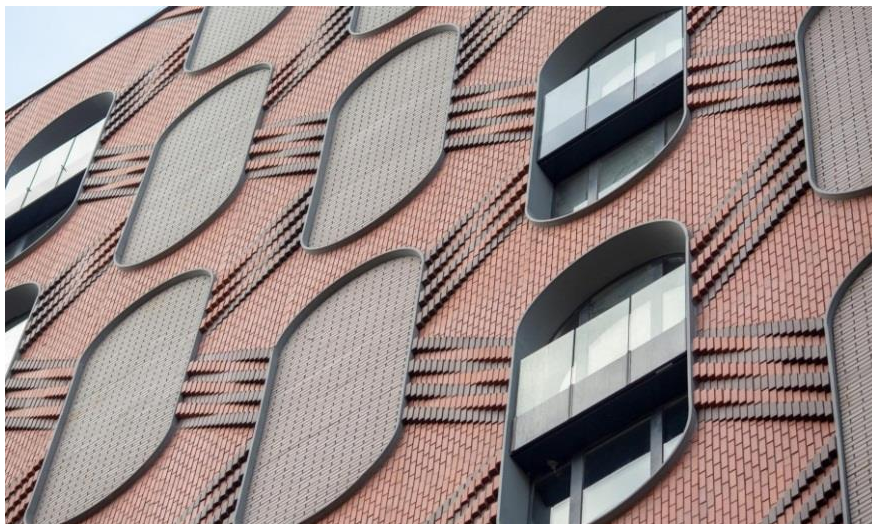


Рисунок 5 - Объемно-пространственная кирпичная кладка

Таким образом, введение единой терминологии и создание классификации позволит структурировать те знания и опыт, которые на данный момент имеются в керамической отрасли. Необходима разработка конкретной методики определения эстетических характеристик лицевого кирпича, в которой описаны правила отбора образцов, их выкладка, требования к эксперту, а также представлены эталонные образцы и колористические карты. Данная работа позволит заводам-производителям создавать готовые технические и конструктивные решения для потребителей, архитекторов и дизайнеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримова И.С. Объективное и субъективное в дизайне среды // *Монография*. Министерство образования и науки Российской Федерации, Амурский государственный университет. Благовещенск, 2012.
2. ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия». М. Стандартинформ. 2012. 43 с.
3. Августиник, А.И. Керамика / А.И. Августиник // – Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
4. Божко Ю.А., Лапунова К.А., Овдун Д.А. Конструктивные возможности применения кирпича мягкой формовки в архитектуре и дизайне // *Труды Академии технической эстетики и дизайна*. 2019. № 1. С. 35-37.
5. Месхи Б.Ч., Божко Ю.А., Терёхина Ю.В., Лапунова К.А. Brick-дизайн и его основные элементы // *Строительные материалы*. 2020. № 8. С. 47-51.
6. Котляр В.Д., Божко Ю.А. Технология получения и роль фигурного кирпича мягкой формовки в современном дизайне // *Труды академии технической эстетики и дизайна*. 2018. № 2. С. 10-13.
7. Лапунова К.А., Божко Ю.А. Применение облицовочного кирпича мягкой формовки в современной архитектуре // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2018. №1. С. 61-65.
8. Терёхина Ю.В., Котляр В.Д., Котляр А.В. Применение инструментов управления качеством в производстве керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 41-43.

ОЦЕНКА ФОРМИРОВАНИЯ ЖИДКОЙ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗ В КЕРАМИЧЕСКИХ МАССАХ ПРИ ОБЖИГЕ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

А.Е.Бурученко, Г.Н.Харук

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Аннотация. Исследуются физико-химические процессы, происходящие в процессе обжига в керамических массах на основе легкоплавких и тугоплавких глин. Рассматриваются возможности метода измерения электропроводности образца для определения температурных интервалов образования жидкой фазы и формирования новых кристаллических фаз. Показывается, что при введении плавня в состав масс увеличение содержания жидкой фазы в процессе расплава предопределяет изменение удельного сопротивления образца, отражая тем самым происходящее при этом зарождение кристаллических новообразований и их рост.

Ключевые слова: керамические массы, обжиг, спекание, прочность, фазовый состав, электропроводность.

Основными компонентами масс для изготовления строительной керамики являются легкоплавкие, тугоплавкие и огнеупорные глины. В качестве других составляющих и добавок часто используются отходы промышленности и плавни. В технологии изготовления изделий одним из основных этапов, влияющих на качество выпускающей продукции, является спекание. При этом физико-химические процессы в большинстве случаев проходят в присутствии жидкой фазы, которая способствует формированию новых кристаллических образований в виде муллита, анортита, волластонита и т.п., обеспечивающих изделиям высокие прочностные свойства [1, 2]

В наших исследованиях для отслеживания физико-химических процессов, происходящих в керамических массах при обжиге, за основу был взят метод измерения электропроводности (σ) [3]. Проводилось непосредственное измерение удельного сопротивления образца (ρ) в процессе обжига ($\rho = 1/\sigma$). Для подтверждения данных по изменению удельного сопротивления, производился дифференциально-термический анализ (ДТА), а у образцов после обжига делался рентгенофазовый анализ, определялось водопоглощение, огневая усадка и прочность на сжатие. Образцы формовались из составов на основе тугоплавкой глины Компановского месторождения и легкоплавкой глины Первомайского месторождения. В составы вводились отходы обогащения завода цветных металлов ОАО «Красцветмет» и натрий-силикатное стекло (в качестве плавня).

На рентгенограммах высушенных отходов «Красцветмета» идентифицируются такие минералы, как карбонат кальция (CaCO_3 , $d = 3,03; 2,49; 2,28; 2,09; 1,87$), двухводный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $d = 4,91; 4,23; 2,68$) и ангидрит (CaSO_4 , $d = 3,49; 2,85; 2,32; 1,99; 1,82; 1,74$) [4].

Основным минералом глины Компановского месторождения является каолинит. Основу глины Первомайского месторождения составляют каолинит и монтмориллонит. К примесям в обеих глинах относятся кварц и полевои шпат в виде ортоклаза и альбита. Химический состав отходов ОАО «Красцветмет», глин Компановского и Первомайского месторождений и натрий – силикатного стекла представлены в таблице 1.

Исследования отходов ОАО «Красцветмет» показали, что при нагревании свыше 500 °С происходит разупорядочение структуры ангидрита и его полиморфное превращение. Это предопределяет снижение линий интенсивности ангидрита на рентгенограмме и появление линий интенсивности оксида кальция. Происходящие процессы обуславливают образование свободных ионов Ca^{++} , которые являются носителями электрического тока. Присутствующий

в отходах карбонат кальция распадается в интервале 800 °С - 1000 °С, что приводит к увеличению количественного содержания СаО в массе.

Таблица 1

Сырье	Химический состав исходного сырья								
	Массовое содержание, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	п.п.п.
Отходы ОАО «Красцветмет»	3,18	1,92	2,8	4,16	39,6	-	-	17,4	30,94
Глина Компановского месторождения	67,4	19,6	3,08	1,82	1,94	1,08	0,36	-	4,72
Глина Первомайского месторождения	61,82	19,56	4,34	0,15	0,27	3,43	1,24		8,27
Натрий- силикатное стекло	74,7	-	-	-	-	-	25,3	-	-

Для изучения влияния техногенных отходов и плавня на формирование фазового состава, структуры и свойств изделий на основе тугоплавкой глины, в нее добавляли отходы ОАО «Красцветмет» и натрий-силикатное стекло. Более основательно рассматривались составы: 1 - глина 100%, 2 - глина 85% + отходы 15%, 3 - глина 80% + отходы 15% + натрий-силикатное стекло 5%.

Предварительно глину и отходы сушили. Глину после сушки размалывали до остатка на сите 0,05 мм не более 5% и смешивали с добавками в нужной пропорции. Из керамической массы, доведенной до влажности 10%-12%, формовали образцы, в которые вводили электроды для измерения изменения электропроводности в процессе нагревания до 1150 °С. Кроме того, формовались образцы при давлении 20 МПа, которые после сушки обжигались при 800 °С - 1000 °С с интервалом 50°С и выдержкой при конечной температуре 20 мин. У обожженных образцов рассчитывали водопоглощение, огнеую усадку, прочность на сжатие и производили рентгенофазовый анализ для определения фазового состава. Результаты непосредственного измерения изменения удельного сопротивления (ρ) образцов представлены на рис. 1.

Ход изменения удельного сопротивления для разных составов отличается друг от друга. Это указывает на некоторые особенности прохождения процессов формирования фазового состава керамики и ее свойств.

Как видно из хода кривой изменения удельного сопротивления образца, изготовленного из чистой глины Компановского месторождения (рис. 1, кривая 1), быстрое увеличение электропроводности происходит при нагревании до 900 °С. Дальнейшее повышение температуры до 1050 °С приводит к значительному снижению скорости изменения электропроводности, а при нагревании свыше 1050 °С она практически остается неизменной. На основании анализа данных ДТА, рентгенофазового анализа, водопоглощения, огневой усадки и прочности на сжатие такой ход кривой изменения электропроводности можно объяснить на наш взгляд следующим образом.

Большая скорость повышения электропроводности образца при нагревании до 900 °С обусловлена ионами, появившимися в основном в результате распада кристаллической

решетки каолинита. С дальнейшим повышением температуры свыше 900 °С начинается плавление полевого шпата, образующего жидкую фазу. Но при этом значительного роста электропроводности не наблюдается, так как отмечается появление новообразований в виде муллитовой фазы. Она проявляется в виде муллита на рентгенограммах, снятых с образцов, обожженных при 1100 °С. Количество муллита продолжает увеличиваться при нагревании до 1150 °С.

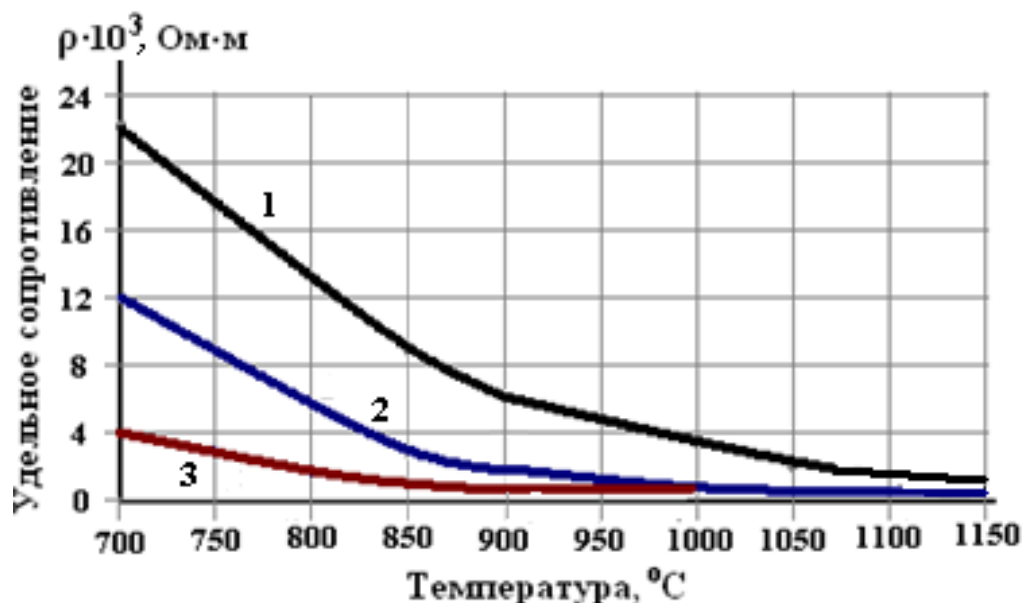


Рисунок 1 - Изменение удельного сопротивления образцов на основе глины Компановского месторождения от температуры обжига для разных составов. 1 – глина 100%, 2 - глина 85% + отходы 15%, 3 - глина 80% + отходы 15% + стекло 5%

Кривые изменения электропроводности образцов, в состав которых вводились отходы «Красцветмета», имеют свои особенности в зависимости от количественного содержания отходов. Характерным для каждого состава является снижение показателей удельного сопротивления у образцов с увеличением содержания отходов. Так для состава 2 отмечается снижение температуры до 850 °С (рис. 1, кривая 2), при которой начинается медленное уменьшение скорости изменения электропроводности, по сравнению с составом 1 (900 °С). Это можно объяснить тем, что в керамических массах при 800 °С начинается распад карбоната кальция с образованием СаО и появлением жидкой фазы за счет плавления альбита, что предопределяет образование новых кристаллов в виде анортита и волластонита. Рост кристаллов наблюдается при нагревании до 1100 °С у образцов, с содержанием 10% отходов и до 1000 °С у образцов, с содержанием 20% отходов [4]. Также на рентгенограммах при 1050 °С отмечается присутствие образовавшегося муллита.

Проходящие физико-химические процессы в интервале 800 °С – 1100 °С приводят к снижению водопоглощения и увеличению прочности образцов. Следует отметить, что, несмотря на формирование новых кристаллических фаз и упрочнение структуры ангидрита, значительного роста прочностных свойств у образцов не наблюдается. Это связано с тем, что образуется недостаточное количество жидкой фазы и происходит в основном твердофазное спекание.

Важной особенностью исследований является рассмотрение введения плавня в состав керамических масс и установление влияния его расплава на образование жидкой фазы, формирование новообразований и на обеспечение у изделий необходимых прочностных свойств. Для этого в составы масс вводили в качестве плавня 5% натрий-силикатного стекла.

Как видно из кривого изменения удельного сопротивления состава 3 с введением натрий-силикатного стекла (рис.1, кривая 3) происходит рост электропроводности образца

по сравнению с образцами из чистой глины и с добавками к ней отходов (рис. 1, кривые 1 и 2). В результате плавления натрий-силикатного стекла, начиная с 800 °С, идет интенсивное образование жидкой фазы, в которой зарождаются кристаллы анортита, волластонита и муллита. Рост новообразований отчетливо просматривается изменением высоты линий их интенсивности на рентгенограммах.

Сравнение результатов по фазовому составу и прочностным свойствам образцов из состава 3, обожженных при 1050 °С, с результатами образцов из состава 2 (без плавня), показали, что прочность возросла в полтора раза, а оптимальная температура обжига снизилась на 50 °С. Фазовый состав сформирован так же анортитом, волластонитом, муллитом, ангидритом и нерастворившимся кварцем. На основании этого можно сказать, что введение плавня в состав керамических масс приводит к росту электропроводности образцов, обусловленной появлением жидкой фазы. Достаточное присутствие жидкой фазы при спекании обеспечивает формирование, рост новообразований и армирование структуры керамического черепка, обеспечивающих ему высокие прочностные свойства.

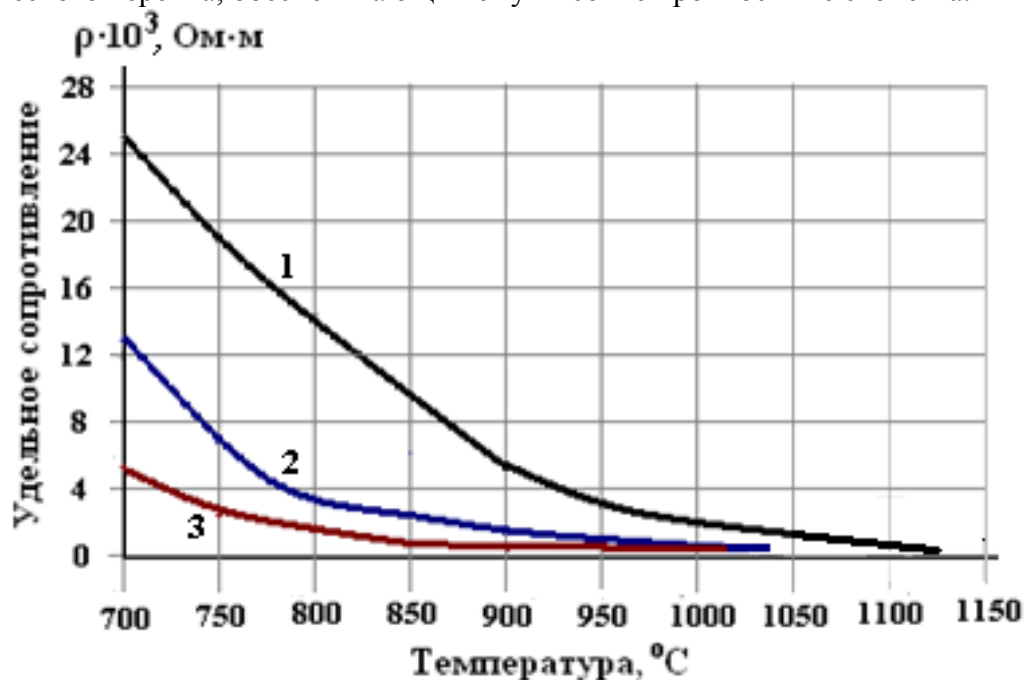


Рисунок 2 - Изменение удельного сопротивления образцов на основе глины Первомайского месторождения от температуры обжига для разных составов. 1 – глина 100%, 2 - глина 85% + отходы 15%, 3 - глина 80% + отходы 15% + стекло 5%

Проведенные аналогичные исследования по оценке формирования жидкой и кристаллической фаз в керамических массах на основе легкоплавких глин Первомайского месторождения (рис. 2) подтвердили выводы, сделанные методом измерения изменения электропроводности при исследовании масс на основе тугоплавких глин.

Некоторые отличия состоят в том, что для каждого из составов определяются свои характерные температуры образования жидкой фазы, температуры формирования новообразований и их интервалы роста, а также оптимальные температуры обжига образцов. Это обусловлено различием минералогических составов глин. Легкоплавкая глина в своем составе содержит кроме каолинита монтмориллонит и большее количество полевых шпатов, что отразилось в химическом составе большим содержанием оксида железа и оксидов щелочных металлов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что метод измерения электропроводности керамических масс позволяет дать оценку формирования жидкой и кристаллической фаз, определить температуру образования жидкой фазы, зарождения новых образований и интервал их роста. Данный метод прост в использовании. В сочетании с

другими методами исследований он позволит глубже изучить проходящие физико-химические процессы в керамических массах при обжиге, и тем самым определиться с выбором состава, режимом обжига и возможными свойствами получаемых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубехин А.П., Верченко А.В., Яценко Н.Д. Зависимость прочности керамогранита от фазового состава // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 30-33.
2. Яценко Н.Д., Яценко Е.А., Закарлюка С.Г. Фазовый состав и свойства строительной керамики в зависимости от содержания карбоната кальция и оксида железа // Стекло и керамика. 2016. № 9. С. 7-11.
3. Бурученко А.Е., Верещагин В.И., Мушарапова С.И. Исследование физико-химических процессов методом измерения электропроводности в керамических массах при обжиге // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 26-29.
4. Бурученко А.Е., Харук Г.Н., Непомнящих С.И., Сергеев А.А. Формирование анортитоволластонитовой структуры керамики с использованием техногенного сырья и тугоплавких глин // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: труды II Всерос. науч.-практич. конф. с межд. участием. Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2019. С. 156-160.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИМЕСЕЙ, ИМЕЮЩИХСЯ В ГИПСОВОМ И АНГИДРИТОВОМ КАМНЯХ, НА СВОЙСТВА ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА

А.Ф.Бурьянов, Н.А.Гальцева, Е.Н.Булдыжова, И.В.Морозов

Москва, Россия

Аннотация. Настоящая статья ориентирована на оценку влияния различных примесей, имеющихся в гипсовом и ангидритовом камнях, на свойства вяжущего вещества. В работе отобранные пробы для каждого случая подвергались химическому и минералогическому анализу, проходили стадию обжига, далее формировались образцы-балочки и на лабораторном оборудовании испытывались на изгиб и сжатие. В заключении был выполнен вывод о способности примесей влиять на показатели сроков схватывания, прочностные значения.

Ключевые слова: природный гипс, гипс, гипсовый камень, ангидритовый камень, вяжущее, примеси, глина, доломит.

Abstract. This paper is aimed at evaluating the influence of various impurities present in gypsum and anhydrite stones on the properties of the binder. In this work, the selected samples for each case were subjected to chemical and mineralogical analysis, passed the roasting stage, and then samples-beams are formed and tested for bending and compression on laboratory equipment. In summary, the conclusion was made about the ability of impurities to influence the indicators of setting time, strength values.

Keywords: natural gypsum, gypsum, gypsum stone, anhydrite stone, binder, impurities, clay, dolomite.

Необходимость проведения строительных работ и подходящее сочетание технических свойств влечет за собой производство различных строительных вяжущих веществ. При этом значение имеет наличие и объем запасов сырья, его локация и доступность для дальнейших разработок [1-3].

Гипс обладает нейтральным показателем pH в отличие от материалов, изготовленных из извести и цемента. Сырьевой компонент обычно имеет цветовую гамму близкую к белой.

Количественное соотношение примесей оказывает непосредственное влияние на оттенок гипса: например, окислы железа придают желтовато-бурый тон, а органические вещества более серый цвет [4]. Вяжущие на основе гипса считаются энергосберегающими материалами, чем при использовании цемента и извести. Из-за быстрого схватывания и затвердевания гипсовые изделия не требуют ускоренного отверждения. Они легкие, обладают отличной пластичностью, огнестойкостью и звукоизоляцией. Однако гипсовые изделия обладают низкой водостойкостью [5]. Применение химических добавок и минеральных добавок, добавок цемента или извести, армирующих элементов позволяет добиться различных свойств гипсовых вяжущих [6-7].

Альтернативным вариантом могут быть отходы промышленных производств. Исследования по рассмотрению возможности утилизации гипсодержащих промышленных отходов (ГБО) начаты и ведутся в контексте возможности их повторного использования, в том числе как сырья для производства, например, связующего [8-12].

Российская Федерация занимает одно из ведущих мест по запасам природного гипса [13]. Образовавшийся гипсовый камень зачастую содержит ангидрит, а природный ангидрит - переменное количество гипса. В каждом месторождении природного гипса отличительными признаками являются его состав и структура, оказывающая прямое влияние на условия производства и строительно-технические свойства гипсовых вяжущих [14-15].

На первом этапе для возможности рассмотрения вопроса влияния примесей гипсового камня на свойства вяжущего вещества определялись химический и минералогический составы.

В случае ангидритового камня также определялись химический и минералогический составы. В качестве примесей были взяты доломит, гипсовый камень и глина Порецкого месторождения.

Было проверено влияние на качество ангидритового вяжущего присутствие примесей следующих горных пород: доломит в количестве- 10; 15; 20% по массе; глинистые породы в количестве- 3; 5; 10% по массе; гипсовый камень в количестве- 10; 20; 30; 50% по массе. Определены химический и минералогический составы.

Для проверки влияния примесей на свойства полученного гипсового вяжущего использовались следующие материалы: доломит, ангидритовый камень, глина Порецкого месторождения. Данные по влиянию этих примесей на свойства гипсового вяжущего приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние примесей гипсового камня на свойства полученного вяжущего.

№ опыта	Примеси, %			W _{гидрат варки} , %	В/Г, %	Объемное расширение, %	Остаток на сите №02, %	Объемная масса, кг/см ³
	Ангидрит	Глина	Доломит					
8	10	-	-	5.29	78	0,137 (max 0,147)	4850/8.7	1530
7	20	-	-	4.72	71	0,141 (max 0,161)	4858/8.8	1580
9	30	-	-	4.0	65	0,132	4425/8.7	1600
10	50	-	-	2.97	50	0,114 (max 0,120)	6430/5.2	1700
12	-	10	-	5.37	57	0,139	5117/8.3	1540
13	-	30	-	4.99	76	0,138	7170/4.6	1563
15	-	-	20	4.66	70	0,150 (max 0,172)	5600/6.2	1570

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что примеси ангидрита, доломита и глины в количествах до 10% практически не понижают прочностные показатели затвердевших образцов, а в случае с глиной при заметном снижении водопотребности вяжущего позволили получить прочностные показатели близкие к марке Г10.

Однако при дальнейшем увеличении содержания таких примесей в составе гипсового камня (20% и более) отмечается снижение прочностных характеристик затвердевшего камня.

Присутствие гипса в гипсоангидритовом камне неоднозначно. Положительный фактор наличия заключается в нарастании отвердевающего процесса вследствие образования вспомогательных центров кристаллизации. Негативное воздействие гипса может отражаться на скорости твердения и показателях прочности ангидритового вяжущего, что требует тщательного проведения дополнительных исследований.

Таблица 2

Эффект от введения примесей в состав ангидритового вяжущего.

Добавка-активатор		В/А	Линейные деформации, мм/м	Связанная вода, %	ρ сухих образцов, кг/см ³	Объемная устойчивость
Вид	Кол.,%					
Цемент (М500) K ₂ SO ₄ FeSO ₄	5	30	0,2	10.76	1757	Без изменений
	1					
	0.5					
Доломит	10	28		10.18	1750	
	15	28				
	20	28		9.41	1820	
Глинистые примеси	3	27.5		10.83	1800	
	5	27.5				
Глинистые примеси	10	27.5		11.2	1781	
CaSO ₄ ·2H ₂ O	10	30		11.2	1700	
	20	30				
	30	30		13.9	1680	
	50	30		10.0	1630	
AlK(SO ₄) ₂ Глинистые примеси	2.5	28		16,56	1840	Без изменений
	5					
AlK(SO ₄) ₂ Доломит	2.5	28				↑ До 30%
	15					
AlK(SO ₄) ₂ CaSO ₄ ·2H ₂ O	2.5	28		17.89	1700	
	20					

Оценка влияния примесей была произведена на основании результатов проведенного испытания ангидритового вяжущего, которые по итогу продемонстрировали относительно устойчивые показатели в отношении основных технических свойств. К подобного рода показателям относятся: водовязущее отношение; сроки схватывания; гидратационная способность вяжущего (степень гидратации); прочностные показатели при изгибе и сжатии образцов-балочек, затвердевших на воздухе спустя 7 и 28 суток; линейные деформации изготовленных образцов в высушенном состоянии; стабильность объемного характера изготовленных образцов по истечению 7 и 28 суток.

Итоговые значения, полученные в процессе испытаний значимых технических свойств ангидритового вяжущего в присутствии примесей в виде различного рода горных пород, приведены в таблице 2.

Исследования влияния примесей гипсового и ангидритового камня на свойства вяжущего вещества продемонстрировали следующие результаты:

1. Из гипсового камня с высоким содержанием дигидрата сульфата кальция, относящегося к камню 1 сорта, может быть получено вяжущее марки не ниже Г5;
2. Добавления ангидрита, доломита и глины до 10% в гипсовое вяжущее не оказывают влияние на прочностные характеристики изготовленных образцов. Снижение прочности наблюдается лишь в том случае, если примеси составляют порядка 20% и выше;
3. В случае ангидритового вяжущего добавление в строго заданном количестве щелочных и сульфатных активаторов может приводить к относительно стабильным показаниям по основным технологическим свойствам свежеприготовленных растворов. Алюмокалиевые квасцы стабильность результатов не обеспечивают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bouzit, S., Laasri, S., Taha, M., Laghzizil, A., Hajjaji, A., Merli F., Buratti C.: Characterization of Natural Gypsum Materials and Their Composites for Building Applications. *Applied Sciences* 9(12), 1-15 (2019).
- Singh, R.N., Eksi, M.: Rock characterization of gypsum and marl. *Mining Science and Technology* 6(1), 105-112 (1987).
- Green, H., Gleadow, A., Finch, D., Hergt, J., Ouzman, S.: Mineral deposition systems at rock art sites. *Journal of Archaeological Science: Reports* 14, 340-352 (2017).
- Tumuklu, A., Ciflikli, M., Ozgur Z.: Determination of the Trace Elements Effecting the Color of the Gypsum Mineral. *International Journal of Engineering Research and Management* 3(09), 16-19 (2016).
- Buldyzhova, E.N., Galtseva, N.A., Buryanov, A.F., Petropavlovskaya, V.B.: Technical-economic and Environmental Aspects of Production and Application of Gypsum Materials and Products. *Actual problems of modern science, technology and education* 2(71), 197-200 (2013).
- Galceva, N.A., Burianov, A.F., Soloviev, V.G., Tkachenko, D.I.: A Modified Binder on the Basis of Synthetic Anhydrite for Stowing Mixtures. *Construction materials* 7, 74-76 (2017).
- Gal'tseva, N.A., Bur'yanov, A.F., Buldyzhova, E.N., Solov'ev, V.G.: The Use of Synthetic Calcium Sulfate Anhydrite for Production of Filling Mixtures. *Construction materials* 6, 76-77 (2015).
- Kharitonov, A., Smirnova, O., Vilenskii, M.: Principles of green architecture for the historical part of Saint-Petersburg. *Urbanism Architecture Constructions*, 10(2), 103-112 (2019).
- Kharitonov, A., Smirnova, O.: Optimization of repair mortar used in masonry restoration. *Spatium* 42, 8-15 (2019).
- Rashad, A M.: Phosphogypsum as a construction material. *Journal of Cleaner Production* 166, 732-743 (2017).
- Cánovas, C.R, Macías, F., Pérez-López, R., Basallote, M.D., Millán-Becerro, R.: Valorization of wastes from the fertilizer industry: Current status and future trends *Journal of Cleaner Production* 174, 678-690 (2018).
- Klimenko, V.G.: Influence of modifying composition of gypsum binders on the structure of composite materials. *Journal of Physics: Conference Series*. 1118(1), 43285 (2018).
- Popov, K.N., Caddo M.B.: Building materials and products. High school, Moscow (2002).
- Alfimova, N. I., Pirieva, S. Yu., Elistratkin, M.Yu., Nikulin, I. S., Titenko, A.A.: Binders from gypsum-containing waste and products based on them. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 945, 012057 (2020).
- Edamenko, A.S., Matveeva, L.Yu., Yastrebinskaya, A.V.: Influence of Gypsum Binder Phase Composition on Operational and Mechanical Properties of the Hydration Product. *Solid State Phenomena* 299, 1086-1090 (2020).

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СИНТЕЗА МУЛЛИТА, ПРОВЕДЕННОГО ПРИ ПОМОЩИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ В СРЕДЕ АЗОТА НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ КАОЛИНА И МАРШАЛИТА

В.А.Власов¹, А.А. Клопотов¹, К.А. Безухов¹, О.Г. Волокитин¹, Р.Е.Гафаров¹,
Н.Н.Голобоков², В.В.Шеховцов¹

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет

²Томский филиал института структурной макрокинетики

Аннотация. В данной статье представлены результаты воздействия энергии низкотемпературной плазмы на прекурсоры кремнийсодержащих и алюминийсодержащих порошков в среде азота. Проведено рентгеноструктурное исследование и сравнение штрих диаграммам. Рассмотрено влияние добавки гранулированного углеродного материала.

Ключевые слова: керамика, плазма, рентгенограммы, муллит

Существующие высокотемпературные технологии позволяют улучшать характеристики керамических материалов с целью соблюдения экологических стандартов и уменьшения себестоимости готовой продукции. В последние годы значительно возрос интерес к синтезу и разработке кремнийсодержащих материалов в связи с перспективами их широкого практического применения в строительных материалах. Для комплексного использования материалов на основе кремнийсодержащих порошков представляет интерес поиска способов совершенствования технологии производства и использования различной минерально-сырьевой базы. Одними из таких материалов являются муллитовая ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) керамика, сиалонная керамика (SiAlON) и другие керамики на основе нитридов и оксидов алюминия и кремния [1-7]. Способы синтеза кремнийсодержащих материалов разнообразны: обжигом, методом Вернейля из геля, методом высокотемпературного синтеза (СВС) и методом воздействия с помощью энергии низкотемпературной плазмы. Последний метод достаточно мало распространён и применим при синтезе кремнийсодержащих прекурсоров. Связано это с уникальностью плазмообразующего оборудования [8].

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей синтеза муллита, проведенного при помощи воздействия энергии низкотемпературной плазмы в атмосфере азота смесей разных исходных компонентов: смеси маршалита и алюминия; смеси каолина, алюминия и графита.

При подготовке исходных компонентов кремнийсодержащих порошков были использованы следующие составы описанных в таблице 1.

Таблица 1

	Химические соединения кремнийсодержащих порошков						
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	Прочие
Каолин							
Концентрация, %	60	19,75	1,0	4,99	0,1	1,2	10
Маршалит							
Концентрация, %	97,5	1,54	0,03	0,01	0,14	0,10	-

Для проведения эксперимента было подготовлено два образца с размерами 50×45 мм. Для сокращения описания исходных компонентов введем аббревиатуру: А- образец на основе каолина; Б - на основе маршалита с добавлением порошка графита. Пропорциональный состав приведен в таблице 2.

Таблица 2

Образец А	Пропорциональный состав образцов А и Б		
	Процентный состав, %	Образец Б	Процентный состав, %
Маршалит	50	Каолин	40
Алюминиевая пудра		Глинозем	
ПАП-2 по ГОСТ 6494-95	20	Al ₂ O ₃	30
Раствор мочевины		Графит	
AWM DEFBlueISO22241	20		15
Жидкое стекло		Раствор мочевины	
(ТУ: 2145-004-62638457-2003)	10	AWM DEFBlueISO22241	8
		Жидкое стекло	
		(ТУ: 2145-004-62638457-2003)	7

Подготовка образца А происходила при предварительном просеивании исходных компонентов через сито с фракцией 0.315 мм. После добавок, жидких составляющих и смешивании их с порошкообразными элементами, образовались комкообразная структура, что повлекло еще к более тщательному перемешиванию и просеиванию через сито. Далее порошкообразный образец поместился в пресс-форму для придания контура. Давление осуществлялось постепенным набором от 0 до 500Н в течении 10 сек. Далее образец был помещен в предварительно нагретую печь до 185 °С и подвергался термической обработке до 525°С с последующим остыванием в течении 30 мин.

Подготовка образца Б происходила также при смешивании порошкообразных компонентов с жидкими добавками при предварительном просеивании через сито и дальнейшем помещении образца в сушильный шкаф на 30 мин при 150 °С с последующим остыванием при комнатной температуре. Физико-химические процессы, протекающие при сушке и термообработке материалов, определяющие ее упрочнение, включают осаждение в порах материала модифицирующих соединений и их дальнейшую эволюцию в процессе термообработки [9].

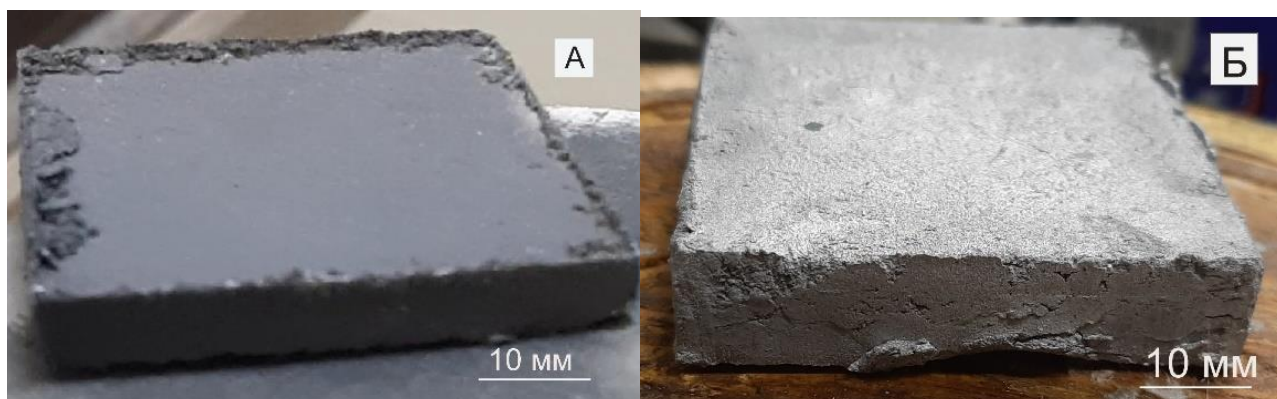


Рисунок 1 - Общий вид подготовленных образцов

Вследствие добавления в смесь порошка графита при изготовлении образца А его цвет стал более темным относительно цвета образца Б.

Синтез образцов был проведен с помощью оригинальной установки на основе низкотемпературного плазменного генератора, разработанного в Томском Государственном Архитектурно-Строительном университете на базе универсальной плазменной установки УПУ-3М. Катодные установки типа ВПР-410НПП "Плазматехкомплект", (Екатеринбург) использовались в составе стенда для генерации плазменного потока. Плазмообразующим газом был азот.

Параметры используемого плазменного генератора, следующие: напряжение питающей сети 380В; условное рабочее напряжение на дуге 120 В; номинальный рабочий ток 220 А (пределы регулирования рабочего тока, 200-500А). При этом КПД плазменного генератора близок к значению порядка 84%. Источник питания с током в 200 А, напряжением в 120 В. По результатам калориметрирования установлена удельная среднemasсовая энтальпия H_g плазменной струи на срезе выходного сечения сопла анодного узла, которая находится в интервале значений от 24130 до 35740 кДж/кг, что соответствует среднemasсовой температуре $T = 6100 \div 7300$ К.

Образцы находились под воздействием плазмы в течении трех минут. После прогрева образца наблюдалось прохождение фронта горения, сопровождающееся ярким свечением. После процесса воздействия высокой температуры плазменной струи на образце А наблюдалась образование пористого белого налета, на образце Б образование стекловидной структуры рис.3.

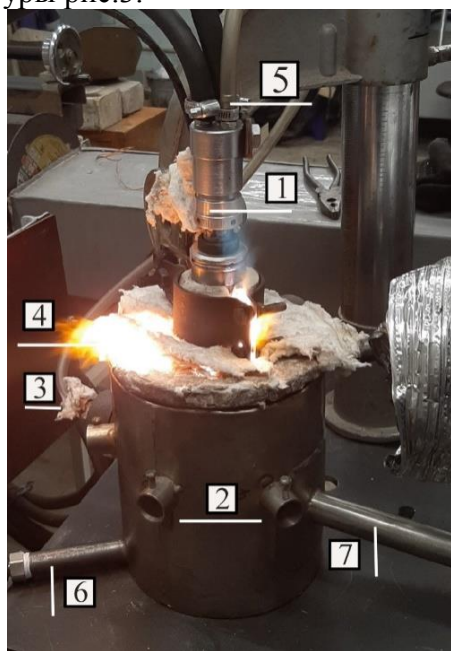


Рис. 2. Фотография плазмохимического реактора: 1 – плазматрон; 2 – реактор; 3 – трубопровод подачи азота в реактор; 4 – плазменная струя; 5 – трубопровод подачи азота в реактор через плазматрон; 6 и 7 – патрубки для водяного охлаждения водой реактора



Рис.3. Образцы А и Б после воздействия низкотемпературной плазмы

Образец А вследствие воздействия энергии плазмы не подвергся разрушению. Однако на поверхности образца Б наблюдалась контурное разрушения от плазменной струи. Из полученных слитков для рентгеноструктурных исследований механическим дроблением был

приготовлен порошок. Рентгеноструктурные исследования проводили на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{CoK}\alpha$ излучения. Индексирование дифрактограмм выполнено с использованием базы данных программы MatchCrystalImpact.

После дробления образец А был разделен на две части: одна часть образца со стороны белого налета, другая – без налета. Раздел образца Б был разделен на две части: одна часть со стекловидным материалом образца, другая пористый материал образца.



Рис.4. Фрагменты образцов А и Б после высокотемпературного воздействия плазменной струей в атмосфере азота. Образец А: 1 – участок образца с белым налетом; 2 – пористая часть образца. Образец Б: 1 – пористая часть образца; 2 – стекловидная поверхность образца.

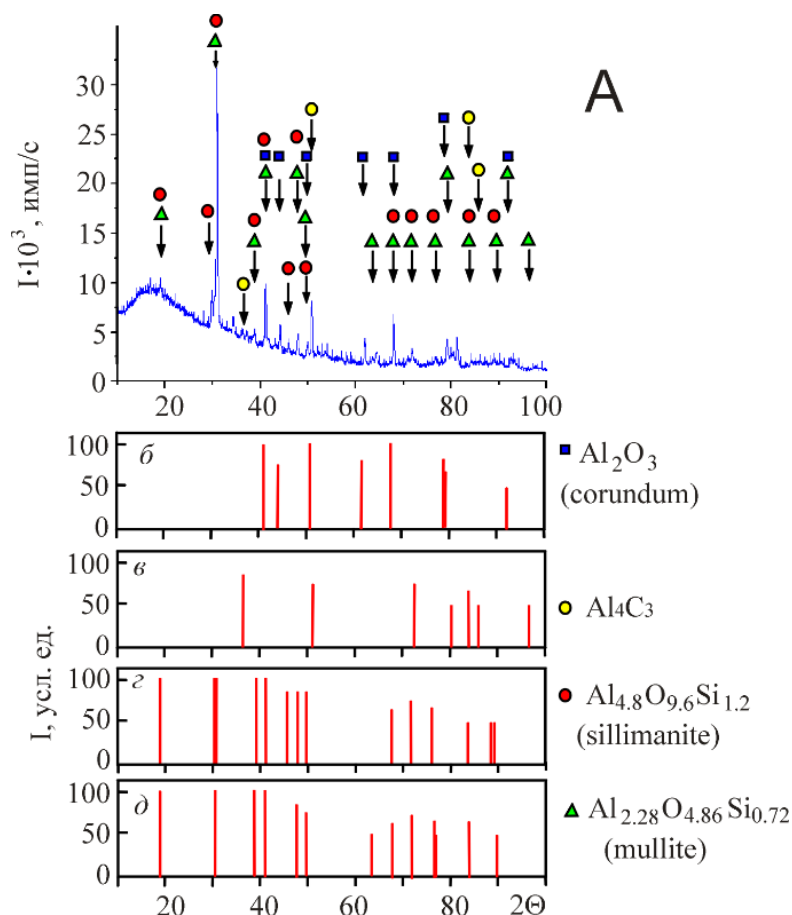


Рис.5. Дифрактограмма образца от порошка, полученного из образца А и штрих диаграммы эталонных соединений из базы данных MatchCrystalImpact

На дифрактограмме присутствуют структурные линии, отражающие наличие кристаллических фаз, и аномальный диффузный фон, который свидетельствует о наличии аморфных фаз. Из данных рентгенофазового анализа (РФА) следует, что основными кристаллическими фазами являются муллит и силлиманит (рис. 5 и 6). Кроме того, на дифрактограммах от образца Б присутствуют более слабые по интенсивности структурные рефлексы от оксида алюминия и карбида алюминия. На дифрактограмме от образца А присутствуют также структурные линии от кристаллических фаз и аномальный диффузный фон как в образце Б (рис. 5 и 6). Из данных РФА следует, что основными кристаллическими фазами являются муллит и силлиманит (рис. 5 и 6). Кроме того, на дифрактограммах от образца А присутствуют структурные рефлексы только от оксида алюминия в разных структурных состояниях. Данные РФА свидетельствуют о том, что кратковременное высокотемпературное воздействие приводит к образованию двух трехкомпонентных соединений муллита и силлиманита. Кроме того, наличие фаз оксида алюминия свидетельствует о том, что в данных условиях в образце не все компоненты полностью прореагировали.

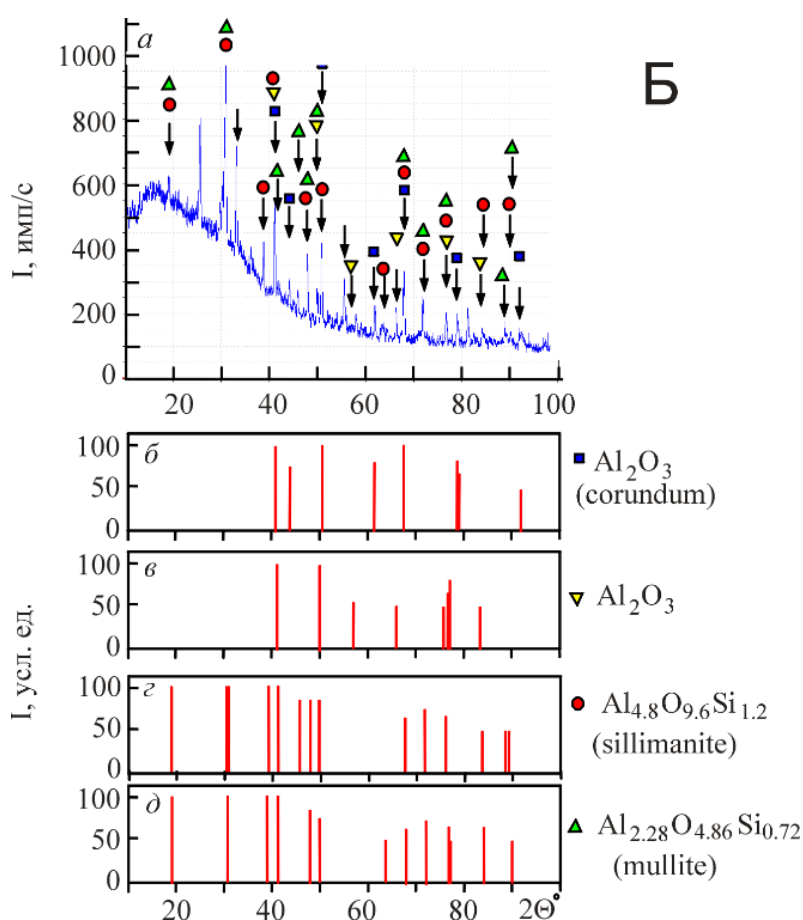


Рис.6. Дифрактограмма образца от порошка, полученного из образца Б и штрих диаграммы эталонных соединений из базы данных MatchCrystalImpact

Установлено, что использование низкотемпературной плазмы позволяет синтезировать материал в виде неоднородных по своему строению слитков и структурно-фазовому состоянию. В результате кратковременного высокоэнергетического воздействия в азотной среде на кремний содержащие образцы на основе каолина и маршалита, происходит синтез материала с образованием муллита и силлиманита. Кроме того, на дифрактограммах обнаружено присутствие структурных рефлексов от оксида алюминия. Добавление графитового порошка в состав исходного образца привело к образованию карбида алюминия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермоленко И.Н., Ульянова Т.М., Витязь П.А., Федорова И.Л. Волокнистые высокотемпературные керамические материалы. Минск: Наука и техника. 1991
2. Тинякова Е.В., Гращенков Д.В. Теплоизоляционный материал на основе муллитокорундовых и кварцевых волокон // Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 43–46.
3. Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г., Зимичев А.М., Тинякова Е.В. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений. Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 380–385.
4. Подболотов К.Б., Красовская Ю.А. Научные исследования огнеупоров и технической керамики. Влияние добавки алюминия на процесс синтеза и свойства магнийалюмосиликатной керамики 2012 № 9 С.289-291
5. Балкевич В.Л. Техническая керамика. М.: Стройиздат, 1984. С. 255.
6. Власов В.А., Клопотов А.А., Безухов К.А. Особенности строения фазовых диаграмм состояний трех- и четырехкомпонентных систем керамики SiAlON. Инновационные технологии в машиностроении. Томск, 2019. С. 179-184.
7. Власов В.А., Клопотов А.А., Верещагин В.И., Волокитин О.Г., Безухов К.А., Горленко Н.П. Фазовые диаграммы состояний четырехкомпонентной системы al-si-n-o. Анализ термодинамической стабильности соединений SiAlON на основе энергетической кристаллохимии. Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (тэк-2019) Кемерово, 2019 С.159-166.
8. Луценко А.В., Скрипникова Н.К., Волокитин Г.Г., Турашев А.С. Получение стеклокристаллических материалов из силикатсодержащих расплавов с использованием низкотемпературной плазмы // Вестник ТГАСУ, 2012. С.126-132.
9. Бородай Ф.Я., Викулин В.В., Иткин С.М., Ляшенко Л.П., Шкарупа И.Л., Самсонов В.И. Наномодифицированная кварцевая керамика с повышенной высокотемпературной прочностью. Патент РФ №2458022. Бюл. 2012. №22

УДК 691.4

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ УГОЛЬНОГО РЯДА

Е.С.Гайшун, Х.С.Явруян, А.С.Гайшун.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Представлены результаты работ по изучению химико-минералогического состава и физико-химические свойств среднедисперсных продуктов переработки терриконигов применительно к производству керамического кирпича. Показана их роль при вводе в керамические массы и влияние на свойства готовых изделий. Дана предварительная классификация по различным признакам. Обоснована экономическая целесообразность их использования при производстве изделий стеновой керамики.

Ключевые слова: отсев, уголь, гидрослюда.

Annotation: The paper presents the results of studies of the chemical and mineralogical composition and physico-chemical properties of medium-dispersed products of the processing of waste materials applied to the production of ceramic bricks. Their role in the introduction of ceramic masses and their influence on the properties of finished products are shown. A preliminary classification according to various characteristics is given. The economic feasibility of their use in the production of wall ceramics products is justified.

Keywords: screening, coal, hydromica.

В настоящее время в угледобывающих районах Ростовской области (Восточный Донбасс) активно ведётся переработка терриконигов в первую очередь с целью извлечения угля, которое стало экономически целесообразным в последние годы. Помимо угля в процессе переработки извлекаются попутные продукты, которые классифицируются по зерновому составу. Фракции 0-0,5 и 0-2 мм, содержащие уголь в количестве 15-50 %, используются как топливная добавка при производстве керамического кирпича и как низкокалорийное топливо.

По химическому составу отсе́вы не имеют принципиальных отличий от типичного глинистого сырья и характеризуется содержанием Al_2O_3 от 16 до 22 % и содержанием оксида калия более 4 %. Обусловлено это особенностями минералогического состава [1]. Усреднённый химический состав отсе́вов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Усреднённый химический состав отсе́вов, %

п.п. п.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	P_2O_5	Ti O_2	Mn O
2,0	52,3	14,7	3,9	1,0	0,7	0,3	2,2	0,9	0,1	0,2	0,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,0	64,8	24,4	8,1	3,5	2,4	1,7	4,8	2,1	0,3	0,9	0,4

Преобладающим компонентом отсе́ва Восточного Донбасса являются камнеподобные глинистые породы, различной степени литификации. Основные слагающие их минералы – хлорит, гидрослюда, слюды, каолинит, кварц, полевые шпаты, оксиды и гидроксиды железа.

Особый интерес при этом вызывают с повышенным содержанием угольной составляющей – более 20 %. По содержанию угольной составляющей (органического углерода) выделяются породы малоуглеродистые ($С_{орг} = 0-8\%$), среднеуглеродистые ($С_{орг} = 8-20\%$) и высокоуглеродистые ($С_{орг}$ более 20%). При этом считается, если содержание углерода превышает 20 %, то прочность изделий будет весьма низкой. Термограмма с содержанием угля около 40 % представлена на (рис.1).

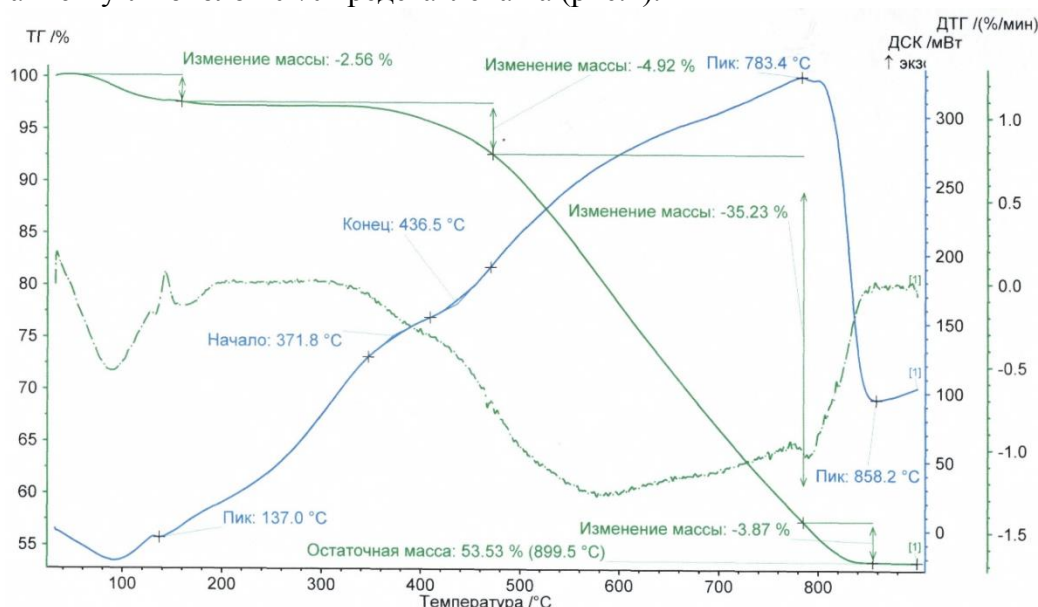


Рисунок 1 - Термограмма с содержанием угля.

По результатам рентгеновского анализа минералогический состав отсе́вов представлен несколькими минералами. Для примера, на (рис. 2) приведена рентгенограмма отсе́вов одного из техногенных месторождений[2]. Гидрослюда (иллит) присутствуют во всех образцах, на что указывают пики 4,48, 5,06 и 10,16 Å. Она, как правило, является

основным минералом. Однако, судя по интенсивности пиков, в образцах разных месторождений она имеет различную степень структурного совершенства и содержится в различном количестве. Гидрослюда (иллит) – типичный глинистый минерал, относящийся к группе гидрослюд. Гидрослюды являются наиболее распространёнными минералами глинистых сланцев и аргиллитов. Наблюдается корреляционная связь между содержанием гидрослюда и содержанием оксида калия. Исследования ориентированных фракционированных обожжённых препаратов позволили диагностировать у большинства проб отсевов каолинит – 7,13; 3,56; 2,33 Å и др.

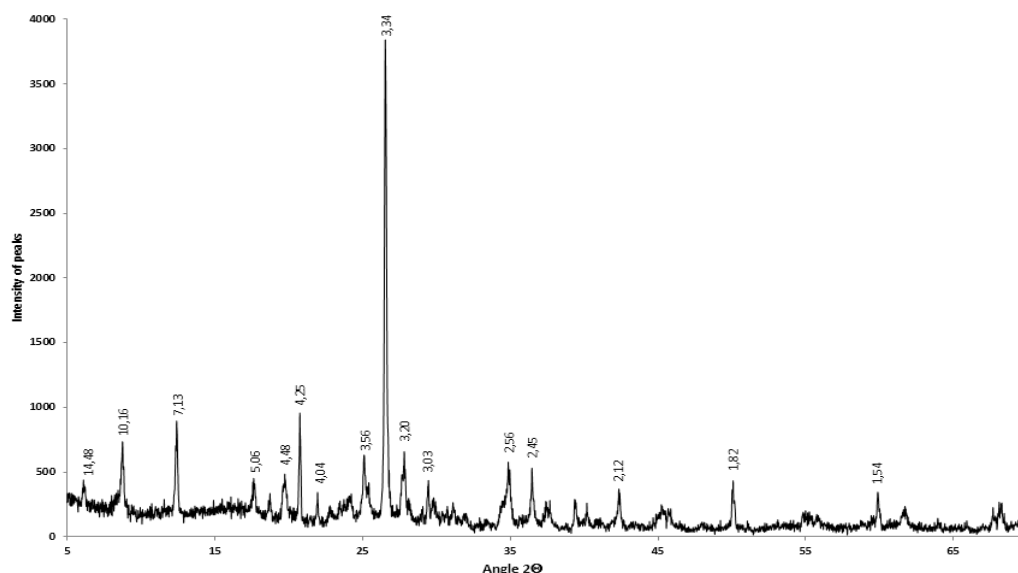


Рисунок 2 - Рентгеннограмма отсевов

Во всех пробах диагностируется кварц, являющийся терригенной примесью. В силу высокой кристалличности его дифракционные пики (3,34; 1,82; 1,54; 4,25; 2,45; 2,28; 2,12 Å) имеют значительную интенсивность. Также почти во всех пробах отмечаются полевые шпаты и плагиоклазы (ортоклаз, альбит, анортит – 3,20; 4,04; 2,96; 2,51 Å).

Практически на всех рентгенограммах отмечаются пики хлорита, клинохлора, шериданита – 7,12; 3,53; 14,5; 4,68 Å и др. Хлорит – слюдоподобный минерал, состоящий из чередующихся слюдо- и бруситоподобных слоёв. Из-за особенностей связи внутри и между пакетами обычно хлориты в воде не набухают. Встречаются они всегда в смеси с другими глинистыми минералами. По размеру частиц хлориты аналогичны иллитовым глинистым минералам. Хлорит не имеет постоянный химический состав, в связи с чем выделяются различные разновидности хлорита, имеющие собственные названия[3-4].

Проведенные исследования показали, что отсеvy переработки терриконигов являются перспективным сырьевым материалом для получения различных изделий стеновой керамики. Ввод в сырьевые массы тонкодисперсных продуктов переработки терриконигов, содержащих уголь и обладающих пластическими свойствами, позволит существенно снизить затраты на обжиг и соответственно себестоимость изделий. Вовлечение в производство стеновой керамики отсевов переработки терриконигов Восточного Донбасса является технико-экономически обоснованным и целесообразным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Явруян Х.С., Котляр В.Д., Гайшун Е.С. Характеристика среднedisперсных продуктов переработки терриконигов для производства керамического кирпича// Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона., 2018. № 10. С.163-167

2. Гайшун Е.С., Явруян Х.С., Котляр В.Д., Филипова А.А., Гайшун А.С. Перспективное сырье на основе терриконигов Восточного Донбасса для производства керамических камней// Вестник волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. серия: строительство и архитектура. 2020. № 1. С.118-125
3. Гайшун Е.С., Явруян Х.С., Котляр В.Д., Охотная А.С. Фазовые преобразования при обжиге отсеков от переработки терриконигов Восточного Донбасса// Строительные материалы. Москва. 2019. № 4. С. 3-7
4. Божко Ю.А., Лазарева Я.В., Гайшун Е.С. Фазовые преобразования кремнистых глин в процессе обжига керамики//63-я международная научная конференция астраханского государственного технического университета, посвященная 25-летию астраханского государственного технического университета. Астрахань. 2019. С. 4

УДК 691.32

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КИРПИЧА НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ЭФИОПИЯ

Б.К.Гебру, В.Д.Котляр, С.Н.Курилова

*Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Дана общая характеристика республики Эфиопия. Показано, что на данном этапе развития страна остро нуждается в различных видах стеновых изделий. Особенно остро эта проблема стоит на севере Эфиопии в городе Мэкэле, являющимся столицей провинции Тыграй, где находятся цементный и металлургический заводы. Проведённый анализ показал, что наиболее перспективным направлением развития производства стеновых изделий в г. Мэкэле является организация производства изделий компрессионного формования на базе отсеков известняков местных карьеров и металлургических шлаков.

Ключевые слова: кирпич, гиперпрессование, цемент, известняк, металлургический шлак, прочность, технология.

A general description of the Republic of Ethiopia is given. It is shown that at this stage of development, the country is in dire need of various types of wall products. This problem is especially acute in the north of Ethiopia in the city of Mekelle, which is the capital of the Tigray province, where the cement and metallurgical plants are located. The analysis showed that the most promising direction in the development of the production of wall products in Mekelle is the organization of the production of compression molded products based on screenings of limestone from local quarries and metallurgical slags.

Keywords: brick, hyper pressing, cement, limestone, metallurgical slag, strength, technology

Федеративная демократическая республика Эфиопия является развивающейся страной, основой экономики которой является сельское хозяйство. В последние годы благодаря усилиям правительства существенно вырос уровень инвестиций в экономику страны и, как следствие, наблюдается существенный рост строительства. Особенно это актуально для севера страны и в частности для провинции Тыграй, столицей которой является город Мэкэле. Мэкэле находится в 780 км к северу от столицы Эфиопии на Эфиопском нагорье на высоте 2250 метров над уровнем моря. Такая высота над уровнем моря обеспечивает прохладный климат в сравнении с окружающими равнинами.

Мэкэле является для Эфиопии крупным промышленным центром на севере страны (рис. 1). Имеется аэропорт, который обеспечивает как внутренние, так и международные авиаперевозки. Крупнейшими предприятиями являются металлургический и цементный заводы. Имеются небольшие предприятия стройиндустрии. Основными стеновыми изделиями являются камни стеновые пильные из горных пород, а также пустотные цементные блоки, получаемые на простых установках с виброуплотнением бетонной смеси. Основные цвета определяющий архитектурные особенности города являются жёлтый, бежевый и серый с различными оттенками (рис. 2). Рост темпов строительства существенно повысил спрос и потребность в стеновых материалах, которых на данный в г. Мэкэле ощущается острая нехватка.

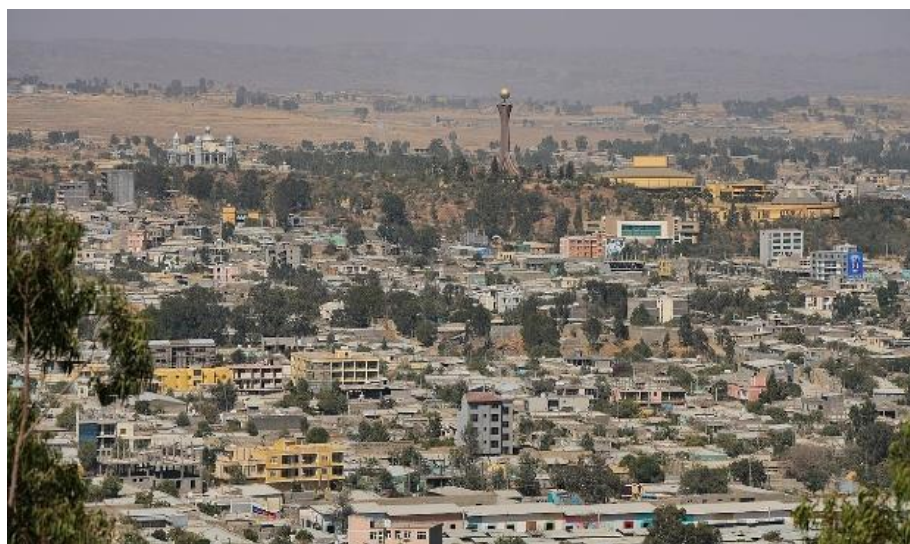


Рисунок 1- Вид на город Мэкэле.



Рисунок 2 - Архитектурные памятники г. Мэкэле.

Проведённый нами совместно с представителями университета г. Мэкэле комплексный анализ позволил определить, что наиболее оптимальным решением по увеличению производства и повышению их разнообразия стеновых изделий, является организация производства безобжигового кирпича компрессионного формования (КФ) или как часто принято называть в России гиперпрессованного кирпича, хотя данное название с технологической точки зрения не совсем верно. Приставка «гипер» при добавлении к существительному подразумевает явление, свойство, процесс, которые выше какой-либо нормы. Формование же кирпича по указанной технологии не превышает удельного давления 40 МПа. При таких давлениях формируется керамический кирпич полусухого прессования. Керамическая плитка прессуется на современных прессах при удельных давлениях выше 50 МПа. Поэтому удельные давления прессования кирпича в пределах 20-40 МПа являются обычными для современного уровня развития технологий. Выбор безобжиговой технологии компрессионного формования (ТКФ) для организации производства стеновых изделий на

севере Республики Эфиопия, и в частности в городе Мэкэле, обусловлен следующими взаимосвязанными факторами.

Организация производства по данной технологии имеет смысл в непосредственной близости от нахождения основного сырья – заполнителя фракционного состава 0-5 мм, который составляет 88-94 % от массы самих изделий. Геологическое строение северной Эфиопии характеризуется наличием толщи мезозойских осадочных и вулканогенно-осадочных пород, среди которых выделяются различные виды известняков, доломиты, мрамора, вулканические туфы и другие породы. Несмотря на то, что в технологии компрессионного формования в качестве заполнителя могут использоваться различные достаточно прочные горные породы и промышленные отходы, в качестве основного сырья в 90 % случаев используются карбонатные породы. Это связано с тем, что данные породы являются относительно мягкими, твёрдость минерала кальцита, из которого они состоят, по шкале Мооса составляет всего лишь 3 единицы. Твёрдость других пород существенно выше. К примеру, твёрдость кварца, основного минерала песков, составляет 7 единиц. Твёрдость гранитного песка 6-7 единиц. Это очень важный момент в технологии компрессионного формования, так как за счёт высокой твёрдости сырьевых материалов происходит быстрый износ пресс-форм, что существенным образом сказывается на себестоимости изделий [1,2]. В настоящее время около города Мэкэле разрабатывается несколько карьеров карбонатных пород – для производства цемента и для стеновых камней, которые получают непосредственной распиловкой горных пород (рис. 3). Данная технология достаточно простая. По временным выставленным на определённом уровне рельсовым путям передвигается камнерезный станок с горизонтальной и вертикальной резкой. Проведя резку на одном уровне, станок опускается ниже.



Рисунок 3 - Разработка карбонатных пород для получения пиленных стеновых камней.

Следующим важным моментом для организации производства безобжиговых стеновых изделий около города Мэкэле, является то, что технология компрессионного формования в сравнении с керамическим кирпичом, не требует большого объёма инвестиций, отличается малой энергоёмкостью, низким расходом наиболее дорого компонента – цемента. Само производство может находиться буквально под открытым небом или навесами. Основными операциями в технологическом процессе являются подготовка сырьевых материалов, которая заключается в их дроблении (на щековых, молотковых, роторных и других дробилках) и их фракционировании (рассеве). Дозирование и тщательное смешивания измельчённых пород с цементом, пигментами и водой. Главный смысл этой операции заключается в подборе зернового состава сырьевых материалов, который обеспечивает плотнейшую упаковку зёрен при прессовании. Это позволяет существенно сократить расход цемента и получить более прочные изделия. Плотнейшая упаковка может достигаться как при непрерывистом зерновом составе, так и при

прерывистом. Однородность смешивания достигается с помощью скоростных интенсивных смесителей или так называемых смесителей-механоактиваторов.

Формование изделий может осуществляться на прессах различных типов и может быть, как двухсторонним, так и односторонним. Целесообразнее всего можно осуществлять на гидравлических прессах с двухсторонним приложением нагрузки. В России для технологии компрессионного формования фирмой «Канон» разработаны специальные пресса, которые не уступают импортным по техническим характеристикам, но стоимость их существенно меньше, и они более просты в обслуживании [4]. К примеру, пресса А100.2, А300.4 с производительностью 800-1200 штук изделий в час (рис. 4). Также фирма «Канон» разработала и реализует готовые технологические линии по производству безобжигового кирпича компрессионного формования. По соотношению цены и качества они являются наиболее приемлемыми для Республики Эфиопия. Замена пресс-форм на данном прессе не занимает много времени.

Укладка готового кирпича (паллетизация) может осуществляться вручную и с помощью автоматических роботизированных укладчиков. Так как для климата Эфиопии не требуется пропаривания кирпича для ускорения набора прочности, укладка может происходить на основные продаваемые поддоны. Твердение кирпича происходит естественным образом при температуре окружающей среды. Для этого поддон с кирпичом закрывается полиэтиленовой плёнкой. После твердения можно осуществлять рустирование кирпича с помощью раскалывания кирпича, тёски, галтовки и т.д. Также возможен выпуск сейсмостойкого кирпича, так называемого кирпича-лего (рис. 4).

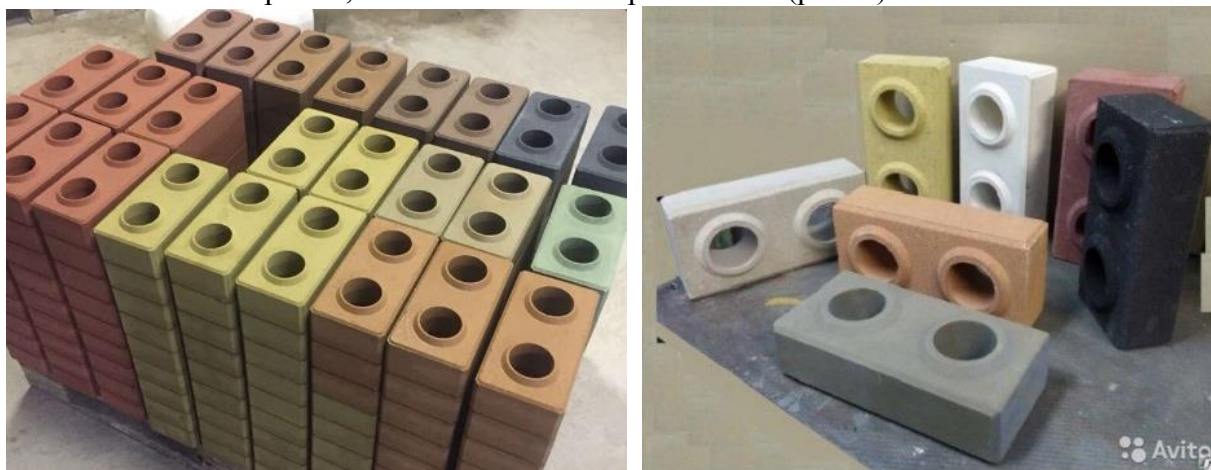


Рисунок 4 - Сейсмостойкий кирпич-лего компрессионного формования.





Рисунок 5 - Различные виды кирпича компрессионного формования.

Также очень важным преимуществом кирпича компрессионного формования является его разнообразие как по формам, так и по цветовой палитре, что может существенно разнообразить архитектуру северной Эфиопии (рис. 5). Ввод тонкомолотых металлургических шлаков позволит получать на основе базовых жёлтого, бежевого и светло-серого цветов коричневые цвета [5]. Ввод в небольших количествах пигментов позволит получать кирпич зелёной и синей палитры. Разнообразие форм также открывает широкие возможности для национальных архитекторов и строителей [6]. Следует отметить, что высокая плотность кирпича КФ очень подходит для климата северной Эфиопии – днём кирпич медленно нагревается, а ночью медленно отдаёт тепло.

Таким образом, можно говорить, что наработки в данном направлении и оборудование, производимое в России, при тесном сотрудничестве с коллегами-строителями из города Мэкэле будут способствовать росту производства стеновых изделий в северной Эфиопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котляр В.Д., Курилова С.Н. Структурообразование и свойства прессованных цементно-минеральных композитов с добавкой пористого низко модульного компонента. Ростов-на-Дону.: РИЦ РГСУ, 2014. 214 с.
2. Талпа Б.В. Безобжиговый кирпич из техногенного карбонатного сырья Юга России // Строительные материалы. 2003. № 11. С. 50-51.
3. Талпа Б.В., Бойко Н.И., Котляр В.Д. Новые виды минерального сырья на юге России // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки 1995. № 2. С. 50-51.
4. Официальный сайт ООО «НПР «Канон» – <http://www.presscanon.com/>. Дата обращения 20.01.2021 г.
5. Mohammed, K.J., et al., “Using of Steel Slag in Modification of Concrete Properties” Engineering & Technology Journal, Vol. 27, No. 9, 2009.
6. Краморова В.И., Котляр В.Д. Скульптурный кирпич в современном дизайне. Строительство и архитектура – 2015. Материалы международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону. 2015. С. 349-351.

Д.О. Гулян

*Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
Краснодар, Россия*

Аннотация. Раскрыты основные проблемы, связанные с выбором строительного материала при осуществлении реставрационных или восстановительных работах на объектах архитектурного наследия. Отмечена актуальность темы исследования с позиции ее практической значимости. Рассмотрены важные вопросы культурной ценности указанного наследия. Отдельное внимание обращено на выполнение принципа аутентичности и соответствии историческому внешнему и внутреннему обликам зданий и сооружений архитектурного наследия. Большое значение уделено физико-химическому составу и технико-эксплуатационным качествам избранного строительного материала.

Ключевые слова: архитектурное наследие, материал, реставрация, восстановление, подлинность, история, объект, сохранение, ценность.

В настоящее время наиболее остро стоит вопрос комплексной реставрации, восстановления, в отдельных случаях подновления определенных частей памятников архитектурного наследия, являющегося одним из видов культурной ценности. Исключительная ценность указанных памятников заключается, во-первых, в том, что они являются уникальным источником о культуре предыдущих поколений, о национальных традициях, сохранившихся на протяжении длительного времени, дают прекрасную возможность изучить историю своего народа. При этом главной задачей при приведении указанных работ являются принципы аутентичности – подлинность первоначальному виду и соответствие историческому прошлому.

Прошлое тесно связано с понятием времени и без определения отношения к нему понять, что такое прошлое, невозможно [1]. Прошлое – это не то, что «прешло и исчезло», как выражался Гегель, сохранившись лишь в памяти историка или вообще в коллективной памяти (это время еще Августин называл прошедшим), а то, что продолжает существовать в иной форме и действовать [2, с. 19]. Таким образом исторический контекст, непосредственно и опосредованно связан с памятниками архитектурного наследия.

При этом большинство памятников архитектурного наследия утратили свой оригинальный вид, так как используемые для строительства материалы со временем находятся в неудовлетворительном состоянии или пришли в полную негодность.

Чтобы правильно оценить качество строительных материалов, используемых в объектах архитектурного наследия необходимо тщательно изучить и проанализировать их текущее техническое и художественное состояние. Таким образом исторический контекст, непосредственно и опосредованно связан с памятниками архитектурного наследия.

Несмотря на наличие большого количества теоретических и практических трудов в области сохранения и реставрации указанных памятников, вопрос выбора того или иного материала для восстановления или подновления подлинных частей архитектурного объекта, по-прежнему остается актуальным [3, с.85].

Цель исследования состоит в выявлении основных принципов применения того или иного строительного материала в реставрационных или восстановительных работах на объектах архитектурного наследия.

Задача исследования заключается в изучении номенклатуры, а также технических показателей и сведений о возможном его использовании в реставрации или восстановлении объекта архитектурного наследия.

Объектом исследования являются здания и сооружения, находящиеся на территории Краснодарского края и материалы, способные максимально восстановить аутентичный облик.

Предмет исследования – корреляция компонентов, в том числе характеристик строительных материалов и исторического образа гражданских зданий и сооружений.

Методы исследования – системный подход к выбору строительного материала на основе научного анализа, а также проблемно-логический метод с точки зрения выбора указанного материала.

Практическая значимость выбранной темы заключается в том, что результаты данного исследования можно использовать при решении вопросов, связанных с реставрацией или восстановлением памятников архитектурного наследия.

Особо стоит отметить, что при осуществлении выбора строительного материала необходимо прежде всего руководствоваться анализом его свойств близким по техническим показателям к первоначальным, в особенности по отношению к агрессивной, часто меняющейся внешней среде.

Вместе с тем, в обследовании необходимо обратить внимание на деформированные части здания архитектурного наследия, а также изменения физико-химических свойств конструктивных элементов его частей.

Иногда существует безотлагательная необходимость «выработать первоочередные меры по защите здания от дальнейшего разрушения и начать непосредственное восстановление строительных конструкций в условия функционирования» объекта [4, с. 10]».

Среди профессионально отреставрированных памятников архитектурного наследия Краснодарского края можно выделить множество объектов, в частности Собор Святого Архистратига Михаила в Сочи, который был построен по проекту известного мастера поздней эклектики русского архитектора А.С. Каминского. Собор на протяжении длительной своей истории неоднократно менял свой экстерьер и внутреннее пространство, что соответственно у многих прихожан это вызывало отчуждение.

В 1992-1994 г. благодаря проведенной реставрации собор был «отреставрирован по проекту архитектора Ф.И. Афуксениди, вернув тем самым храмовому комплексу первоначальный архитектурный и художественный облик [5-7]» (рис. 1-2).

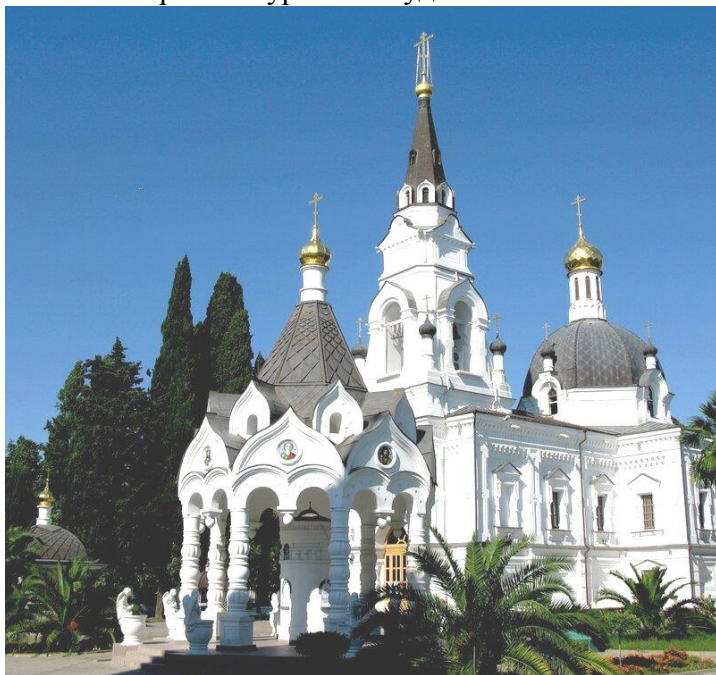


Рис. 1. Сочи. Собор Святого Архистратига Михаила. Современный вид

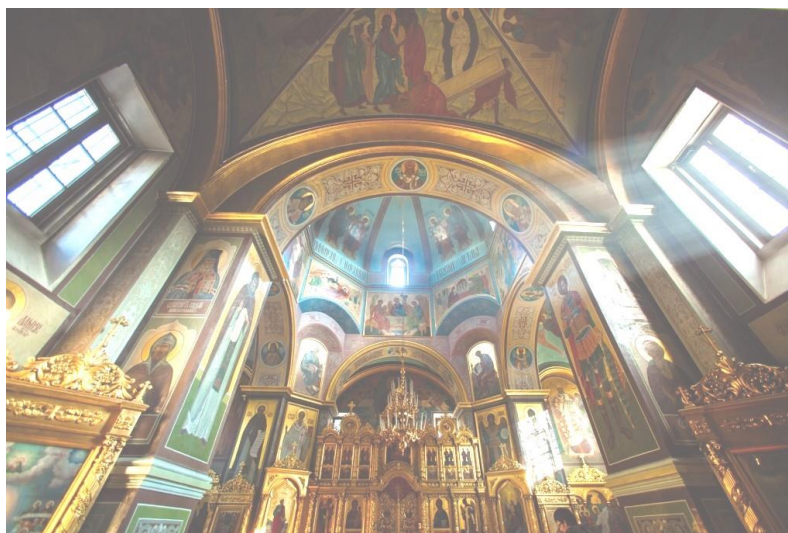


Рис. 2. Сочи. Интерьер Собора Святого Архистратига Михаила

Вместе с тем выбранные для реставрации архитектурного наследия строительные материалы существенно влияют на зрительное восприятие архитектурного облика объекта, на его художественно-эстетические качества. Не менее важное значение следует отдавать технико-экономическим обоснованиям при проведении реставрации. Также надлежит неукоснительно учитывать действующие нормы и правила при осуществлении реставрационных и восстановительных работ, соответствующий учет природных факторов.

В настоящее время современные материалы разрабатываются на основе нанотехнологий с применением инновационных материалов, которые максимально соответствуют необходимым параметрам для выполнения комплексных работ по реставрации.

Наряду с этим выбор необходимых строительных материалов должен быть выполнен еще на предварительном этапе соответствующего материаловедческого исследования объекта реставрации или восстановления с необходимым выявлением как состава материала, так и применяемых технологий. Вместе с тем ошибки реставраторов в выборе надлежащего строительного материалов часто проявляется из-за недоучета эксплуатационных свойств.

Также необходимо принимать меры «по устранению интенсивного разрушения и обеспечению длительной сопротивляемости наружной отделки климатическим и эксплуатационным факторам [8]. Предпочтителен тот вариант, применяемый в процессе выполнения реставрационно-восстановительных мероприятиях при котором применяется наибольшее количество аутентичного материала, без какого-либо снижения эксплуатационно-технических качеств и соответствующей функциональности конструкций объекта.

В заключение следует отметить, что здания и сооружения архитектурно-градостроительного наследия – уникальное национальное богатство нашей страны [9]. В тоже время глубокие художественно-эстетические качества, высокая степень сохранности указанного наследия, являющегося хранителем национального историко-культурного потенциала, обеспечивают особую инвестиционную привлекательность любого населенного места. Соответственно непреложным условием для сохранения объектов указанного наследия должно быть своевременное проведение реставрационных и восстановительных работ. От того насколько вовремя были выполнены указанные работы, зависит продолжительность их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Г.И. Прошлое как объект истории // Genesis: исторические исследования. 2017. № 10. С. 1–19.

2. Каримский А.М. Философия истории Гегеля /А.М. Каримский. М.: Изд-во МГУ, 1988. 270 с.
3. Субботин О.С. Особенности использования строительных материалов в реставрации архитектурно-градостроительного наследия // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. № 3. С. 85–89.
4. Хританков В.Ф., Пичугин А.П., Пчельников А.В., Смирнова О.Е. Реконструкция главного корпуса архитектурного ансамбля курорта «Озеро Карачи» // Жилищное строительство. 2020. № 8. С. 9–15.
5. Субботин, О.С. История архитектуры православных храмов Черноморского побережья России // Жилищное строительство. 2013. № 10. С. 18–22.
6. История Сочи в открытках и воспоминаниях. Старый Сочи. Забытые страницы. Конец XIX-начало XX вв. / сост. Т.Н. Полухина. испр. и доп. Майкоп: Полиграфиздат «Адыгея», 2007. Ч. I. 136 с.
7. Субботин, О.С. Архитектурно-планировочное наследие Сочи // Жилищное строительство. 2012. № 5. С. 48–51.
8. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пименов Е.Г., Никитенко К.А. Защитно-отделочные составы и композиции для ремонтных работ и обеспечения долговечности зданий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 11 (719). С. 69–77.
9. Субботин О.С. Проблемы сохранения архитектурно-градостроительного наследия в условиях современного города (на примере Краснодара) // Жилищное строительство. 2017. № 7. С. 35–40.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

К.П.Гусев, В.В.Ларичкин., К.Ш.Арынгазин

Новосибирск, Россия

Павлодар, Казахстан

Аннотация. В статье приведён состав, технология изготовления и результаты исследований физико-механических свойств образцов строительных материалов, содержащих золу уноса от сжигания на электростанциях бурых углей Канско-Ачинского месторождения и костру льна - отхода льнопереработки. Установлено, что образцы, изготовленные под давлением 10...25 МПа, имеют прочность в пределах 38...45 МПа, что соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к конструкционному арболиту. Показано, что после снятия нагрузки эти изделия сохраняют форму и геометрические размеры.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, костра льна, строительные материалы, физико-механические свойства,

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION AND RESEARCH OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS ON THE BASIS OF INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL WASTE

K.P. Gusev, V.V. Larichkin (Novosibirsk, Russia)

K.Sh. Aryngazin (Pavlodar, Kazakhstan)

Annotation. The article presents the recipe, manufacturing technology and results of studies of the physical and mechanical properties of samples of building materials containing fly ash from combustion at power plants of brown coal from the Kansko-Achinsky deposit and flax, a waste of

flax processing. It has been established that samples made under a pressure of 10 ... 25 MPa have strength in the range of 38 ... 45 MPa, which corresponds to the regulatory requirements for a structural wood concrete. It is shown that after removing the load, these products retain their shape and geometric dimensions.

Key words: *ash and slag waste, flax fire, building materials, physical and mechanical properties.*

При выработке тепловой и электрической энергии путём сжигания на тепловых электростанциях углеродного топлива, образуется большое количество твердых побочных продуктов - золошлаковых отходов (ЗШО). На угольных ТЭС РФ эти отходы в основном смешиваются с водой и гидротранспортом удаляются на золоотвалы. Это, не только создаёт дополнительные экологические проблемы – пыление, отчуждение дорогих городских земель, загрязнение почвы и грунтовых вод, но и экономически не рационально. Исследование химического состава ЗШО от сжигания бурых углей разных месторождений показывает, что в таких отходах может содержаться достаточно много вяжущего компонента – оксида кальция (CaO), который, например, в бетонах может частично заменить цемент. С другой стороны, ЗШО могут широко использоваться, как инертный материал, вместо, например, песка. Поэтому нет сомнений в актуальности поиска новых рецептур использования этого вторичного сырья.

С другой стороны, в сельскохозяйственном производстве образуется большое количество твердых органических отходов, таких как солома, костра льна и др. [2] В настоящее время они либо сжигаются, что создаёт загрязнение атмосферного воздуха, либо складываются, загрязняя почву и создавая «столовую» для грызунов, и лишь незначительная часть используется как вторичный материал.

В работе ставилась задача разработать состав легкого бетона, удовлетворяющего нормативным требованиям с максимально возможным содержанием твердых промышленных и сельскохозяйственных отходов.

Одним из перспективных материалов для малоэтажного строительства является костробетон – разновидность легкого бетона, в состав которого входит органический заполнитель: костра лубяных культур [1]. В традиционных рецептурах самым дорогостоящим компонентом в его составе является цемент, производство которого создает много экологических проблем, прежде всего связанных с выбросами в атмосферный воздух. Использование в вещественном составе получения строительных материалов местных промышленных и сельскохозяйственных отходов не снижающих высокое качество изделий позволило бы снизить себестоимость готовой продукции, за счет низкой цены компонентов (отходов) и дало бы экологический эффект за счет снижения объемов образования отходов. Химический состав зол уноса, образующихся при сжигании бурых углей Канско-Ачинского месторождения, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Компонентный состав зол уноса при сжигании бурых углей Канско-Ачинского месторождения [3].	
Компонент	Массовое содержание, %
SiO ₂	23,2...43,96
CaO	22,93...40,5
Al ₂ O ₃	7,65...12,5
Fe ₂ O ₃	10,26...15,13
MgO	2,41...4,52
TiO ₂	0,41...0,86
K ₂ O	0,2...0,94
Na ₂ O	0,24...1,23
SO ₃	0,81...4,56

Для разработки рецептуры была спроектирована карта составов костробетона, которая представлена на рис. 1.

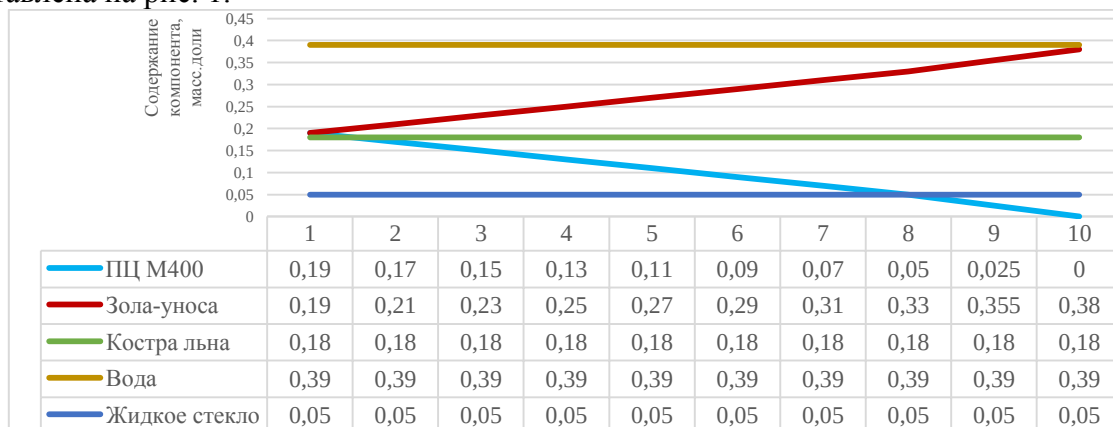


Рисунок 1 - Процентный состав образцов для исследования влияния замещения цементного вяжущего на ЗШО

Массовый состав каждого из образцов представлен на рис. 2.

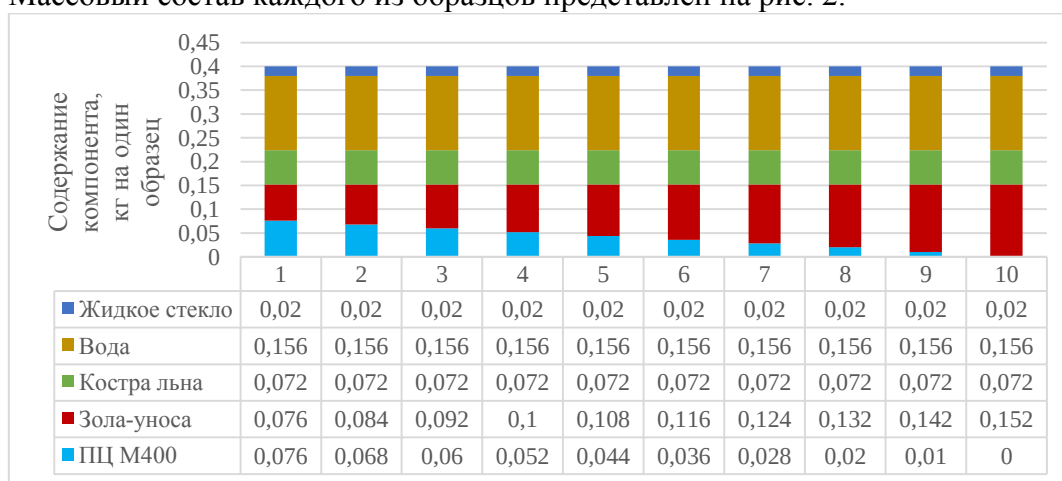


Рисунок 2 - Массовый состав образцов для исследования влияния замещенного цементного вяжущего на ЗШО

Технология получения образцов костробетона с использованием отходов состояла из следующих этапов:

- костру льна извлекали из льнотресты путем деления ее на фрагменты 150 ... 200 мм;
- полученные фрагменты пропускали через режущую мельницу. На выходе получали костру, фракцией 3...5 мм, насыпной плотностью 150 кг/м³;
- параллельно подготавливали вяжущее из цемента марки М400 и золы-уноса, взятых в ранее обозначенных пропорциях. Отдельно готовили раствор, состоящий из жидкого натриевого стекла, разбавленного водой в соотношении 1:7;
- в емкость для получения готовой смеси добавляли поочередно вяжущее и раствор жидкого стекла. Путем смешивания доводили смесь до однородной массы, после чего в эту же емкость высыпали расчетное количество костры и продолжали перемешивание до однородного состояния;
- полученную смесь свободно укладывали в форму или прессовали. Готовые образцы высушивали при комнатной температуре.

Для изучения физико-механических свойств образцов было изготовлено несколько их серий, имеющих разные составы, но одинаковую форму в виде куба 70 мм x 70 мм x 70 мм. Пример полученных после формования образцов показан на рис. 3.



Рисунок 3 - Образцы костробетона после формования

Для исследований были изготовлены образцы с прессованием и без него (ручным формованием), а также в которых цемент был полностью замещен на ЗШО. Прессование проводилось с помощью гидравлического пресса при разном давлении от 5 до 25 МПа, с шагом 5 МПа.

Все образцы имели однородную поверхность, которая при увеличении имела фактуру, представленную на рис. 4.



Рисунок 4 - Фактура полученного образца костробетона

Таблица 1

Средняя плотность образцов костробетона, полученных ручным формованием

Серия образцов	Средняя плотность, кг/м ³
1-19-19-С	613,12
2-21-17-С	618,37
3-23-15-С	593,73
4-25-13-С	627,55
5-27-11-С	622,74
6-29-9-С	613,41
7-31-7-С	598,54
8-33-5-С	601,60
9-35,5-2,5-С	571,86
10-38-0-С	539,94

Образцы костробетона проходили испытания по методикам ГОСТ [4...7].

Средняя плотность рассчитывалась как среднее арифметическая величина результатов испытаний всех образцов, входящих в серию (табл. 1, 2)

Таблица 2

Средняя плотность образцов костробетона, полученных прессованием при различных

Серия образцов	Давление прессования, МПа	Средняя плотность, кг/м ³
1-38-0-5	5	679,30
2-38-0-10	10	762,97
3-38-0-15	15	723,61
4-38-0-20	20	725,07
5-38-0-25	25	773,47

Видно, что полученные образцы имеют значения средней плотности согласно ГОСТ 19222-84 [5], отвечающие арболиту конструкционного вида.

Согласно ГОСТ 10180-90 [6] образцы проходили испытания на прочность при сжатии. Результаты испытаний приведены в таблицах 3, 4.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на прочность при сжатии, полученных ручным

Серия образцов	Максимальная нагрузка, кН	Удлинение, мм
1-19-19-С	0,978	24,64
2-21-17-С	0,972	23,57
3-23-15-С	0,406	4,520
4-25-13-С	0,413	4,520
5-27-11-С	0,408	4,528
6-29-9-С	0,410	4,531
7-31-7-С	0,665	4,575
8-33-5-С	0,670	4,576
9-35,5-2,5-С	0,667	4,571
10-38-0-С	0,435	5,230

Характерно, что образцы, полученные прессованием, после снятия нагрузки оставались целыми и постепенно восстанавливали свои геометрические размеры. Это свойство указывает на то, что данные образцы соответствуют арболиту конструкционного вида, что также подтверждают результаты, полученные при расчете средней плотности.

Испытания образцов на водопоглощение проводились согласно ГОСТ 12730.3-78 [7]. Значение водопоглощения рассчитывалось как среднее арифметическая величина результатов испытаний всех образцов, входящих в серию (табл. 5).

Таблица 4

Результаты испытаний образцов на прочность при сжатии, полученных прессованием при различных давлениях

Серия образцов	Максимальная нагрузка, кН	Удлинение, мм
1-38-0-5	0,859	3,060
2-38-0-10	45,00	21,90
3-38-0-15	38,39	23,95
4-38-0-20	43,32	22,67
5-38-0-25	45,00	19,16

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Композиция отходов, применяемых в работе, позволяет получать удобоукладываемые строительные смеси.
2. Образцы с ручным формованием и прессованием под давлением до 10 МПа, обладают низкой прочностью на сжатие, и не могут применяться в виде конструкционного арболита.
3. Образцы, изготовленные под давлением 10...25 МПа, имеют прочность в пределах 38...45 МПа и относятся к группе конструкционного арболита. Изделия сохраняют форму и геометрические размеры после снятия нагрузки, не разрушаются и не трескаются.
4. Разработанный состав костробетона и технология его изготовления позволяет включить в процесс изготовления строительных материалов существенный процент по массе изделий промышленных и сельскохозяйственных отходов, что решает многие экономические и экологические задачи.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов на водопоглощение		
Серия образцов	Масса водонасыщенного образца, г	Значение водопоглощения, %
1-19-19-С	398,20	89,35
2-21-17-С	398,50	87,88
3-23-15-С	405,10	98,92
4-25-13-С	402,60	87,04
5-27-11-С	421,60	97,38
6-29-9-С	378,10	79,70
7-31-7-С	404,20	96,88
8-33-5-С	398,90	93,31
9-35,5-2,5-С	375,03	91,20
10-38-0-С	360,80	94,81

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернацкий А.Ф. Использование отходов льнопереработки для производства теплоизоляционных изделий / А.Ф. Бернацкий, О.Е. Смирнова // Изв. вузов. Строительство. - №3 – 2007. – С.42-46.
2. Денисов А.С. Ресурсы и местное сырье в строительном материаловедении / А.С. Денисов, А.П. Пичугин, Х.В. Фишер // Инновации и продовольственная безопасность. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2017. – № 1 (15). – С. 38–46.
3. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола уноса – техногенное сырье / В.В. Зырянов, Д.В. Зырянов – М.: Изд-во Маска, 2009. – 319 с.
4. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности [Текст]. – Введ. 1980–01–01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 5 с.
5. ГОСТ 19222-84. Арболит и изделия из него. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 1985–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 24 с.
6. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – Взамен ГОСТ 10180-78; введ. 1991–01–01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 31 с.
7. ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Метод определения водопоглощения [Текст]. – Взамен ГОСТ 12730-67; введ. 1980–01–01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 4 с.

УДК 624.131

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГРУНТОВ И СПОСОБЫ ИХ МОДИФИКАЦИИ

О.А.Игнатова, А.А.Дятчина

г.Новосибирск, Россия

Аннотация. В данной статье выполнен анализ морфологии грунтов Новосибирской области, их элементного и рентгенофазового состава. Проведенные исследования позволяют определить рациональные направления модификации суглинистых грунтов. На основании результатов исследований предложено диспергирование грунтов, активация кислыми золами ТЭЦ и обработка гидрофобизирующими составами.

Ключевые слова: анализ грунтов, кислые золы, гидрофобизирующие пропитки

В настоящее время в Российской Федерации примерно 30% автомобильных дорог не имеют твердого покрытия.

Общая протяженность дорожной сети Новосибирской области – 14759 км, из которых 12770 км дороги регионального значения, из них 2447 км (19%) являются грунтовыми. При этом, в Сибири в основном встречаются грунты непригодные или малопригодные по критерию минералогического состава. Неглубокое залегание грунтовых вод в сочетании глинистыми и суглинистыми грунтами вызывает мерзлотное пучение почв, что значительно осложняет строительство дорог.

Повышение эффективности и качества грунтобетона дорожного назначения является актуальной проблемой, которая не может быть успешно решена, без модификации химическими добавками, влияющими на структуру и свойства получаемого материала.

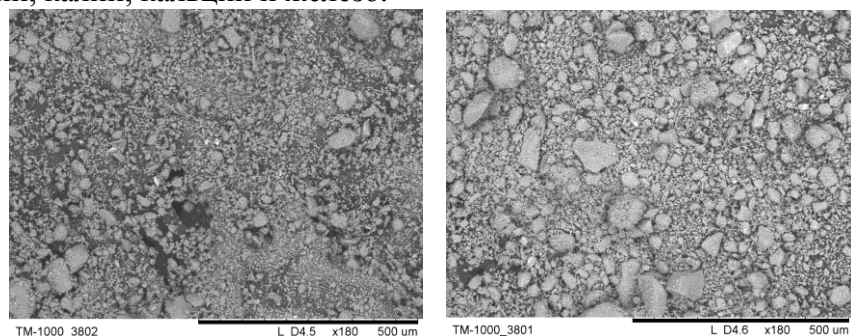
Для выбора оптимальных способов стабилизации были проведены исследования грунтов Новосибирской области. Использованы грунты со строительства дорог п.Кольцово (№1) и аэропорта Толмачево (№2).

Испытаниями установлено, что грунты - это суглинки пылеватые со следующими характеристиками: средняя влажность 13,1%, верхний предел пластичности - влажности на границе текучести W_L - 31,9 %, нижний предел пластичности - влажности на границе

раскатывания – W_p - 19,6%, показатель пластичности I_p , - 12,3 %. Суглинки относятся к карбонатным, pH водной вытяжки – 11.

Данные о морфологии грунтов и их элементном составе получены с использованием сканирующего электронного микроскопа HITACHI TM1000 и энергодисперсионного спектрометра TM-1000 EDS. Рентгенограммы получены на порошковом дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS, Германия).

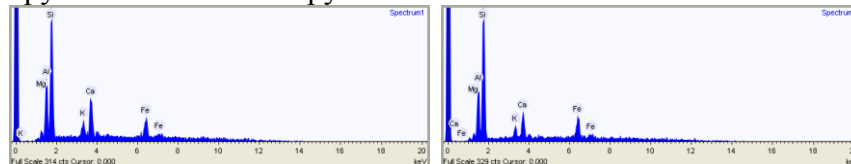
Морфология грунтов представлена на рис. 1а. Согласно данным энергодисперсионного анализа (рис. 1б) в грунтах присутствуют магний, алюминий, кремний, калий, кальций и железо.



а)

Грунт 1

Грунт 2



б)

Грунт 1

Грунт 2

Рис. 1. Морфология грунтов

Данные элементного состава, полученные с этой области (1б)

Element	Weight %	
	Грунт 1	Грунт 2
Magnesium	2.4	2.2
Aluminum	14.6	14.3
Silicon	34.9	38.6
Potassium	4.5	4.9
Calcium	17.3	11.2
Iron	26.4	28.8

Рентгенограммы образцов грунтов приведены на рис. 2, 3.

Из анализа полученных данных можно предположить, что грунты состоят из двух основных фаз - кварц SiO_2 и кальцит CaCO_3 , а также из 3 дополнительных: $(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}\text{F}_2$ и $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (рис.2б и 3б). Данные полуколичественного анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2

Фаза	SiO ₂	CaCO ₃	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Na(AlSi ₃ O ₈)	KMg ₃ (Si ₃ Al)O ₁₀ F ₂
масс. %	57	53	34	40	29
масс. %	60	40	30	38	32
Наименование фаз	кварц	кальцит	смешаннослойные глинистые минералы типа монтмориллонита	полевой шпат типа альбита	слюды группа биотитов

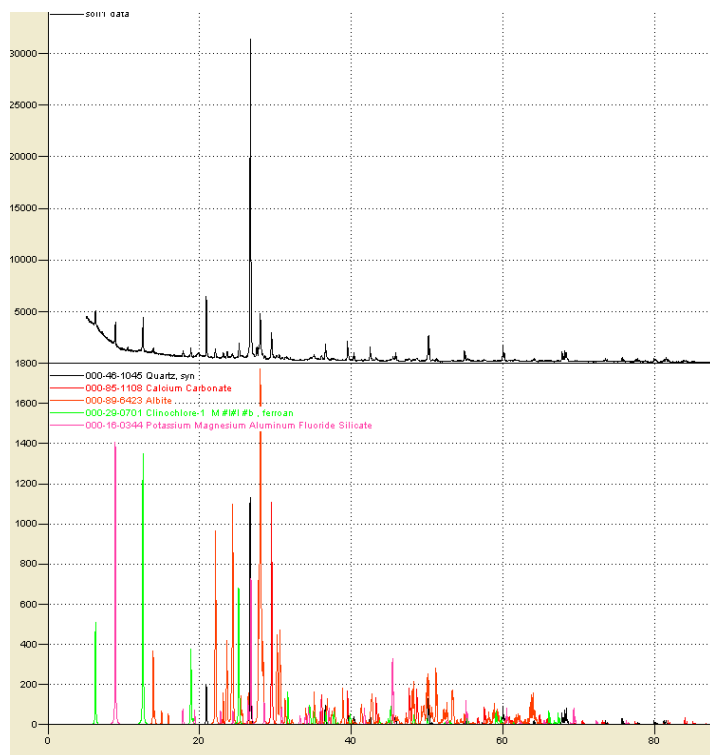


Рисунок 2 - Фазовый состав грунта №1:

а) – общий вид рентгенограммы; б) – присутствующие фазы из картотеки

Таким образом, основным минералом, отвечающим за стабильность структуры и свойств грунтов являются монтмориллонит. Монтмориллонитовые минералы представляют обширную группу тонкодисперсных слоистых силикатов и алюмосиликатов (глинистых минералов). Структура монтмориллонитов складывается из трехэтажного слоя, образованного двумя тетраэдрическими Si-O-сетками, заключающими между собой одну октаэдрическую (Al, Mg)-O-сетку. Между трехэтажными силикатными слоями расположены обменные гидратированные катионы Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ и дополнительные молекулы воды [1]. Это тип минералов, которые вследствие особенностей химического взаимодействия между трехэтажными слоями характеризуются разбухающей структурой.

Нейтрализация заряда слоев монтмориллонитов происходит за счет межслоевых катионов и является причиной одного из примечательных свойств - сорбции катионов, которые в дальнейшем при взаимодействии в водном растворе могут обмениваться на другие. Неорганические катионы в межслоевой промежутке монтмориллонитов могут замещаться крупными органическими молекулярными катионами, образуя органоминеральные комплексы.

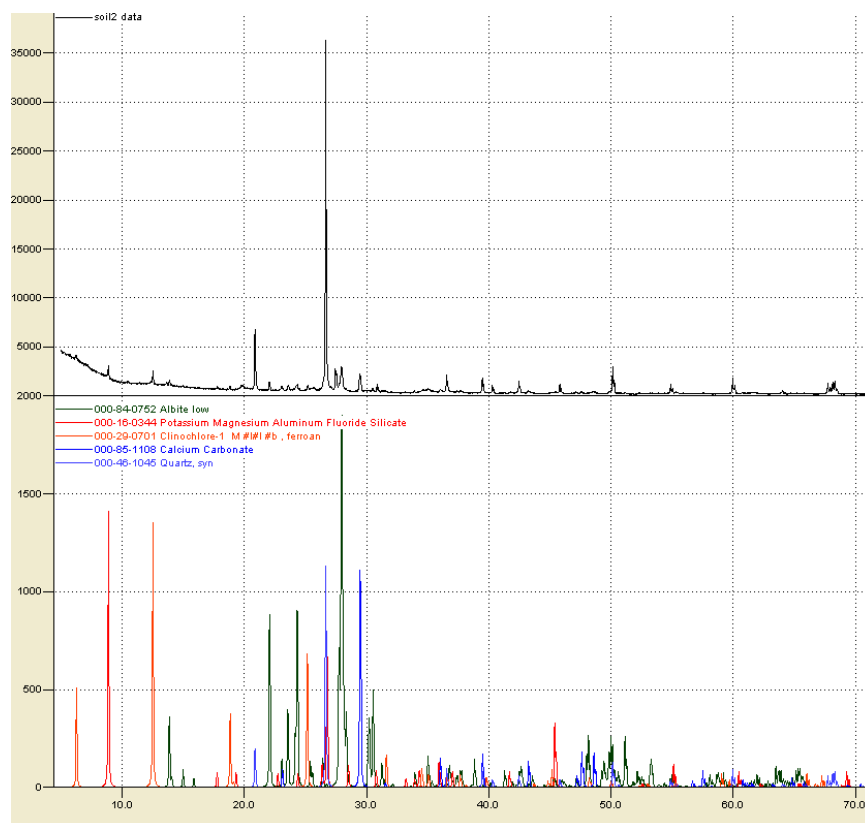


Рисунок 3 - Фазовый состав грунта №2:

а) – общий вид рентгенограммы; б) – присутствующие фазы из картотеки

Наряду с неорганическими и органическими катионами в межслоевой промежуток монтмориллонитов могут входить молекулы воды, вызывающие их внутрикристаллическое набухание.

Часто в различных технологических процессах монтмориллониты подвергаются термической обработке, приводящей к определенным структурным изменениям и, как следствие этого, к изменению их физико-химических свойств. Наряду с термической обработкой монтмориллониты часто подвергаются диспергации и кислотной активации, приводящим к нарушениям их структуры и изменениям физико-химических свойств.

Основным результатом механической и кислотной обработки монтмориллонитов является разрушение их кристаллитов. Таким образом, для устранения причин разбухания монтмориллонитовых глинистых грунтов целесообразны механическая диспергация в сочетании с кислотной активацией.

В данной работе перед изготовлением грунт высушивали и тщательно размельчали агрегаты, пропуская через сито 1,25 мм. Принята оптимальная влажность смеси – 11 -12%. При каждом добавлении воды грунт перемешивали, накрывали влажной тканью и выдерживали не менее 15 мин. Изготавливали грунто - минеральные смеси методом прессования при давлении 15 МПа, используя образцы диаметром 4 см.

Для обеспечения стабильности грунтов могут быть использованы кислые добавки, активирующие глинистые минералы и вступающие в реакцию с карбонатными включениями.

В работе оценки влияния добавок на суглинистые грунты НСО были использованы кислые золы Кузнецких каменных углей [2].

Золы состоят в основном из кварца β -SiO₂; муллита 3Al₂O₃·2SiO₂, гематита α -Fe₂O₃, реакционно-способного силикатного стекла. Установлено наличие 76 – 80% стеклофазы, Кк= 0,6 – 0,7. Их отличает способность связывать гидроксид кальция. После выдержки в течение 14 суток проводили испытания стабилизированных грунтов на прочность в сухом состоянии, после капиллярного водонасыщения

Испытаниями установлено полное размокание исходного грунта. Отмечена потеря структурной прочности, образец становится пластичным, расплзается. Составы с добавками кислой золы показали повышение прочности на 20-40% (табл.3).

Таблица 3

№ № соста	Состав	Относительная прочность, (средние значения), %
1	Грунт (контрольный)	100
2	Грунт +10% извести	123
3	Грунт + 12% цемента	151
4	Грунт + 12 %КУЗ	121
5	Грунт + 20% КУЗ	142

Для повышения строительно-технологических характеристик грунтобетонов одной добавки зол недостаточно. Была проведена его пропитка гидрофобизирующими добавками [3]. В работе использованы составы на основе силанов и силоксанов в органическом растворителе (СС) - 5* и водный раствор акрилового латекса (АЛ) - 5** (табл.4).

Предварительно была установлена эффективность этих пропиток на немодифицированном грунте.

Таблица 4

№№ составов (табл.3)	Составы	Состояние образца после насыщения водой	K _{разм}
1	Контрольный образец (грунт 100%)	полная потеря структурной прочности, переходит в состояние вязкого теста	0
5*	Грунт + 20% КУЗ обработанный гидрофобизатором СС	сохраняет структурную прочность и способность воспринимать механическую нагрузку	0,40
5**	Грунт + 20% КУЗ обработанный пропиткой АЛ	сохраняет структурную прочность и способность воспринимать механическую нагрузку	0,39

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность модификации суглинистых грунтов диспергацией, добавками кислых зол и обработкой гидрофобизаторами. Наибольшую эффективность показали гидрофобные кремний-органические силано-силоксановые и акриловые пропитки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты). Под ред.В.А.Франк-Каменецкого. – Л.: Недра, 1983. С. 359
2. Путилин Е. И. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог : обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / Е. И. Путилин, В. С. Цветков. – Москва: Союздорнии, 2003
3. Соболевский, М.В. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов / М.В. Соболевский, О.А. Музовская, Г.С. Попелева. – М.: Химия, 1975. – 256 с.

О МЕХАНИЗМЕ ВЛИЯНИЯ КАРБОНАТНЫХ ДОБАВОК НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ БЕТОНОВ

В.К.Козлова¹, Е.В.Божок¹, А.Н.Манюха¹, А.А.Кашицкий¹, В.А.Лотов², Ю.С.Саркисов²,
Н.П.Горленко²

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Аннотация. В работе рассматривается влияние добавок карбонатов кальция, магния и других металлов на коррозионную стойкость бетонов. Показано, что все виды химической коррозии приводят к изменению состава и структуры цементного камня в бетоне, изменению соотношения долей твердых жидких и газообразных фаз. При этом карбонизация цементного камня сопровождается карбонизационной усадкой. Предложен вероятный механизм действия карбонатных добавок на процессы коррозионной усадки цементного камня и коррозионной стойкости бетонов на его основе.

Ключевые слова: цемент, бетон, коррозионная стойкость, карбонизационная усадка, карбонатные добавки, механизм и прочность.

В процессе службы бетонные сооружения подвергаются постоянному действию агрессивных факторов окружающей среды. Наиболее распространенными видами химической коррозии бетона являются коррозия вымывания (выщелачивания), хлоридная, сульфатная и углекислотная коррозии. При этом коррозия вымывания и углекислотная коррозия сопутствуют всем видам физической и химической коррозии. Современными исследователями недооценивается масштабность коррозионных процессов при действии агрессивных компонентов воздушной среды, хотя в работе [1] показано, что все продукты гидратации цементов нестабильны по отношению к углекислоте.

Все виды химической коррозии за счет взаимодействия агрессивных компонентов с гидроксидом кальция в первую очередь приводят к снижению показателя pH порового раствора в бетоне. При этом, согласно Лотову В.А. [2] изменяется соотношение твердой жидкой и газообразной фаз. Следствием этого является не только изменение состава и структуры цементного камня в бетоне, но и активизация процесса коррозии арматуры, являющегося распространенной причиной ухудшения свойств бетонов.

Углекислый газ воздуха растворяется в паровом растворе бетона с образованием угольной кислоты, которая взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и CaCO_3 . В дальнейшем происходит внедрение карбонатных ионов в структуру сформировавшихся ранее гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, происходит формирование новых сложных гидратных фаз в виде гидрокарбоалюминатов кальция и гидрокарбосиликатов кальция [3]. Особенно опасно совместное протекание сульфатной и углекислотной коррозии, так как при этом в цементном камне на основе продуктов гидратации минералов силикатов может образоваться гидросульфокрбосиликат кальция - минерал таумасит $\text{CaH}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Особенно активно он образуется на основе продуктов взаимодействия гидроксида кальция с минеральными добавками, представленными активным кремнеземом (трепел, диатомит, микрокремнезем).

Кроме того, известно, что под действием углекислого газа происходит разложение сформировавшейся ранее в цементном камне эттрингитовой фазы.

Совместное действие факторов физической коррозии (колебания влажности, температуры и др.) карбонатных и гидрокарбонатных ионов в воздухе может приводить к усадочным явлениям и значительному снижению прочностных свойств бетонов не только в процессе службы, но и при длительном хранении в воздушной среде. Одной из причин интенсификации процессов карбонизации цементного камня в бетоне в районах с холодным

климатом является значительное увеличение растворимости углекислого газа в воде при низких положительных температурах, за счёт чего увеличивается количество углекислоты, реагирующей с бетоном.

Главными факторами, влияющими на степень углекислотного воздействия на цементный камень, являются относительная влажность и температура окружающей среды, пористость затвердевшего камня, состав продуктов гидратации цемента. По данным [4] при карбонизации цементного камня, под действием ещё недостаточно выясненных причин, происходит дополнительная необратимая усадка, называемая карбонизационной усадкой.

Рассмотрение протекающего химического взаимодействия позволяет предположить, что карбонизационная усадка по природе является разновидностью контракционной усадки. Причиной имеющих место усадочных деформаций в процессе карбонизации может быть образование гидрокарбосиликатов кальция, характеризующихся более плотной структурой по сравнению с гидросиликатами кальция, а также выделение в процессе карбонизации определенного количества воды в свободном состоянии.

Поскольку стойкость бетона против углекислотной коррозии в значительной степени определяется свойствами используемых цементов. В этой связи необходимо изготовление таких видов портландцементов, продукты гидратации которых обладает необходимой стойкостью против этого вида химической коррозии. В настоящее время в производстве строительных материалов всё более широкое применение получают композиционные портландцементы, представляющие собой гидравлическое вяжущее, состоящее из продуктов помола портландцементного клинкера и нескольких минеральных добавок. Оптимизировать параметры качества многокомпонентного цемента возможно с учетом индивидуальных особенностей отдельных компонентов, это позволяет получать специальные цементы различного назначения.

В настоящее время в России в общем объёме производства доля портландцементов с минеральными добавками составляет около 30%, при этом в качестве минеральной добавки используется, в основном, гранулированный доменный шлак. Освоение производства композиционных портландцементов сдерживается недостаточной изученностью процесса совместного влияния одновременно вводимых минеральных добавок на свойства получаемого портландцемента. Особенно это относится к использованию карбонатных добавок, вопрос об их активном участии в химических процессах, протекающих при гидратации композиционных портландцементов, до настоящего времени остается дискуссионным. В работе [5] рассмотрены процессы гидратации цементной суспензии с тонкоизмельченным доломитовым порошком. В такой суспензии в присутствии доломитовой добавки повышается степень гидратации цементных частиц и возникает большее количество новообразований.

Выполненное автором работы [6] определение активности карбонатных добавок по поглощению гидроксида кальция из его насыщенного раствора показало, что добавка молотого известняка связывает 35 мг CaO/ г добавки, добавка молотого доломита связывает 60 мг CaO/ г добавки.

За рубежом имеется значительный опыт производства и применения композиционных портландцементов, содержащих карбонатные добавки. Во Франции более 30% изготавливаемых портландцементов содержат от 5 до 20% карбонатной добавки, а в США при производстве композиционных портландцементов допускается введение до 50% таких добавок [7]. Необходимо отметить, что часть карбонатных добавок вводится в портландцементы в виде микрокарбонатов с удельной поверхностью 600-800 м²/кг. Необходимый эффект в этом случае может быть достигнут при введении цемент меньшего количества добавки.

В работе [8] показано, что при введении карбонатных микронаполнителей в сырьевые смеси при производстве всех строительных материалов на основе портландцемента в твердеющей системе увеличивается количество цементирующей связки и повышается прочность изготавливаемых материалов. Для продуктов твердения портландцемента с

песком и добавкой известняка характерна высокая дисперсность и улучшенная кристаллизация низкоосновных гидросиликатов кальция. Оптимальная добавка известняка приводит к повышению прочности продуктов гидратации C_3S почти в два раза. Наибольшее повышение прочности наблюдается при введении 30% добавки карбонатных микронаполнителей.

Авторами работы [9] показано, что введение в состав портландцемента карбонатсодержащих добавок способствует повышению коррозионной стойкости цементного камня не только по отношению к углекислотной коррозии, но и по отношению к сульфатной коррозии.

Результаты выполненных нами исследований показали, что введение карбонатных добавок в состав портландцемента одновременно способствует снижению величины карбонизационной усадки цементного камня [10].

В присутствии в цементе добавок карбоната кальция в процессе гидратации и твердения в цементном камне образуются и выкристаллизуются фазы, не характерные для продуктов гидратации портландцемента без таких добавок, но такие фазы способны в дальнейшем возникать в процессе углекислотной коррозии. При гидратации цемента, содержащего добавку кальция $CaCO_3$, имеющийся в составе продуктов гидратации гидроксид кальция $Ca(OH)_2$ образует с карбонатом кальция новую фазу - минерал дефернит $Ca(OH)_2 \cdot CaCO_3 \cdot nH_2O$, на базе гидроалюминатов кальция образуется гидрокарбоалюминат кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot nH_2O$, образовавшиеся гидросиликаты кальция превращаются в гидрокарбосиликаты различного состава. В продуктах гидратации такого цемента содержится минимальное количество свободного гидроксида кальция.

При любом виде химической коррозии бетона взаимодействие коррозионной среды с цементным камнем начинается с реакций с гидроксидом кальция. В продуктах гидратации портландцемента с карбонатными добавками количество гидроксида кальция значительно меньше, чем в продуктах гидратации бездобавочного цемента.

Таким образом, добавка карбоната кальция в цемент повышает практически его стойкость ко всем видам химической коррозии. То есть при определенных условиях коррозия изначально как разрушающий фактор может иметь и созидательное значение. По видимому можно утверждать, что введение карбонатных добавок в состав цемента является реализацией принципа «технического иммунитета», основанного на использовании добавок, содержащих ионы, одноименные с ионами агрессивной среды, имеющей место при эксплуатации бетонных изделий. Те взаимодействия между агрессивной средой и гидратированным цементом, которые возможны при коррозионном воздействии на цементный камень в процессе службы, осуществляются в процессе его твердения, пока гидратированный цемент способен деформироваться без разрушения структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1968. - 186 с.
2. Лотов В.А. Изменение фазового состояния системы цемент-вода при гидратации и твердении // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. №3. С. 42-45.
3. Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня [Электронный ресурс]: монография / С.В. Самченко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. - Электрон. дан. и прогр. (14 Мб). - Москва : НИУ МГСУ, 2016. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ). — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. — Загл. с титул.экрана.
4. Теория цемента / Под редакцией А.А. Пашенко. – К.:Будівельник, 1991. - 162 с.

5. Кудяков А.И. К вопросу о влиянии доломитового заполнителя на гидратацию цемента // Строительные материалы из попутных продуктов промышленности: межвузовский тематический сборник трудов. – ЛИСИ. – Л., 1981. - С. 72-83.
6. Малова Е. Ю. Композиционные портландцементы с карбонатсодержащими добавками и бетоны на их основе / Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук - Томск, 2015. – 22 с.
7. Куропятников Ю.Ю., Белов В.В. Влияние карбонатных модификаторов на физико-механические свойства газобетона // Сборник трудов «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании» - М.: МГСУ, 2011.
8. Воробьев А.А., Елфимов В.И. Роль карбонатных микрозаполнителей в цементных бетонах // Сб. Проблемы и пути создания композиционных материалов. - Новокузнецк, 2001. - с. 93
9. Федосов С.В., Соколов А.М., Козлова В.К., Лихошерстов А.А. Влияние комплексных добавок на коррозионную стойкость цемента // Сб. Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании, 2011. - с. 290.
10. Саркисов Ю.С. Влияние карбонатных добавок на усадочные деформации цементного камня // Саркисов Ю.С., Козлова В.К., Божок Е.В., Малова Е.Ю., Маноха А.М. // Техника и технология силикатов. Том 25. №1, 2018. - С. 7-11.
11. Козлова В.К., Лотов В.А., Саркисов Ю.С., Логвиненко В.В., Рахманова И.А., Божок Е.В. Процессы карбонизационной усадки строительных материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, Т. 21. №3 2019. С. 178-194.

УДК 691.42

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДОРОЖНОГО КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА

А.В.Котляр, Р.А.Ященко

*Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Дана сравнительная характеристика основных свойств дорожного клинкерного кирпича и тротуарной бетонной плитки. Показаны преимущества и недостатки данных изделий. Представлены основные технологические способы производства дорожного клинкерного кирпича. Дается обоснование, что способ компрессионного формования является наиболее перспективным для дорожного клинкерного кирпича, который позволяет получать многообразие форм изделий, широкую цветовую палитру, высокую прочность и морозостойкость изделий.

Ключевые слова: керамика, клинкерный кирпич, плитка, прочность, технология, компрессионное формование.

Дорожный клинкерный в последние годы всё больше начинает использоваться в строительстве. Это закономерно, так как он является более долговечным изделием в сравнении с бетонной тротуарной плиткой и обладает особыми эстетическими свойствами [1-3]. В Западной Европе дорожный клинкерный кирпич давно используется в городском дорожном строительстве и ландшафтной архитектуре и давно доказал свою состоятельность как прочный, долговечный и красивый строительный материал [3-7]. Приобретает всё большую популярность дорожный клинкерный кирпич и в нашей стране. Однако на данный момент в России выпуском данных видов изделий занимается всего лишь несколько заводов

с небольшим объёмом, крупнейшим из которых является Никольский кирпичный завод с производительностью 30 млн. штук в год (рис. 1,2). Существенным сдерживающим фактором для увеличения производства клинкерного дорожного кирпича и более широкого его применения является его форма. Дело в том, что наиболее распространённая в кирпичной отрасли технология экструзионного формования и последующие операции позволяют выпускать только простые формы – прямоугольник и квадрат. Это касается и зарубежных производителей у которых также наблюдается ограниченность форм (рис. 3).

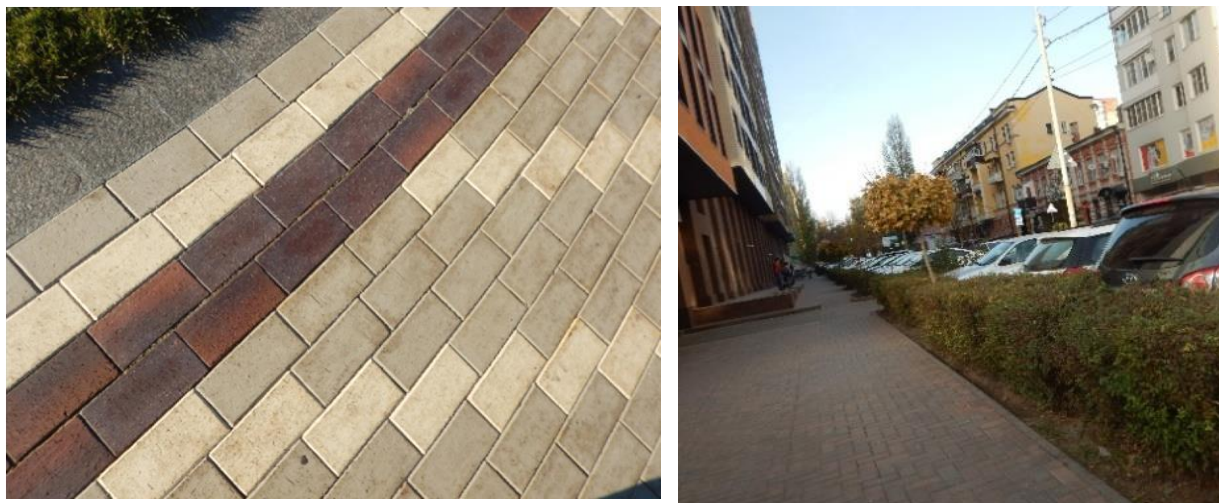


Рисунок 1 - Дорожный клинкерный кирпич Никольского завода на улицах Ростова-на-Дону.

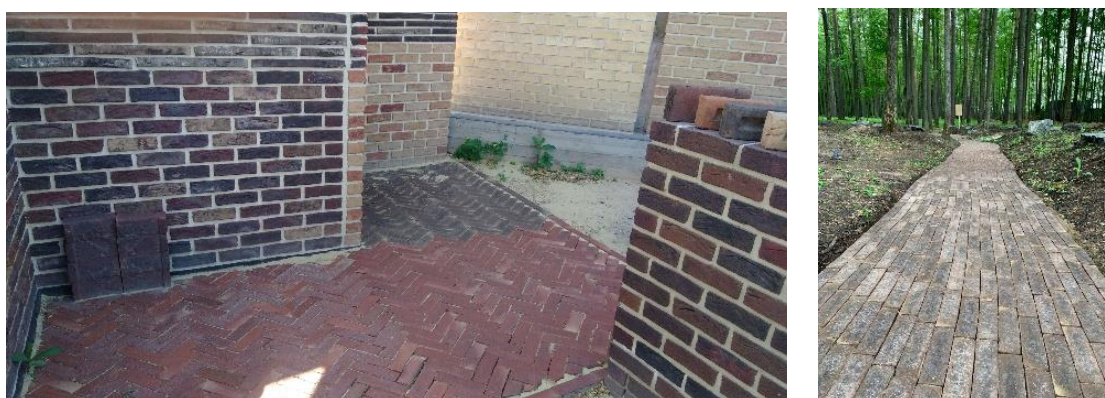


Рисунок 2 - Дорожный клинкерный кирпич, выпускаемый в г. Новочеркасске.

В этом плане дорожный клинкерный кирпич существенно проигрывает бетонной тротуарной плитке. Применяемые в технологии бетонной тротуарной плитки способы формования – литьевой, вибропрессование и гиперпрессование позволяют достичь существенно более широкого разнообразия форм в сравнении с клинкерным кирпичом (рис. 4). Следует отметить, что в названиях указанных изделий есть определённая нестыковка, что часто вводит потребителя в заблуждение. Так бетонные изделия называют обычно плиткой или плитами, что косвенно отражено и в ГОСТ 17608-2017 «Плиты бетонные тротуарные. Технические условия», керамические же изделия называют кирпичом, что обозначено в ГОСТ 32311-2012 «Кирпич керамический клинкерный для мощения», хотя данный ГОСТ допускает выпуск фигурного кирпича и доборного, предназначенного для выполнения определенной функции в готовом покрытии, например, для дренажа поверхностных вод, для ограничения краев дорожного покрытия.

Проведённый нами анализ способов формования показал, что получать фигурный или фасонный, как принято называть в стеновой керамике, клинкерный дорожный кирпич двумя способами. Первый способ – это способ мягкого формования. Раньше его называли

наливным способом, штамповкой или прессформовкой. Это когда из полужидкой или мягкой массы вручную или с помощью специальных формующих машин заполняются деревянные, пластиковые или металлические формы. Недостатком данного способа является продолжительность сушки и сложность механизации. Однако примитивность способа позволяет получать однородные по свойствам изделия, с возможностью двухслойной формовки, когда лицевой слой (толщиной ≈ 1 см), окрашивается в необходимый цвет.

Второй способ – это способ компрессионного формования, который обычно называют способ полусухого прессования, и при котором к формируемому изделию прикладывается удельное давление 100-400 кгс/см². Формовка изделий может проводиться на рычажных, ротационных и гидравлических прессах, однако последние являются более современными и перспективными, так как позволяют управлять процессом прессования и соответственно получать стабильно качественные изделия. При данном способе существенно упрощается процесс сушки и который даже может быть совмещён с обжигом. Также данный способ позволяет получать двухслойные изделия.

Оба способа предполагают ручную укладку изделий на сушильные и обжиговые вагонетки с использованием огнеупорного припаса, так как механизировать данные процессы для фигурных изделий достаточно сложно. Также данные способы предполагают использование малопластичного сырья или керамических масс, что имеет принципиальное значение, так как Россия обладает небольшими запасами традиционного спекающегося глинистого сырья. Работы, проводимые в ДГТУ в последние годы, позволили выделить новое нетрадиционное сырьё для получения клинкерных изделий – аргиллиты и аргиллитоподобные глины, которые являются камневидным трудноразмокаемым спекающимся при низких температурах глинистым сырьём [6-8]. Они идеально подходят для получения клинкерного кирпича как по первому, так и по второму способу, однако второй способ является более перспективным, так как позволяет существенно удешевить и ускорить технологический процесс, позволяет получать изделия с улучшенными физико-механическими свойствами, с ровными гранями и чёткими углами.



Рисунок 3 - Дорожный клинкерный кирпич, выпускаемый фирмой «Feldhaus Klinker».



Рисунок 4 - Формы бетонной тротуарной плитки.

Проведённые исследования позволили на наш взгляд разработать наиболее оптимальную на наш взгляд технологическую схему для производства дорожного клинкерного кирпича на основе аргиллитов и аргиллитоподобных глин с использованием отечественного оборудования. На рисунке 5 представлена вариативная технологическая схема производства (без вспомогательного оборудования – конвейера, питатели, бункера-накопителя) с возможностью использования различного оборудования отечественного производства.

Подготовка сырьевых смесей осуществляется полусухим способом. Исходное сырьё целесообразно подсушивать естественным способом – под навесами или в хорошо проветриваемом складе. Грубое измельчение сырья осуществляется на щековой дробилке. Среднее измельчение может осуществляться на дезинтеграторах или молотковых дробилках. Тонкое измельчение может осуществляться на маятниковых, стержневых или кольцевых дробилках. Ввод специально подготовленных добавок (окрашивающие, плавни при необходимости) и доведение сырьевой смеси до необходимой влажности может осуществляться в различных видах смесителей. Формование изделий целесообразнее всего можно осуществлять на гидравлических прессах (к примеру, пресс А100.2 фирмы «Канон»). Замена пресс-форм на данном прессе не занимает много времени. При использовании двух бункеров-питателей возможно изготовление двухслойных изделий.

Отформованные изделия могут сразу укладываться на обжиговые вагонетки с сушкой в туннельных сушилах. Для фигурного кирпича именно укладка на обжиговые вагонетки является тонким моментом, так возникает необходимость использования огнеупорного припаса. Укладка кирпича классической прямоугольной формы даже вручную существенно упрощается, при этом ручная укладка может быть заменена на роботы-укладчики, однако их использование для фигурного кирпича весьма проблематично.



Рисунок 5 - Вариативная технологическая схема производства дорожного клинкерного кирпича на основе аргиллитов или аргиллитоподобных глин

Обжиг клинкерного кирпича на основе аргиллитов или аргиллитоподобных глин осуществляется при температуре 1070-1120 °С как в окислительной, так и в восстановительной среде. Регулированием газовой среды в определённые периоды обжига можно добиться различных декоративных эффектов. Особенностью режима обжига является замедление скорости в интервале температур 1050-1120 °С. Обжиг лучше производить в камерных печах, так как они являются более управляемыми. Камерные печи имеют преимущества в плане регулирования газовой среды, однородности температурного поля по сечению печи, режима обжига, достижения высоких температур. Поэтому в странах Европы сохранилась традиция обжига дорожного клинкерного кирпича в камерных печах. Группировка их в модули с возможностью перетоков горячего воздуха и использования отходящего тепла, позволяет добиться сократить затраты на обжиг.

Разработанные нами технологические линии по производству дорожного клинкерного кирпича могут быть укомплектованы полностью отечественным оборудованием. Выбор конкретного оборудования для конкретной технологической линии и автоматизация процесса, что не представляет трудностей в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В., Яценко Р.А., Попов Ю.В. Особенности применения дорожного клинкерного кирпича светлого цвета // Строительные материалы. 2019. № 4. С. 44-49.
2. Салахов, А.М. Керамика для строителей и архитекторов. Казань: «Парадигма», 2009. 296 с.
3. Котляр А.В., Козлов А.В., Яценко Р.А. Клинкерный кирпич в современной архитектуре и строительстве. Архитектура. Строительство. Дизайн: история, опыт, новации. Монография. Воронеж, 2018. С. 48-57.
4. Езерский В.А. Клинкер. Технология и свойства // Строительные материалы. 2011. № 4. С. 79-81.
5. Котляр А.В., Талпа Б.В. Особенности аргиллитоподобных глин юга России как сырья для производства клинкерного кирпича. Актуальные проблемы наук о Земле. Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием. Ростов-на-Дону, 2015. С. 51-53.
6. Терёхина Ю.В., Котляр А.В., Небежко Ю.И., Небежко Н.И., Котляр В.Д. К вопросу о методах определения долговечности дорожного клинкерного кирпича и бетонной тротуарной плитки. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук, профессора В.П. Селяева. Саранск, 2019. С. 367-374.
7. Котляр А.В., Терёхина Ю.В., Котляр В.Д. К вопросу об испытаниях на морозостойкость дорожного клинкерного кирпича. Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России. Труды II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Новокузнецк, 2019. С. 94-97.
8. Котляр А.В. Генезис и общая характеристика аргиллитоподобных глин как сырья для производства клинкерного кирпича // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2016. № 3 (30). С. 14-21.

УДК 691.42; 552.55

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД

В.Д.Котляр, Ю.В.Терёхина

*Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Дана характеристика основных свойств кремнистых опоковидных пород, как сырья для производства различных видов изделий стеновой керамики. Представлены основные способы формования изделий стеновой керамики и технологические схемы производства. Показано, что широкое использование опок в производстве изделий стеновой керамики ограничивается отсутствием чётких методических рекомендаций по их испытаниям и по технологическим схемам производства в зависимости от вида изделий, разнообразие которых в последние десятилетия существенно расширилось.

Ключевые слова: керамический кирпич, керамический камень, опока, опоковидные породы, технология.

Кремнистые опоковидные породы широко распространены во многих регионах России. Они входят в обширную группу осадочных кремнистых опал-кристаллитовых

пород, основным отличительным признаком которых является наличие аморфного опалового кремнезёма и высокая микропористость. Данная группа пород представлена диатомитами, спонголитами, трепелами и опоками. Последние отличаются наиболее широким распространением и широким разнообразием, связанным с присутствием в различных количествах глинистых минералов и тонкодисперсного карбоната кальция [1-3]. Отличительным признаком опок от трепелов и диатомитов является их более высокая плотность ($1100-1800 \text{ кг/м}^3$), прочность и, что важно для технологии керамики, неразмокаемость или плохая размокаемость в воде.

В 70-х годах прошлого века учёными ВНИИСтрома, а в начале нынешнего века учёными Ростовского государственного строительного университета проводились большие работы по получению различных видов строительной керамики на основе кремнистых пород и прежде всего опок, как наиболее распространённого их вида [4-8]. Однако широкого применения опоки и их разновидности в производстве строительной керамики, не смотря на полученные положительные лабораторно-технологические и заводские результаты в силу определённых причин, не получили. Проанализировав ситуацию, мы выделили основные факторы, препятствующие вовлечению опоковидных пород.

Основной общей причиной является то, что российскому бизнесу на данном этапе развития нужны полностью готовые технологические и экономические решения, т.е. по сути готовые проекты. Однако вузы на инициативных началах могут предложить только поисковые технологические и проектные решения, но не готовые проекты. Специализированных отраслевых проектных организаций в России в промышленности стеновой керамики не осталось, и зарубежные фирмы активно продвигают свои проекты, которые часто не способствуют успешному развитию отрасли с учётом современных реалий и будущих перспектив. Что касается опоковидных пород, чтобы выбрать оптимальные технологические решения при проектировании предприятий по производству стеновых изделий на их основе и не совершить стратегических ошибок, надо учитывать следующие взаимосвязанные факторы, схематично показанные на рисунке 1.

Россия располагает крупнейшей сырьевой базой опоковидных кремнистых пород [3]. Однако, несмотря на общие объединяющие признаки (наличие аморфного опалового кремнезёма и высокая микропористость), данная группа пород отличается многообразием химико-минералогического состава, который определяет свойства получаемых изделий и выбор оптимальной технологии производства. В своё время по вещественному составу и технологическим особенностям нами выделено 8 разновидностей камневидных кремнистых пород – опок: малоглинистые; среднеглинистые; глинистые; малоглинистые карбонатные; среднеглинистые карбонатные; глинистые карбонатные; малоглинистые высококарбонатные; среднеглинистые высококарбонатные. Классификационными признаками в данной классификации являются содержание опалового кремнезёма, содержание глинистых минералов и содержание карбонатов. Классическими считаются опоки малоглинистые некарбонатные. Состав закономерно отражается на физико-механических свойствах и на свойствах получаемых изделий, разнообразие которых в последние десятилетия существенно расширилось. Так появился кирпич различных цветов и форм, различных размеров, с огромным разнообразием фактуры лицевой поверхности. К примеру, на рисунках 2-4 приведены фотографии керамического кирпича, произведённого по различным технологиям на основе различных видов опок.



Рисунок 1- Блок-схема взаимосвязи видов опоквидных пород, способов формования и видов стеновых керамических изделий.



Рисунок 2 - Лицевой керамический кирпич на основе среднеглинистых и глинистых опок, полученный по технологии мягкого формования.

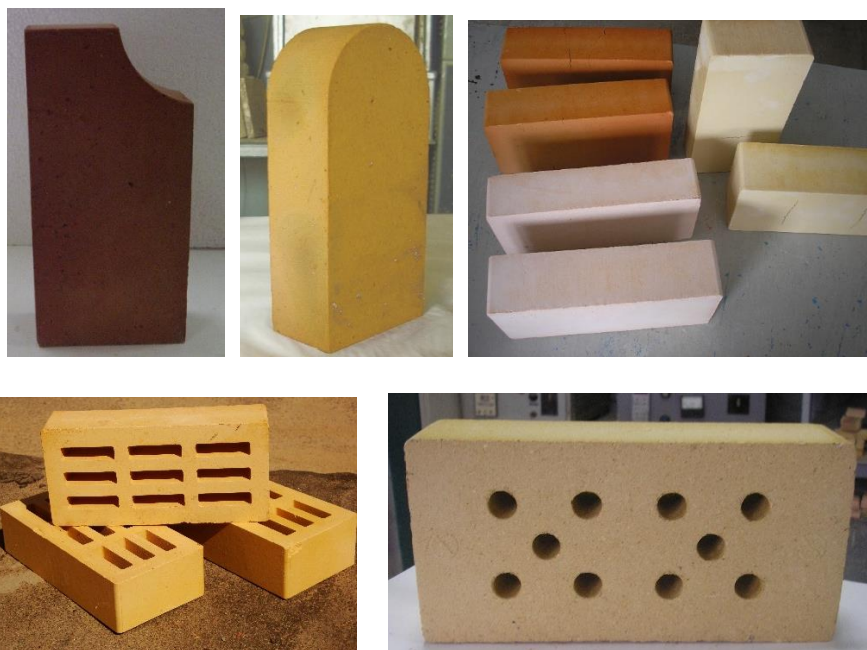


Рисунок 3 - Керамический кирпич, полученный способом компрессионного формования на основе различных видов опок.



Рисунок 4 - Керамический кирпич, полученный способом компрессионного формования на основе глинистых видов опок.

Состав и свойства опок, а также желаемые виды выпускаемых изделий определяют выбор способа формования изделий и выбор оптимальной технологической схемы производства. Так для способа экструзионного формования более подходящими являются глинистые опоки после предварительного измельчения. Для способа компрессионного формования более подходящими являются малоглинистые опоки. Для способа мягкого формования более приемлемыми являются среднеглинистые опоки. Содержание карбонатного компонента оказывает влияние на цвет изделий. Глинистые разновидности опок дают красно-коричневые цвета, карбонатные разновидности жёлтые, бежевые, а высококарбонатные дают розовый цвет.

Учитывая особенности различных разновидностей опок, нами определены основные критерии (таблица 1), которые учитываются при изучении опок как сырья для производства различных видов строительной керамики с учётом особенностей технологии производства.

Таблица 1

Основные критерии оценки опок как сырья для производства различных видов строительной керамики

№ п п	Виды работ и определяемые показатели	Методики испытаний	Какие выводы делаются по результатам
1	Макроскопическая характеристика и основные физические свойства	Методика отсутствует. Необходима разработка.	Определяется цвет, наличие включений (гипсовых, железистых и др.). Определяется плотность в различных видах, пористость, водопоглощение, прочность породы. Результаты необходимы для технологических расчётов и выбора массоподготовительного оборудования.
2	Химический и минеральный состав	Возможно по ГОСТ 21216-2014 и ГОСТ 8269.1-97.	Содержание серы, как вредного компонента, содержание глинистого и карбонатного компонентов, влияющих на способ формования и цвет изделий.
3	Дообжиговые свойства для пластического (экструзионного) способа формования: пластичность, связность, воздушная усадка, чувствительность к сушке, структурная прочность.	Данные свойства зависят как от свойств самой породы, так и от зернового состава измельчённой породы. Методики отсутствуют. Необходима разработка. За основу может быть взят ГОСТ 21216-2014.	Результаты необходимы для технологических расчётов, определения оптимального зернового состава сырьевых масс, определения технологических параметров производства, выводов и пригодности данного вида сырья для производства определённых видов изделий по пластическому (экструзионному) способу формования.
4	Дообжиговые свойства по мягкому способу формования: связность, воздушная усадка, липкость, чувствительность к сушке структурная прочность.	Данные свойства зависят как от свойств самой породы, так и от зернового состава измельчённой породы. Методики отсутствуют. Необходима разработка. За основу может быть взят ГОСТ 21216-2014 и методики принятые в инженерной геологии.	Результаты необходимы для технологических расчётов, определения оптимального зернового состава сырьевых масс, определения технологических параметров производства, определения вида поверхности изделий, выводов и пригодности данного вида сырья для производства определённых видов изделий по мягкому способу формования.
5	Дообжиговые свойства по компрессионному способу формования: воздушная усадка, прочность, плотность прессовок, чувствительность к сушке.	Данные свойства зависят как от свойств самой породы, так и от зернового состава измельчённой породы. Испытания проводятся при различной влажности пресспорошков и давлении прессования. Методики отсутствуют. Необходима разработка.	Результаты необходимы для технологических расчётов, определения оптимального зернового состава сырьевых масс, определения оптимальных технологических параметров производства (влажность пресспорошка, давление прессования), выводов и пригодности данного вида сырья для производства определённых видов изделий по компрессионному способу формования.
6	Обжиговые свойства с учётом особенностей способа формования. Определяется прочность изделий, плотность, пористость, водопоглощение, огневая усадка, морозостойкость.	Данные свойства зависят как от свойств самой породы, зернового состава измельчённой породы, особенностей способа формования изделий и температуры обжига. Методики отсутствуют. Необходима разработка. За основу может быть взят ГОСТ 21216-2014.	Результаты необходимы для технологических расчётов, определения оптимальной температуры обжига. Также определяется внешний вид изделий. Учитывается цвет изделий, наличие дутиков, высолообразование, абсорбции воды опорной поверхностью. Делаются выводы о пригодности данного вида сырья для производства определённых видов изделий по компрессионному способу формования.

7	Проведение полужаводских испытаний	За основу могут быть взяты рекомендации ВНИИСтрома.	Делаются окончательные выводы о пригодности данного вида сырья для производства определённых видов изделий по тому или иному способу формования.
---	------------------------------------	---	--

Как видно, для широкого внедрения опоковидного сырья в производство строительной керамики необходима разработка конкретных общепринятых методик испытаний с учётом принятых способов формования. Предложенный нами алгоритм действий и предложенные ранее методики были отработаны на нескольких десятках месторождений опок и на нескольких базовых предприятиях [10,11]. В настоящее время необходимо наши разработки, совместно с другими профильными организациями, оформить в общепринятые методики, общепринятые рекомендации и конкретные технологические схемы производства с конкретным оборудованием отечественного и иностранного производства. Предлагаемый нами комплекс мероприятий позволит существенно расширить сырьевую базу строительной керамики России и будет способствовать успешному ему развитию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Кремниевые породы. М.: ФГУ ГКЗ, 2007. 36 с.
2. Котляр В.Д., Талпа Б.В., Козлов Г.А., Белодедов А.А. Кремнистые породы Нижнего Дона и перспективные пути их использования в производстве строительных материалов // Научная мысль Кавказа. 2004. № 6. С. 97-104.
3. Дистанов У.Г. Кремнистые породы СССР. Казань.: Татарское книжное издательство, 1976. 411 с.
4. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В. Кремнистые опоковидные породы – перспективная сырьевая база керамической отрасли. Ростов-на-Дону.: РИЦ РГСУ, 2013. 154 с.
5. Ашмарин Г.Д., Мельникова Л.С., Петрихина Г.А. Искусственные пористые заполнители и керамические стеновые изделия на основе кремнисто-глинистого сырья Тюменской области. Сб. трудов ВНИИСтром 64 (92): Эффективные искусственные пористые заполнители. М., 1988. С. 98–107.
6. Лапунова К.А., Котляр В.Д. Технология и дизайн лицевых изделий стеновой керамики на основе кремнистых опоковидных пород. Ростов-на-Дону.: РИЦ РГСУ, 2013. 197 с.
7. Котляр В.Д., Лапунова К.А. Технологические особенности опок как сырья для стеновой керамики // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 11-12 (611-612). С. 25-31.
8. Котляр В.Д., Братский Д.И. Особенности глинистых опок как сырья для стеновой керамики // Вестник МГСУ. 2009. № 4. С. 142-147.
9. Котляр В.Д. Классификация кремнистых опоковидных пород как сырья для производства стеновой керамики // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 36-39.
10. Терёхина Ю.В., Котляр В.Д. Методика оценки качества кремнистых пород при организации производства кирпича керамического // Вестник МГСУ. 2010. № 2. С. 237-241.
11. Терёхина Ю.В., Котляр В.Д., Котляр А.В. Применение инструментов управления качеством в производстве керамического кирпича // Строительные материалы. 2014. № 4. С. 41-43.

ВЛИЯНИЕ НАНОДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**А.И. Кудяков, А.Б. Стешенко, Н.Е. Рябцева***Томск, Россия*

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования по влиянию модифицирующих добавок на свойства цементного камня. Установлено, что в цементном камне с модифицирующими добавками Таркосил 110 или Аэросил 200 в количестве 0,02 % от массы цемента в 28 суточном возрасте прочность при сжатии повышается на 33,7 и 46,2 %, соответственно.

Ключевые слова: цементный камень, наночастицы диоксида кремния, модифицирующие добавки, прочность на сжатии.

Введение. В связи с совершенствованием архитектурно-строительных систем зданий и сооружений и необходимостью повышения их эксплуатационной надежности меняются требования к качеству наиболее распространенному и ресурсоемкому строительному материалу - конструкционному и конструкционно-теплоизоляционному цементному бетону. В реальном секторе строительства востребовано более 40 видов плотных и поризованных цементных бетонов, требуемые характеристики которых достигаются исполнением совокупности современных технологических приемов при управлении структурообразованием цементного камня в бетоне. Современные технологические приемы позволяют решить проблему получения высокопрочных бетонов (каркас здания) или требуемую прочность при эффективном теплосоппротивлении (ограждающие конструкции здания) [1,2].

В настоящее время большая роль в повышении уровня и стабильности качества цементных бетонов отводится новым модифицирующим добавкам, существенно влияющим на структурообразование матрицы – цементного теста и камня. В целях повышения качества цементного камня необходимо направлено регулировать его структурообразование путем введения химических модификаторов

Современный рынок химических модификаторов насчитывает около трехсот добавок различных наименований. Такое обширное многообразие добавок обусловлено различными модифицирующими эффектами.

Разработана биоцидная добавка на основе гуанидина для повышения стойкости цементных композитов к воздействию биоагрессивных сред, используя в качестве модельной бактериальной среды воздействия продукты жизнедеятельности микроорганизмов [2].

Для ускорения структурообразования и повышения эксплуатационных характеристик цементных композиций рекомендуют использовать наночастицы диоксида кремния [3].

Модифицирующие добавки могут выступать в роли гидрофобизаторов при создании малоусадочных строительных растворов из сухих смесей с отходами асбестоцементного производства [4].

Для ускорения начального структурообразования, уменьшения водоцементного отношения и повышения долговечности цементных композиций разработаны глиоксальсодержащие добавки, которые эффективно использовать для бетонов при транспортном строительстве [5,].

Цель работы – установить оптимальную дозировку модифицирующих добавок Таркосил 110 и Аэросил 200, а также определить свойства модифицированного цементного камня.

Материалы и методы. В качестве сырьевых материалов применялись:

- портландцемент Топкинского завода ЦЕМ I 42.5Н с нормальной густотой 27 % (ГОСТ 30515-2013);
- вода водопроводная (ГОСТ 23732–2011);

– модифицирующая добавка Таркосил 110. Т110 – порошок SiO_2 , тонкодисперсный (нано), средний размер частиц 35 нм (БЭТ), гидрофильный, рентгеноаморфный, удельная поверхность 110 $\text{м}^2/\text{г}$, насыпная плотность 80 г/л, ТУ 1790-001-69820403-2011;

– модифицирующая добавка Аэросил 200. А200 – порошок SiO_2 , гидрофильный, удельная поверхность 200 $\text{м}^2/\text{г}$, насыпная плотность 50 г/л, ГОСТ 14922-77;

Модифицирующие добавки в количестве 0,01 %, 0,02 % или 0,03 % от массы цемента перемешивались с цементом в сухом состоянии, далее готовилось цементное тесто нормальной густоты, формовались образцы 20х20х20 мм. Образцы хранились в течение суток при температуре воздуха 18°C, а затем выдерживались в течение 28 суток в эксикаторе. В 28 –суточном возрасте проводилось испытания образцов на сжатие с использованием гидравлического пресса ToniZem.

Результаты исследований. Определение прочности на сжатие цементного камня с модифицирующими добавками проводилось испытанием трех образцов для каждого состава.

При сравнении результатов испытания на сжатие с контрольными образцами наибольшие показатели прочности (113,9 МПа) получены у образцов с модифицирующей добавкой Аэросил 200 с содержанием добавки 0,02% от массы цемента (рис.1). С добавкой Таркосил 110 в количестве 0,02% получена прочность образцов на сжатие 104,2 МПа. при сравнении с контрольным образцом (рис. 1). Прирост прочности на сжатие образцов составил 46,2 и 33,7 %, соответственно.

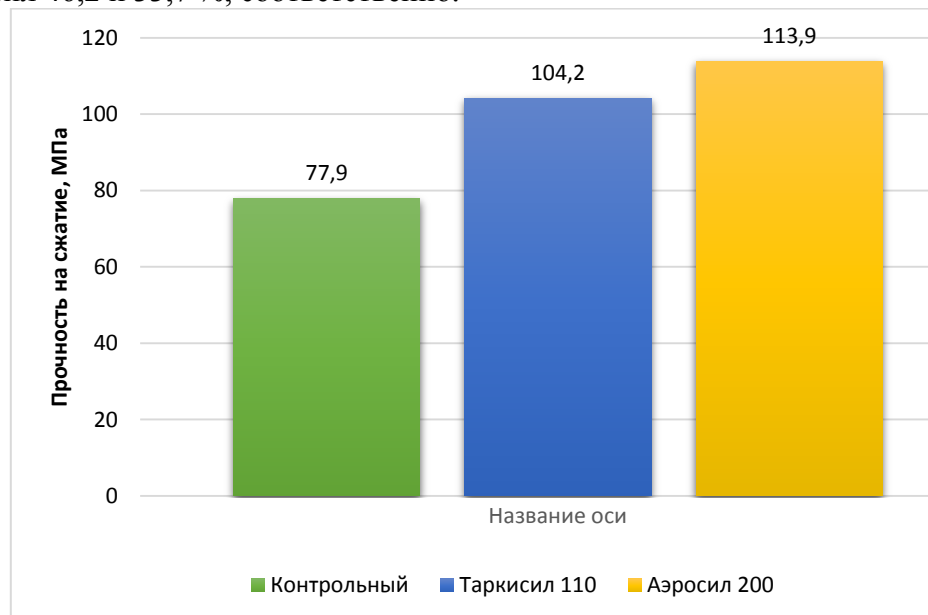


Рисунок 1 – Влияние модификаторов на прочность при сжатие цементного камня в 28-суточном возрасте

Выводы.

Установлено, что при введении модифицирующих добавок Таркосил 110 или Аэросил 200 в количестве 0,02% за счет формирования микроструктуры цементного камня преимущественно из низкоосновных гидросиликатов прочность при сжатии цементного камня в возрасте 28 суток по сравнению с контрольными образцами возрастает до 33,7 и 46,2 %, соответственно. Данные добавки рекомендуется использовать для получения цементных бетонов высокой плотности и поризованных повышенного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудяков, А.И. Технологические приемы уменьшения усадки неавтоклавного пенобетона и повышения класса по прочности / А.И. Кудяков, А.Б. Стешенко, В.В. Конушева, О.О. Сыркин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. -2016. -№5(58) –С.129–139.

2. *Ерофеев, В.Т.* Влияние модифицирующих добавок на стойкость цементных композитов в условиях воздействия модельной бактериальной среды / В.Т. Ерофеев, С.В. Казначеев, А.Д. Богатов, В.А. Спирин, Д.А. Светлов, С.Н. Богатова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2012. – №26. – С 103-107.
3. *Демьяненко, О.В.* Влияние наночастиц диоксида кремния на эксплуатационные свойства цементных систем / О.В. Демьяненко, Н.О. Копаница // Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Томский государственный архитектурно-строительный университет. – 2015. – С. 408–411.
4. *Пичугин, А. П.* Разработка составов сухих строительных смесей с повышенными эксплуатационными характеристиками / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, И. В. Белан, Т. К. Акчурин // Вестник Волгоградский. гос. архит.- строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. – 2014. – 77. № 36(55). – С. 68-
5. *Кудяков, А.И.* Влияние органических добавок на свойства цементного теста и камня / А.И. Кудяков, А.С. Симакова, В.А. Кондратенко, А.Д. Латыпов, А.Б. Стешенко // Вестник ТГАСУ, 2018, №6, С.138-147.
6. *Steshenko, A. B.* Cement based foam concrete with hardening accelerators / A. B.Steshenko, A. I. Kudyakov, N. E. Ryabtseva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 911 012003, 2020, doi:10.1088/1757-899X/911/1/012003.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.С. Кузнецов, А.С.Охотная

Донской Государственный Технический Университет

Аннотация. В статье описываются и раскрываются основные свойства и области применения клинкерного кирпича. Представлены общие характеристики материала. Данная статья будет интересна специалисту, сфера деятельности которых, связана с отделочными работами. Изучение данного материала позволит в дальнейшем внедрять новые технологии изготовления клинкерного кирпича.

Ключевые слова. клинкерный кирпич, прочность, водопоглощение, долговечность, пожаробезопасность, звукоизоляция, износостойкость, экологичность, виды клинкерного кирпича.

Клинкерный кирпич – это один из наиболее долговечных материалов на строительном рынке. Наиболее точное определение клинкерного кирпича представлено в ГОСТ 530-2012. Звучит следующим образом: изделие прочное и с исключительно с низким влагопоглощением, что обеспечивает ему отличные эксплуатационные и декоративные свойства. Материал может применяться в агрессивной среде и для проведения отделочных работ и облицовки зданий.

Изделие имеет форму правильного параллелепипеда с заданными действующим стандартом размерами. Наружная поверхность клинкерного кирпича имеет слегка шероховатую фактуру, цвет колеблется от светло-желтого до темно-коричневого. Насчитывается около сотни оттенков, образование которых достигается введением в состав сырья специальных добавок.

Клинкерный кирпич имеет следующие основные эксплуатационные свойства:

– прочностные свойства керамики традиционно считаются одним из важнейших показателей. При получении клинкера с заданным водопоглощением при правильном подборе состава шихты и соблюдении технологических режимов часто прочность оказывается выше показателей, устанавливаемых нормативными документами разных стран. Так, по данным НИИ Керам, при водопоглощении не более 2–2,5% предел прочности при сжатии клинкера может превышать 200–250 МПа, при изгибе – 20–32 МПа, при водопоглощении 2–4% предел прочности при сжатии, как правило, выше 80–100 МПа, при изгибе выше 12–18 МПа.

– водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать воду. У клинкерного кирпича этот показатель варьируется от 0,5 до 2%, при нормированном значении менее 6% по ГОСТ 530-2012.

– долговечность клинкерных изделий определяется по показателю морозостойкости. Морозостойкость также коррелирует с величиной водопоглощения. При значении водопоглощения менее 2,5% морозостойкость во всех случаях составляла 300 циклов без признаков разрушения по данным НИИКерам.

– пожаробезопасность. Материал с легкостью выдерживает высокие температуры

– звукоизоляция. Высокая плотность клинкерного кирпича определяет низкую способность к затуханию акустических колебаний в нем. Соответственно звукоизолирующие свойства данного материала довольно посредственные. Собственно и название изделия в переводе с немецкого означает «звонкий», именно такие звуки возникают при нанесении ударов по нему. Ограждающие конструкции из данного материала нуждаются в дополнительной звукоизоляции.

– износостойкость. Клинкерный кирпич не подвержен влиянию солей, кислот и щелочей, ультрафиолетовых лучей.

– разнообразие расцветок и текстур. Широкая цветовая гамма кирпича из клинкера удовлетворит фантазию самых притязательных застройщиков. Кроме того, в процессе производства фасадная поверхность облицовочного кирпича проходит через рустикацию и торкретирование. Обретая уникальные и неповторимые текстуры.

– экологичность. Клинкерный кирпич абсолютно безвредный строительный материал, который целиком состоит из обожженной глины. И даже разнообразие цветов, о которых мы упомянули выше, достигается не с помощью красителей, а перемешиванием нескольких различных сортов глины.

Клинкерный кирпич широко применяется в современном строительстве. Строительный материал этого типа классифицируется по целевому назначению. На рынке потребителю предлагаются следующие виды клинкерного кирпича:

– строительный. Рядовые или одинарные изделия используются для возведения опорных строительных конструкций, испытывающих нагрузки. К ним относятся такие силовые элементы, как колонны, ступени лестниц, столбы, фундаменты и цоколи. Названные строительные конструкции отличаются механической прочностью, устойчивостью к внешним воздействиям и долговечностью.

– облицовочный. Облицовочный или фасадный клинкерный кирпич характеризуется превосходными декоративными свойствами и богатым выбором расцветок. Поверхности изделия дополнительно глазируются, что позволяет добиться максимальной устойчивости к атмосферным явлениям и солнечному свету. Облицовочные материалы помимо обычных изделий прямоугольной формы могут быть и фасонными.

– тротуарный. Тротуарный клинкерный кирпич используется для мощения мостовых, пешеходных и садовых дорожек, а также парковых аллей. Материал обладает значительной стойкостью к истиранию и ударным механическим воздействиям. Это делает элементы ландшафтного дизайна исключительно долговечными и способными сохранять свой внешний вид.

Также клинкерный кирпич используют для внутренней отделки зданий: камины, колоны, стойки, отдельные декоративные стены. Широко распространенный в Европе, в качестве отделочного материала домов, рисунок 1.



Рисунок 1 - Примеры домов построенных с использованием клинкерного кирпича

На рисунке 2 представлена наглядная схема, где возможно применить клинкерный кирпич.

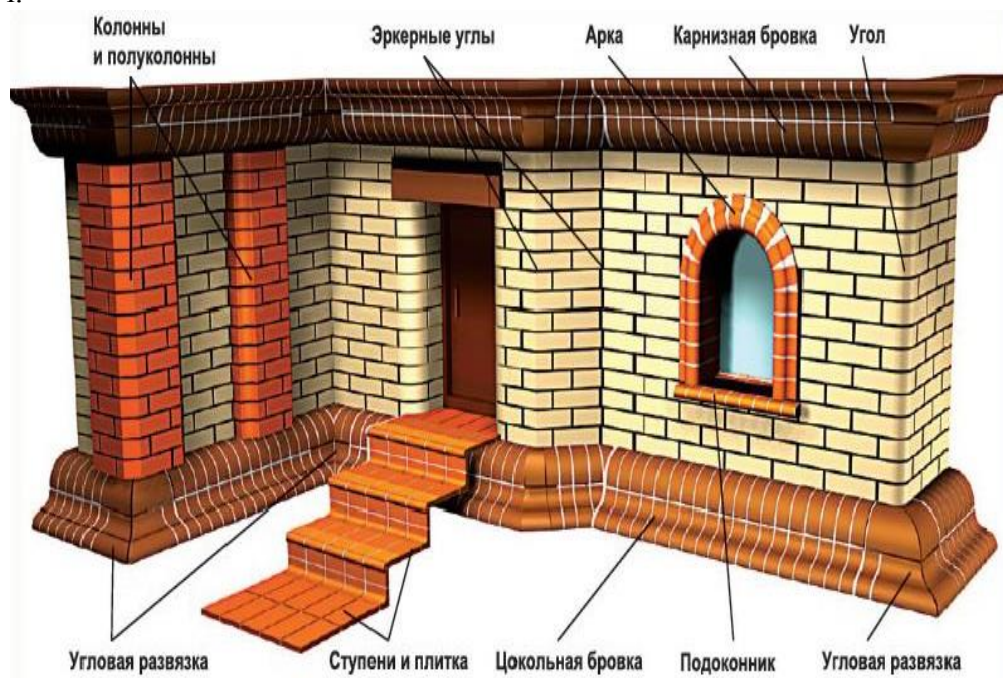


Рисунок 2 - Область применения клинкерного кирпича

Клинкерный кирпич производится в узкой натуральной цветовой гамме: от светло- до темно-коричневого. Использование специальных натуральных пигментов, которые наносятся на обожжённый кирпич в два слоя, а затем поддаются термической обработке при температуре 1100...1200°C, позволяют получить различные цвета и оттенки (на любой вкус), рисунок 3.

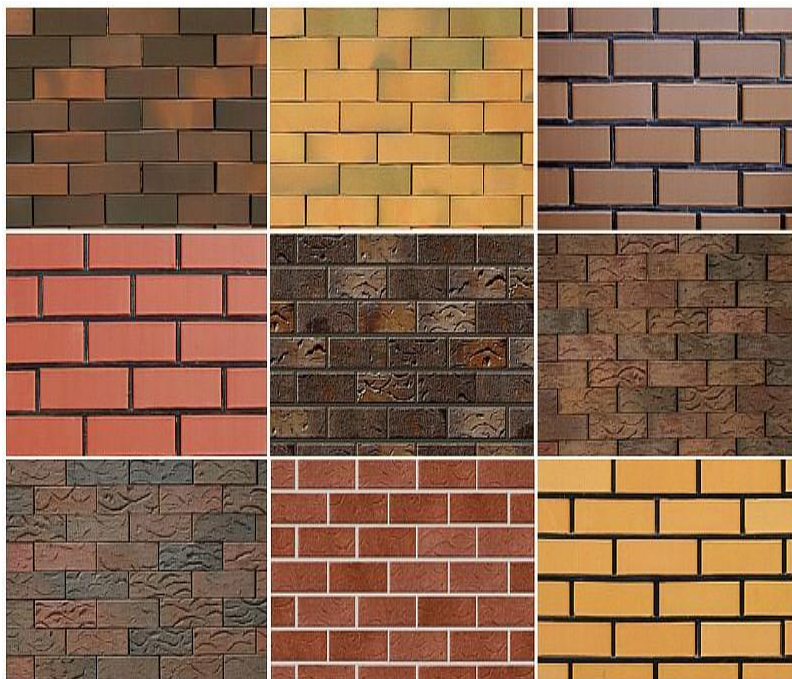


Рисунок 3. Разновидность клинкерного кирпича по цвету и текстуре

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ

А.А.Куликова, О.В.Демьяненко, Н.О.Копаница

Томск, Россия

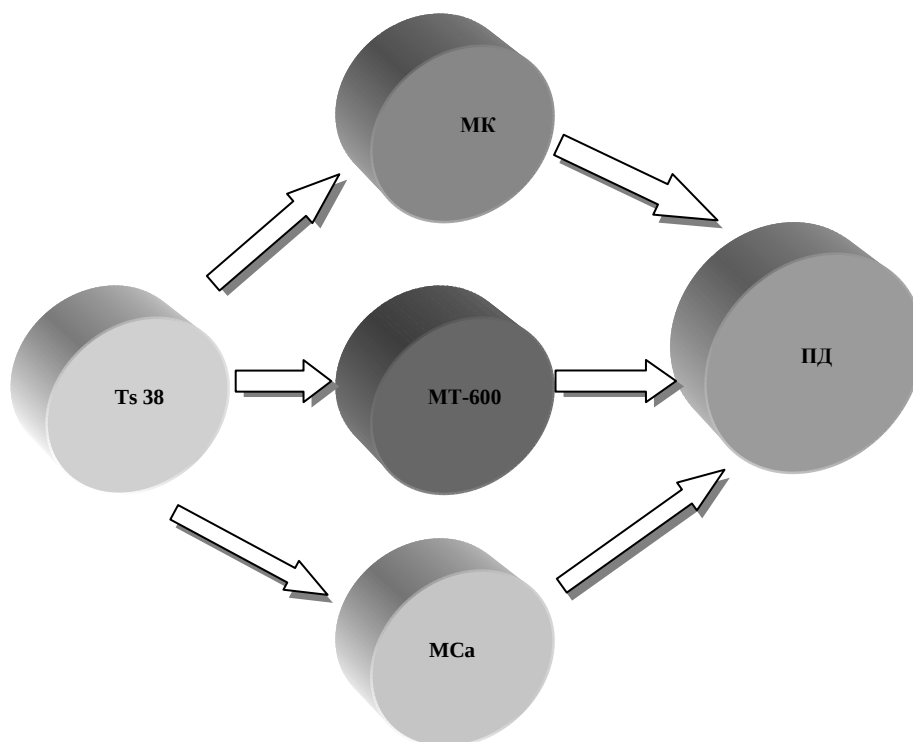
Аннотация. В работе представлены результаты исследований, связанных с разработкой эффективной полифункциональной добавки (ПД), состоящей из отходов производства мрамора – микрокальцита (МСа), нанодиоксида кремния (SiO_2), микрокремнезема (МК) и термомодифицированного торфа при 600°C (MT-600) для композиционных материалов на цементной основе. Использование ПД в значительной степени влияет на процессы гидратации клинкерных минералов, изменяя как свойства цементного камня, так и свойства мелкозернистого бетона. Показано, что введение полифункциональной добавки в количестве 5 %, при снижении расхода цемента, позволяет увеличить прочность на сжатие цементного камня до 83 %.

Ключевые слова: отходы производства, микрокальцит, микрокремнезем, нанодиоксид кремния, MT-600, мелкозернистый бетон.

Abstract. The paper presents the results of studies related to the development of an effective polyfunctional additive (PA) consisting of marble production waste - microcalcite (MСа), nanosilicon dioxide (SiO_2), microsilica (MS) and thermally modified peat at 600°C (MT-600) for cement-based composite materials. The use of PA significantly affects the processes of hydration of clinker minerals, changing both the properties of cement stone and the properties of fine-grained concrete. It is shown that the introduction of a polyfunctional additive in an amount of 5 %, with a decrease in cement consumption, allows an increase in the compressive strength of a cement stone up to 83 %.

Keywords: industrial waste, microcalcite, microsilica, nano-silicon dioxide, MT-600, fine-grained concrete.

Современные научные разработки в строительном материаловедении в области рецептуры и технологии производства мелкозернистого бетона направлены на формирование в них структуры и свойств, обеспечивающих необходимые эксплуатационные характеристики. Анализ литературных и экспериментальных данных по способам воздействия на свойства бетона позволил предположить, что достичь требуемых показателей качества возможно изменением компонентного состава бетонной смеси, активацией заполнителя и воды затворения, введением модифицирующих добавок полифункционального действия, различными технологическими приемами и т.д. Для получения бетона с повышенными эксплуатационными характеристиками необходимо изучить влияние различных добавок на свойства цементного камня и бетона, влияние способов введения добавок в цементную систему, исследовать различные комбинации добавок при различных способах активации воды затворения. Согласно принятой рабочей гипотезе для разработки эффективных полифункциональных добавок необходимо подобрать их вещественный состав так, чтобы каждый из компонентов улучшал или дополнял свойства предыдущего. Для разработки материала с улучшенными или новыми свойствами и функциями в работе применялся подход «снизу-вверх» или «формирование молекулярного ансамбля», понятие, предложенное Эриком Дрекслером и другими авторами в работе [1]. Предполагается, что композиционные материалы выстраиваются из компонентов путем сборки или самосборки начиная с наноразмеров. С этой целью работах [2-9] был обоснован выбор модифицирующих добавок, на основе микрокремнезема, микрокальцита, термомодифицированного торфа МТ-600 и нано-SiO₂. На рисунке 1 представлена модель формирования вещественного состава комплексной модифицирующей добавки, в соответствии с принятой в работе научной гипотезы и приобретаемых цементным камнем, с появлением каждого последующего компонента добавки, характеристик. Ранее проведенные исследования позволяют предполагать, что, используя в полифункциональной добавке, предложенные вещества в комплексе с нано-SiO₂ можно добиться синергетического эффекта влияния на свойства цементного камня за счет их физико-химического взаимодействия. Совместимость комплексной добавки с цементным камнем зависит от



совместимости каждого компонента с вяжущим в отдельности.

Рисунок 1 - Модель формирования вещественного состава комплексной модифицированной добавки для мелкозернистого бетона

Таблица 1

Влияние компонентов добавки на свойства ЦК

Компонент добавки				Характеристики ЦК
ано-	микро-			
iO ₂	MT - 60 0	МСa ,	М К	
				-повышение прочности ЦК -активация формирования структуры на наномасштабном уровне
			+	- повышение прочности ЦК - плотная упаковка структуры ЦК - повышение морозостойкости
	+			-снижение водопотребности, за счет гидрофобности добавки - повышение водонепроницаемости - увеличение адгезии к основанию
		+		- повышение прочности ЦК - уменьшение расхода цемента, без снижения физико-механических характеристик ЦК - формирование дополнительного объема продуктов гидратации ЦК при взаимодействии с SiO ₂
	+	+	+	- повышение прочности ЦК - повышение водонепроницаемости - повышение морозостойкости -уменьшение расхода цемента, без снижения физико-механических характеристик ЦК - формирование дополнительного объема продуктов гидратации ЦК при взаимодействии с SiO ₂ - обеспечение плотной упаковки в структуре ЦК - активация формирования структуры на наномасштабном уровне

На первом этапе [10-12] исследовалось влияние наноразмерных частиц SiO₂ на свойства цементного камня. При введении наночастиц предположительно будет повышаться прочность цементного камня за счет активации процессов формирования структуры цементного камня на наномасштабном уровне. Микроразмерные компоненты с нано-SiO₂, в зависимости от условий происхождения, улучшают свойства цементного камня (морозостойкость, прочность, адгезию, водонепроницаемость и др). Термоимодифицированная органоминеральная добавка МТ-600 с нано-SiO₂, повышает адгезию к основанию, водонепроницаемость, снижает водопотребность, за счет гидрофобности добавки. Добавка микрокальцита с нано-SiO₂ позволит повысить прочность цементного камня при снижении расхода цемента, за счет формирования дополнительного объема продуктов гидратации цементного камня при взаимодействии с CaO и SiO₂. Добавка микрокремнезема, являясь веществом с высокой пуццолановой активностью, оказывает влияние на свойства, как цементного теста, так и цементного камня. При введении цементного камня с нано-SiO₂ в вяжущее увеличится прочность и морозостойкость

цементного камня, за счет уплотнения структуры цементного камня и взаимодействия частиц добавки с продуктами гидратации цементного вяжущего. Усиливающий эффект взаимодействия двух и более компонентов добавки, характеризуется тем, что совместное действие этих факторов существенно превосходит полученные характеристики каждого компонента по-отдельности. При разработке полифункциональной добавки все компоненты, согласно схеме (рис. 1), могут быть соединены для достижения синергетического эффекта. Сферическая форма частиц добавки приводит к улучшению когезионных свойств цементного теста. Различные размеры частиц комплексной добавки позволяют заполнить объем между более крупными частицами цемента. Высокая удельная поверхность компонентов добавки стимулирует образование дополнительных коагуляционных контактов, сокращая объем свободной воды.

Представленные в работе результаты исследований [13] позволяют объяснить процессы, происходящие при гидратации и структурообразовании цементного камня с предложенными добавками. Разработанная добавка, содержит в своем составе nano-SiO_2 и CaO , которые при взаимодействии с портландцементом, вступают в реакцию с продуктами гидратации цемента, образуя дополнительные центры кристаллизации новообразований, тем самым уплотняя и упрочняя структуру цементного камня. Для оценки влияния полифункциональной добавки на свойства цементного камня приведены данные в таблице 1. За критерий оценки эффективности принято значение прочности в 28 суточном возрасте.

Таблица 2

Оценка эффективности добавок на свойства цементного камня.	
Используемые компоненты	$R_{сж}^{28}$, МПа
SiO_2 (Ts38)	47
МК+ Ts38	60
МСа+Ts38	75
MT-600+Ts38	66
ПД	83

Анализ данных, представленных в таблице 2, подтвердил, что наиболее эффективной является полифункциональная добавка, состоящая из отходов производства мрамора – микрокальцита (МСа), нанодиоксида кремния (SiO_2), микрокремнезема (МК) и термомодифицированного торфа при 600°C (MT-600) для композиционных материалов на цементной основе.

Таким образом, в статье показана эффективность предложенных модифицирующих добавок, состоящих из микрокальцита, нанодиоксида кремния, микрокремнезема и термомодифицированного торфа. Синергизм действия компонентов добавки обеспечивает повышенные качества цементных композиций вместе со снижением стоимости конечного материала за счет использования компонентов местных ресурсов, либо отходов камнедробления. Дальнейшие исследования являются перспективными и актуальными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К.Е. Drexler, С. Peterson, G. Pergamit. Unbounding the future: the nanotechnology revolution [Свободное будущее: нанотехнологическая революция]. New York: William Morrow; 1991.
2. Зобов К. В. Влияние поверхности распределённых наночастиц на макропараметры текучих сред, дис.канд.физ.-мат.н, 2016 г, Новосибирск.

3. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В. Peculiarities of silica additives application in building mixes production / American Institute of Physics, 1800, pp 020010.
4. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В. Применение нанодисперсного кремнезема в производстве строительных смесей / Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. - № 5, С. 140-150.
5. Космачев П.В. Композиционные материалы на основе цемента с нанодисперсным диоксидом кремния /Космачев П.В., Власов В.А., Копаница Н.О., Скрипникова Н.К., Демьяненко О.В.// Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2017, - №4, С.139-146.
6. Копаница Н.О., Сорокина Е.А. Демьяненко О.В. Влияние добавки термомодифицированного торфа на технологические свойства строительных смесей для 3d-печати / Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018 (4). –С. 122-134.
7. Н.О. Копаница, Ю.С. Саркисов, О.В. Демьяненко, А.В. Горшкова. Цементные композиции, модифицированные комбинированными нанодисперсными добавками / Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017, -№4, С.101-106
8. Абзаев Ю.А., Копаница Н.О., Клименов В.А., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Демьяненко О.В. Моделирование структурного состояния аморфного таркосила // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. - № 3 (50). С. 121-133.
9. Копаница Н.О., Касаткина А.В., Демьяненко О.В., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П. Способ получения модифицирующей добавки для цементной композиции и цементная композиция // Патент на изобретение № 2576766. Приоритет 21.01.2015.
10. Куликова, А.А., Перспективы применения наномодификаторов в производстве строительных материалов / А.А. Куликова, О.В. Демьяненко // Эффективные материалы и технологии для транспортного и сельскохозяйственного строительства: Сборник научных трудов по материалам национальной Научно-технической конференции с международным участием. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос». – 2020. – С. 142-147.
11. Куликова, А.А., Влияние нанодиоксида кремния на свойства цементного камня / А.А. Куликова, О. В. Демьяненко, Н.О. Копаница // Материалы III Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). – 2020. – С. 23-28.
12. Куликова, А.А. Нанотехнологии в производстве строительных материалов / / А.А. Куликова, О.В. Демьяненко // Лучшая студенческая статья 2019: сборник статей XXVI Международного научно-исследовательского конкурса. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. – С. 65-69.
13. Демьяненко О.В., Куликова А.А., Копаница Н.О. Оценка влияния комплексной полифункциональной добавки на эксплуатационные характеристики цементного камня и бетона // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 139–152.

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ЧТО ЭТО?**А.А. Кучеренко***Одесса, Украина*

Аннотация. Рассчитана энергетика твёрдой, жидкой и газообразной фаз строительного материала (СМ) и окружающей среды (воздуха). Указаны проблемы неустойчивости систем СМ: повышенные окисляемость и различия полюсной заряженности исходного сырья. Борьба с ними: резонансные технологии и введение добавок специальных свойств и количества, что пригодно и для аддитивных технологий и механосборки. Определены причины стремления материаловедов к природоподобным технологиям: подчинение только фундаментальным законам и отсутствие человеческого фактора. Указано на наличие в природе алгоритмов неведомого.

Ключевые слова: природа, атом, заряд, энергия, технологии.

Annotation. The energetics of the solid, liquid and gaseous phases of the building material (SM) and the environment (air) are calculated. The problems of instability of SM systems are indicated: increased oxidizability and differences in the pole charge of the feedstock. Fighting them: resonant technologies and the introduction of additives of special properties and quantities, which is also suitable for additive technologies and mechanical assembly. The reasons for the desire of materials scientists to nature-like technologies are determined: submission only to fundamental laws and the absence of a human factor. It is indicated that there are unknown algorithms in nature. Key words: nature, atom, charge, energy, technology.

Есть мнение: «без перехода на природоподобные технологии человечество в обозримом будущем придёт к ресурсному коллапсу». При этом известно, что человечество рождено природой и является частью её. Однако, мистическое человеческое (отношение к чистоте планеты «Земля», одни дарят оружие, другие с радостью принимают для разрушения своей же неорганической и органической природы и многое др.), далеко не всегда совпадает с природным закономерным и даже противостоят друг другу [1]. Тогда для строительного материаловедения (СМ), что взять у природы на вооружение, к чему стремиться материаловеда.

Природа и СМ состоят из трёх фаз: твёрдой, жидкой и газообразной. Твёрдая фаза на примере горной породы в районах Гималаевских и Тибетских гор радуется добротными физико-механическими свойствами: плотность структуры, прочность и др. Двигаясь на запад Уральские горы уже с пониженными свойствами, а Карпаты даже блочной, слоистой структуры. То же и со степными регионами – они разные. Разнообразие жидкой фазы технологам хорошо известны. К примеру, лет 50 назад в газете «Правда» было опубликовано Новочеркасским политехническим институтом о повышении на 40% прочности бетона, изготовленного с применением омагниченной воды. Через 2 года в г. Ташкент была проведена конференция (RILEM). Было доложено, что омагничиванием воды занимались 80 НИИ и ВУЗов. Результаты плачевные: из-за нестабильности химического состава воды и потому разных свойств бетона: в направлении от Севера на Юг солёность воды повышается, а в разные времена года (особенно осенне-зимний и весенне-летний) однородность её состава неуправляема. Газообразная фаза окружающей среды менее опасна, но «враг не дремлет». Так, наши дорожные плиты 50х50х5 см, армированные полимерными нитями диаметром 1 мм, через 15 лет под весом человека начали разрушаться. Причина: под действием ультрафиолетовых солнечных лучей диаметр полимерных нитей уменьшился в 5 раз, а диаметр пустот в бетоне остался прежним – 1 мм. Высолы и выщелачивание бетона отсутствуют. Так чему же материаловед может научиться у природы, если она сама страдает от человека, окружающей среды и к тому же не знает что такое молекула, минерал и им

подобная химия. Однако есть не только хорошее, а бесценное. 1. Неделимая частица электрически заряженная, электронной структуры и строения, с положительно заряженным ядром и отрицательно заряженными электронами – атом. Используя свою собственную энергию (величина заряда и плотность электромагнитного поля) как движущую силу, которой ещё помогает (при сотрясении, ударах, толчках сближение частиц ускоряется) и вечная собственная частота колебаний, он синтезирует с соседом, снижая свою энергию до минимума, повышая тем самым стабильность структуры и прочность связи. Учёт этого позволяет правильно выбрать исходное сырьё для СМ и назначить технологию – период созидания продукта. 2. Природа подчиняется действию только фундаментальных законов (так было, так есть и так будет), без вмешательства человеческого фактора. Химический состав сырья для СМ подчиняется технологическому.

3. При равенстве величин положительных и отрицательных зарядов твёрдое тело стабильной структуры, электронейтрально, а магнитное поле равно нулю – система устойчивого равновесия. Атомы минеральных веществ подчиняются только системе устойчивого равновесия, а органических веществ – неустойчивого равновесия – период эксплуатации. К подобному должен стремиться материаловед.

Мнение учёных: любой атом таблицы Менделеева имеет электрическую основу: положительно заряженное ядро и отрицательно заряженные электроны. Физики-ядерщики: «В природе нет ничего кроме электричества: плюса и минуса» [2]. Кулон и Максвелл – электромагнитные поля (ЭМП) и их взаимодействия являются фундаментальными силами природы. Д.И. Менделеев: «Заряд ядра определяет все свойства атома, а свойства атома обеспечивают все свойства конечного продукта».

Мнение автора о умной природе. В жаркую знойную летнюю пору обратил внимание на жалкий вид стебля топинамбура высотой 1,5 м: снизу листья стали подсыхать, а сверху цветы – поникшие листочки. После полива выяснил алгоритм взаимодействия системы «вода-растение». Через 2, 5 часа «поправило здоровье» соцветие, вершина стебля, т.е. природой сохранено прежде всего продолжение рода (мозги Природы? Такие и нам нужны). Затем в течение 6 часов приходили в чувство листья поочерёдно от верха и нижние – последние. Ещё сложнее технология роста грибов: кордицепсы по лечебным показателям в 5 раз дороже золота [Интернет]. Следовательно, у природы, кроме электричества есть ещё что-то, возможно нужное материаловедам. Так чем ещё в XXI веке убедить материаловеда, чтобы все электрическое в СМ он взял на вооружение. Было же время, когда 80 заведений работали, а сегодня ни одного, даже ОГАСА. И что не менее важно: для работы в этой области есть масса справочного материала. Пользуясь этим, ещё на стадии проектирования состава можно предугадать свойства конечного продукта. Приводим примеры.

Расчёт энергетики 1 кг твёрдой фазы портландцемента (ПЦ) марки 500 [3] как основного вяжущего и доменного гранулированного шлака (ДГШ) как наполнителя [4] проведён с использованием справочных данных [5]. Результаты расчётов, табл. 1: положительных зарядов в 2 раза меньше, чем отрицательных. Эффективные заряды всех оксидов ДГШ и ПЦ [3,4], отрицательны. Однополярные зёрна отталкиваются друг от друга. Это хорошо при хранении тонкомолотого исходного сырья в воздушно-сухих условиях, но плохо при синтезе, когда, наоборот, должно быть сближение атомов. Нехватка количества положительных зарядов вызовет недоиспользование отрицательных. Разница величин эффективных зарядов в ДГШ: $7,7:0,6=13$ раз свидетельствует о неоднородности энергетической заряженности шлака, как и ПЦ [3]. И в то же время надо отметить, что например, при максимуме щелочных оксидов с минимальным эффективным зарядом ($q_{CaO}=-1,5$) и коротким магнитным полем идёт замедленный процесс сближения зарядов разного знака, длительные сроки схватывания цементного теста и низкая сила межатомных связей у продукта $Ca(OH)_2$. ДГШ по количеству и качеству оксидов превосходит ПЦ и потому энергетика его выше.

Таблица 1

Энергетический состав шлака (числитель) и ПЦ 11/А-Ш-500 (знаменатель)

Характеристика зарядов каждого оксида, эВ				Всех $-q_{эф}$ в 1 кг шлака, $G \cdot 10^{24}$, эВ
Вид оксида	плюс, $+q$	минус, $-q$	эффективных, $-$ $q_{эф}$	
CaO	2,8	4,3	1,5	7,2/9,69
SiO ₂	4,0	8,6	4,6	18,2/11,55
Al ₂ O ₃	6,8	12,9	6,1	3,28/2,01
Fe ₂ O ₃	8,6	12,9	4,3	0,1/0,65
MgO	2,8	4,3	1,5	0,86/0,68
SO ₃	5,2	12,9	7,7	0,87/1,16
MnO	3,7	4,3	0,6/–	0,08/–
Na ₂ O	4,4	4,3	–/+0,1	+0,01/ –
Всего	28,9	60,2		–30,7/–25,8
эВ/кг	$293 \cdot 10^{24}$	$611 \cdot 10^{24}$		

Жидкая фаза рассчитана на примере электрохимии воды, табл. 2 Известно, что в 1 л содержится $33,5 \cdot 10^{24}$ шт. молекул H₂O. Эффективный заряд одной H₂O равен $+2-4,3=-2,3 \cdot 10^{-24}$ эВ/шт., а всех $33,5 \cdot (-2,3) \cdot 10^{24} = -77,1 \cdot 10^{-24}$ эВ/л. Энергия межатомных связей Н-О-Н 969 кДж/моль. Всего молей в 1 л воды: $33,5 \cdot 10^{24} : 6,02 \cdot 10^{23} = 55,64$ шт. всего энергии межатомных связей в 1 л воды: $969 \cdot 55,64 = 53915$ кДж/л.

Таблица 2

Энергетика воды

Характеристика зарядов H ₂ O, эВ				Всех $-G_{эф}$ в 1 л воды, $G \cdot 10^{24}$, эВ
Вид	плюс, $+q$	Минус, $-q$	эффективный, $q_{эф}$	
Молекулярный уровень				
H ₂ O	2,0	4,3	– 2,3	$-77,1 \cdot 10^{24}$
Атомарный уровень				
Н	1,0	–	–	+33,5,
Н	1,0	–	–	+33,5
О	–	–4,3	–4,3	– 144,1
Заряженность на атомарном уровне				$211,1 \cdot 10^{24}$
Итого положительных зарядов				$67 \cdot 10^{24}$
Итого отрицательных зарядов				$144,1 \cdot 10^{24}/$
Всего зарядов, шт/литр				$211,1 \cdot 10^{24}$

Как видим переход от молекулярного уровня на атомарный вскрывает заблокированные внутри молекул заряды и энергетика повышается ($211,1:77,1$) в 2,74 раза, что подтверждает нашу гипотезу «рассыпать, чтобы собрать». Отрицательных зарядов 2,2 раза больше, чем положительных, что тоже свидетельствует о окислении. Таким образом, что касается бетона, основные компоненты, формирующие монолит, заряжены отрицательно. Тоже можно сказать о кварцевом песке и гранитном щебне. Напрашивается

необходимость борьбы с окислением, но целенаправленно и профессионально мы этим не занимаемся и литературных данных нет.

Таблица 3

Энергетика окружающей среды (воздуха)

Вид атомов	$n \cdot 10^{20}$ шт/литр	$g_{\text{эф}} \cdot 10^{-24}$, эВ/шт	$G_{\text{эф}} \cdot 10^{20}$ эВ/литр
O	20,65	-4,3	-89
N	78,1	+3,7	+289
CO ₂	0,0035	-5,5	-0.2
Инертные газы	0,01	7,7	0,08
Всего положительных			$+289 \cdot 10^{20}$
Всего отрицательных			$-89,2 \cdot 10^{20}$
Итого заряженность			$378,1 \cdot 10^{20}$

Энергетика воздуха содержит 0,021% инертных газов, которые готовы вступить в реакцию как с плюсовыми, так и с минусовыми атомами СМ. В отличие от твёрдых и жидких фаз имеет положительных зарядов в (289:89,2) в 3,24 раза больше, чем отрицательных. Следовательно, для бетона с отрицательно заряженными (вода, цемент, заполнители), положительно заряженный воздух окружающей среды неблагоприятен, так как неизбежен синтез отрицательных ионов цемента с положительными воздуха, что окажет влияние на долговечность СМ.

Теоретически можно предположить варианты борьбы с окислением. Для этого достаточно рассмотреть структуру оксидов или минералов. Например, цепочечную структуру молекул воды, Н-О-Н. Известна собственная частота колебаний атома кислорода: 11,09 МГц. Применяя резонансные технологии при подаче в бетономешалку воду пропускать через осциллятор с той же частотой колебаний (в резонанс с О) молекула разрушится по атому О, выделяя положительно заряженный водород. Второй вариант: в состав бетона ввести добавку с большим количеством положительных зарядов, например розерцин - С₆Н₄(ОН)₂ бесцветные кристаллы, легко растворимые в воде, у которых плюсов в 2,8 раза больше чем минусов. Манипулируя полюсом зарядов атомов СМ и зная, что скалистая горная порода туннеля отрицательно заряжена, для облицовки принять бетонную смесь с избытком положительных зарядов, что обеспечит срастание бетона с горной породой, что к минимуму сведёт конфликт «природное — искусственное». Этот же принцип послойного срастания актуален для аддитивных технологий и поатомной механосборки.

Что же является движущей и тем более умной силой в алгоритмах природы и СМ. Был проведён опыт: в открытый 12х5х4 см сосуд на дно с одной стороны укладывали магнит и заливали воду на глубину 3 см от поверхности магнита. На поверхность воды опускали деревянный сухой прямоугольник (плотик) 4х2 см, толщиной 5 мм с лункой по центру глубиной 2 мм. В лунку уложен металлический шарик диаметром 8 мм. Сухой плотик с шариком опускаются на поверхность воды вдали от магнита. Сразу же по поверхности воды плотик движется к магниту и висит над ним. Без сомнения движущей силой приближения шарика к магниту была работа магнитного поля (МП): от магнита на дне к металлическому шару на поверхности. Силы МП недостаточно и синтеза шарика с магнитом не происходит. Через 35 мин дерево плотика пропитывается водой и она соприкасается с шариком. Вода стала проводником электрических зарядов магнита на дне и к МП добавилось электрическое поле (ЭП) и шарик устремляется к магниту (соскальзывая с плотика или прижимая его к магниту). Следовательно, в синтезе шарика с магнитом движущей силой было МП и ЭП. Фундаментальный закон гласит: энергия заряда атома и ЭМП его — две стороны одной монеты. Н.Тесла считает: «Нет заряда нет и МП». Тогда движущая сила — это сумма МП и ЭП, т.е. электричество атомов. А если учесть, что ядро любого атома неделимо и определяет природу вещества, то можно прийти к выводу, что движущей силой являются электроны атомов.

Но где же «умное» электричество? Возможно в СМ оно проявляется тогда, когда к основному добавляются новые алгоритмы, а как в природе? В итоге: работа на атомарном уровне означает огромную экономическую выгоду: использовать энергию атомов без внешних затрат.

Выводы.

1. К природоподобным следует относить те технологии, которые подчиняются фундаментальным законам Вселенной. Учитывают, что всё состоит из атомов с положительно заряженным ядром и отрицательно – электронами. Атомы разные и характеризуются разной величиной положительных и отрицательных зарядов и порождённых ими электромагнитных полей соответствующих плотности и полюса. Движущей силой в создании природы является электричество: ядерное и электронное. Исключён человеческий фактор. Система продукта стабильно устойчивая.

2. Экономический фактор созидания природного продукта колоссален: вся технология только за счёт энергии атома, без привлечения внешней энергии.

3. Технология строительного материала может быть природоподобной, если кроме химического и минералогического составов (система продукта неустойчива) будет учтена природная сущность атома – электронное строение и структура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стенина Н.Г. Земля испытывает бетон на прочность: природоподобные технологии в строительном материаловедении, Сб тр. Новосибирск, 2019, -с.17-24.
2. А.Ф. Иоффе. О физике и физиках Л.: Изд-во «Наука», 1985. 544 с.
3. Кучеренко А. А. Термодинамические характеристики цемента – основа создания бетона с заданными свойствами //Технология бетонов №3-4, 2018, -С.12-14. РФ.
4. Кучеренко А.А./Энергетика доменного гранулированного шлака. //Сухие строительные смеси №5, 2019.- С.4-7.РФ.
5. Бацанов С.С. Структурная химия. Факты и зависимости./С.С.Бацанов – М.:Диалог-МГУ, 2000, – 292 с.

УДК 691.42

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИНКЕРНОЙ ЧЕРЕПИЦЫ

Я.В.Лазарева, М.Е.Орлова, Н.Е.Дьяченко

*Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Описаны перспективы производства клинкерной черепицы отечественными производителями керамических изделий. Выявлена взаимосвязь водопоглощения и водонепроницаемости керамической черепицы. Обоснована необходимость введения нормируемого значения водопоглощения как обязательного показателя. Приведена зависимость прочности керамического черепка и прочностью черепицы, с возможностью уменьшения толщины изделия, без снижения механических показателей.

Ключевые слова: керамика, клинкерная черепица, прочность, водонепроницаемость, водопоглощение.

The prospects for the production of clinker tiles by domestic producers of ceramic products are described. The relationship between water absorption and water resistance of ceramic tiles has been revealed. The necessity of introducing a standardized value of water absorption as a mandatory indicator has been substantiated. The dependence of the strength of a ceramic shard and the strength of a tile is given, with the possibility of reducing the thickness of the product, without reducing the mechanical properties.

Keywords: [ceramic](#), clinker tiles, strength, water resistance, water absorption.

В настоящее время среди архитекторов и строителей наблюдается все больший интерес к керамической черепице, как к эксклюзивному и долговечному решению в качестве устройства кровли. Это связано с особенностями ее физико-механических и эстетических свойств, позволяющих подчеркнуть индивидуальность конкретного здания и статус владельца. За тысячелетнюю историю эксплуатации черепица зарекомендовала себя как экологически чистое, надежное и долговечное кровельное изделие, созданное из природного материала в различных профилях и цветах, обладая идеальной совместимостью с различными архитектурными стилями и тенденциями.

Потребности отечественного рынка керамических кровельных материалов сейчас удовлетворяются в основном за счет импорта продукции таких производителей как Roeben, Braas, Laumans, Tondach, Koramic (рис. 1), что не делает ее общедоступной из-за высокой стоимости, поскольку цена за 1 м² может достигать до 4-5 тыс. руб. Обладая высокими физико-механическими свойствами, такими как повышенная прочность черепка и пониженное водопоглощение, импортную черепицу можно назвать клинкерной.

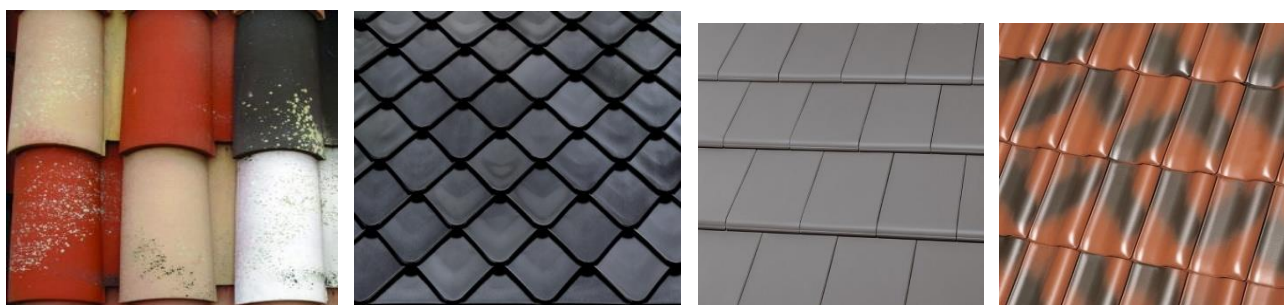


Рисунок 1 - Керамическая черепица Европейских производителей: фирмы «Roeben», «Braas», «Tondach».

В условиях возросшего спроса на натуральные экологичные строительные материалы, в частности керамическую черепицу, отечественные заводы по производству керамических изделий начали организовать собственное производство керамической черепицы. На данный момент остро стоит задача выбора оптимальных сырьевых материалов и создание современной технологии производства клинкерной черепицы. Керамическая клинкерная черепица должна соответствовать следующим показателям:

- разрушающая нагрузка при изгибе в зависимости от вида черепицы варьируется от 600 Н (60 кгс) для плоской черепицы до 1200 Н (120 кгс) для желобчатой и специальной черепицы;
- черепица должна быть водонепроницаемой;
- условно принято считать, что водопоглощение керамической черепицы не должно превышать 10 %;
- масса 1 м² кровельного покрытия из пазовой или S-образной черепицы в насыщенном водой состоянии должна быть не более 54 кг («монах»-«монашка» - 74 кг, 1 пог. м из коньковой черепицы – 12 кг);
- черепица должна выдерживать без каких-либо видимых разрушений не менее 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Для получения клинкерной черепицы с такими свойствами, как показали наши исследования, идеально подойдут аргиллитоподобные глины [1,2]. Отличием обычных глин, пластичность которых практически не меняется, от глин аргиллитоподобных является такая особенность как увеличение пластических свойств с увеличением степени диспергации. Эта особенность отличает их от глинистых сланцев, пластичность которых с увеличением степени диспергации изменяется совершенно незначительно, т.к. в сланцах практически отсутствуют глинистые минералы. Аргиллитоподобные глины относятся к группам малопластичного и умереннопластичного сырья, однако число пластичности для них редко превышает 11-12 единиц. При этом надо учитывать, что пластичность данного сырья во многом зависит от степени его переработки и диспергации, которая может достигаться различными способами [3, 4].

Согласно диаграмме, разработанной Августиником А.И., в зависимости от молярных отношений Al_2O_3/SiO_2 и суммы оксидов $Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$, выделяются области глинистого сырья, наиболее подходящие для производства тех или иных видов керамики [5]. Аргиллиты в этом плане почти полностью попадают в область черепичных глин и частично в область плиток для пола [6].

Проведенные исследования подтвердили возможность получения клинкерной черепицы на основе аргиллитов с высокими физико-механическими показателями. Полученные образцы подвергались лабораторным испытаниям по стандартным методикам, используемым при оценке качества керамической черепицы. Наряду с общепринятыми нами были проведены испытания, которые не входят в перечень согласно ГОСТ Р 56688-2015 «Черепица керамическая. Технические условия» – определение водопоглощения черепицы и определение прочности керамического черепка. На основании полученных результатов были выявлены взаимосвязь водопоглощения и водонепроницаемости и зависимости толщины изделия от прочности керамического черепка.

В ГОСТ Р 56688-2015 «Черепица керамическая. Технические условия» такой показатель, как водопоглощение не учитывается, необходимо только, чтобы черепица была водонепроницаема. В рекомендациях по устройству кровли существует требование о максимально возможном приросте веса кровли, который не должен превышать 10 % в водонасыщенном состоянии, из чего можно сделать вывод, что водопоглощение керамической черепицы условно не должно превышать 10 %. А если учесть, что в процессе эксплуатации черепица подвергается воздействию осадков, и со временем может возникнуть риск образования на поверхности биологического налета, то водопоглощение не должно превышать 5-6 %. Такое значение соответствует водопоглощению клинкерного кирпича, что позволяет говорить о возможности получения керамической черепицы с более высокими значениями морозостойкости.

Взаимосвязь водопоглощения и водонепроницаемости керамической черепицы является весьма важным моментом – водопоглощение выражается конкретными цифрами, по которым косвенно можно судить о морозостойкости, водонепроницаемости, стойкости к биологической коррозии и т.д. Методика определения водопоглощения понятна и четко описана, что позволяет минимизировать расхождение в трактовке результатов. Что же касается водонепроницаемости, то здесь стандартом определено только то, что черепица должна быть водонепроницаема. Такая формулировка позволяет по-разному трактовать результаты испытаний керамической черепицы по данному показателю. В свою очередь, на результаты влияет множество факторов – толщина изделия, количество и размер пор и т.д.

Нами были проведены сравнительные испытания по определению водонепроницаемости по методике действующего стандарта и методике прошлых лет, с использованием трубки с внутренним диаметром 25 мм и высотой 150 мм, которая фиксировалась на поверхности образца и заполнялась водой. В результате проведения параллельных испытаний была выявлена некая взаимосвязь между водопоглощением и водонепроницаемостью. Так, у образцов с водопоглощением более 10 % на нижней поверхности уже через 0,5-1,5 часа после начала испытания образовывались крупные капли

(рис. 2). У образцов, водопоглощение которых варьируется в интервале 6-10 %, через 3-6 часов после начала испытания наблюдались мелкие и очень мелкие капли (рис. 3). Поверхность образцов с водопоглощением 3-6 % через 4 часа стала влажной, местами с тонкой водяной пленкой (рис. 4). На нижней поверхности образцов, имеющих водопоглощение менее 3 %, влаги не наблюдалось, но ощущалось, что образец насыщен водой (рис. 5).



Рисунок 2 - Результаты определения водонепроницаемости на образцах с водопоглощением более 10 %.



Рисунок 3 - Результаты определения водонепроницаемости на образцах с водопоглощением 6-10 %.



Рисунок 4 - Результаты определения водонепроницаемости на образцах с водопоглощением 3-6 %.



Рисунок 5 - Результаты определения водонепроницаемости на образцах с водопоглощением менее 3 %.

На наш взгляд, для черепицы в существующий стандарт необходимо ввести понятие водопоглощения, причем с показателем не более 6 %, для обеспечения требования по водонепроницаемости.

При оценке механических характеристик керамической черепицы речь идет об определении разрушающей нагрузки, но никак не учитывается предел прочности при сжатии и изгибе самого керамического материала, хотя прочность готового изделия напрямую зависит от прочности черепка. Такая закономерность не может не быть привлекательной для производителей в виду того, что черепица реализуется не по весу, а по квадратным метрам или штукам. С уменьшение массы изделия снижаются расход сырья, затраты на приобретение и доставку сырья, его переработку и подготовку сырьевых масс, затраты на обжиг и транспортировку готовых изделий. Снижение массы за счет уменьшения толщины изделия также позволяет снизить затраты на устройство стропильной системы [7].

Рассматривая формулу определения предела прочности при изгибе как квадратичную зависимость можно прогнозировать прочность при заданной толщине образца. Лабораторные испытания показали возможность снижения толщины черепицы в 2 раза при прочности керамического черепка равной 45-55 МПа, с сохранением прочности полноразмерного изделия на уровне 1500-2000 Н. Также нужно учитывать тот факт, что большинство керамической черепицы имеет рельефные элементы, таким образом возникают дополнительные ребра жесткости, что тоже положительно влияет на прочность.

Согласно ГОСТ Р 56688-2015 «Черепица керамическая. Технические условия» при определении предела прочности при изгибе перед началом испытания в местах приложения опор и нагрузки поверхности выравнивают полосками из гипсового раствора или прокладками войлока [2]. Но стандартом не описываются требования к качеству гипса и процедуре подготовки гипсового теста. Результаты, получаемые на образцах с разной предварительной подготовкой, могут достаточно сильно отличаться друг от друга. Также возникают вопросы по подготовке к испытанию S-образной черепицы. Определение предела прочности при изгибе проводится на образцах в воздушно-сухом состоянии, тогда как черепица, как кровельный материал достаточно часто находится в водонасыщенном или близко к этому состоянию. Почему не проводятся испытания в насыщенном водой состоянии? На наш взгляд добавление ряда показателей к регламентируемым стандартом, могло бы формировать более целостную картину о долговечности и эксплуатационных качествах керамической черепицы.

Проведенные нами исследования позволяют организовать производство клинкерной черепицы в нашей стране по оптимальным технологическим схемам и разработать более совершенные методики оценки ее качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко Г.Н., Лапунова К.А., Лазарева Я.В. Керамическая черепица на основе аргиллитоподобных глин // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2015. № 4 (14). С. 41-46.
2. ГОСТ Р 56688-2015 «Черепица керамическая. Технические условия». 2016. 22 с.
3. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат. 1975. 592 с.
4. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Методика испытания камневидного сырья для производства стеновых изделий компрессионного формования // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 24-27.
5. Котляр А.В. Технологические свойства аргиллитоподобных глин при производстве клинкерного кирпича // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 2 (55). С. 164-175.
6. Лазарева Я.В., Котляр А.В. Расчет составов керамических масс для производства черепицы на основе аргиллитов // *Строительные материалы*. 2020. № 8. С. 54-58.
7. Лазарева Я.В., Котляр А.В., Терехина Ю.В. Структурно-механические особенности керамической черепицы на основе аргиллитов и кремнистых глин // *Актуальные проблемы науки и техники*. 2020. Материалы национальной научно-практической конференции. 2020. С. 1649-1651.

УДК 691: 519.24

МЕТОДОЛОГИИ ЭС-МОДЕЛИРОВАНИЯ И РТ-ПОЛЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТОК ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.В. Ляшенко
Одесса, Украина

Аннотация. Отмечается важность обеспечения качества материала уже на этапе его проектирования. Для этого предлагаются методология экспериментально-статистического моделирования и включающая ее методология рецептурно-технологических полей. Приводятся ссылки на работы, в которых они представлены.

Ключевые слова: проектирование качества, композиционный материал, экспериментально-статистическое моделирование, рецептурно-технологическое поле.

Abstract. The importance of ensuring the quality of the material already at the stage of its design is noted. The paper promotes the methodology of experimental-statistical modelling and the methodology of composition-process fields (that incorporates the first), which help to design the quality of the materials. The links to publications in which they are presented are provided.

Key words: quality by design, composite material, experimental-statistical modelling, composition-process field.

Высококачественные строительные материалы – это, как правило, многокомпонентные композиционные материалы, наилучшим образом отвечающие своему назначению. Называя их высокофункциональными [1, 2], можно иметь в виду и высокопрочный бетон для конструкций моста, и быстротвердеющий раствор низкой прочности для кратковременного закрепления породы.

Назначение диктует комплекс требований к критериям качества материала (У) на разных этапах его жизни: к характеристикам структуры, технологическим и эксплуатационным свойствам; к критериям стойкости (их уровень определяет время службы

под жесткими воздействиями, в агрессивных, низко- и высокотемпературных средах); к надежности, гарантированности свойств (важно для систем, отказ которых приводит к недопустимым последствиям); к экологическим критериям «чистоты» технологии, утилизации отходов, ресурсосбережения и др.

Увеличение долговечности достигается, как правило, за счет высокой «начальной» стоимости собственно материала, но это может снизить затраты «в целом», оказаться эффективным для включающей материал системы.

Идеология и практика получения качественного продукта, пройдя путь от выборочного и сплошного контроля (с отбраковкой уже готового) до управления процессами производства с учетом отклонений от заданных параметров [3, 4], пришли к современной философии обеспечения качества – гарантировать его, «строить качество» с самого начала жизни продукта, с замысла, проекта.

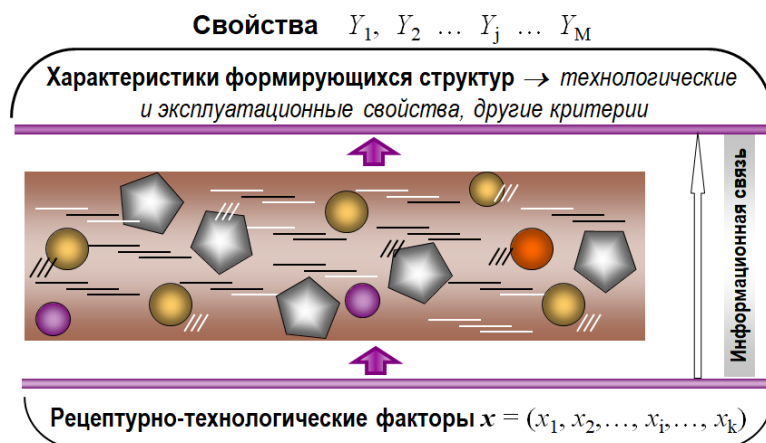
Проектирование качества материала (*Quality by Design, QbD*) означает, что качество должно быть заложено в материал при его разработке. Для последующего воплощения нужно назначить такой состав, такие параметры процесса производства и условия эксплуатации материала – такой вектор рецептурно-технологических (РТ) факторов x , которые **обеспечат** требуемые или улучшенные свойства Y .

Критерии Y характеризуют реакцию структуры материала на управляемые воздействия x (как условно показано на рисунке) и представляют информационную базу для формирования желаемых структур за счет тех или иных значений РТ-факторов. А для реализации таких структур, на основе количественного анализа связей между x и Y и «закладки качества в проект», необходимы математические модели этих связей – такие, по которым могут решаться и прямые задачи материаловедения (прогноза, оценки Y), и обратные (проектирования, определения допустимых или лучших x).

Прежде всего, это методология ЭС-моделирования, разработанная В.А. Вознесенским [5-12]. Как отмечено в [13], «многолетний опыт применения ЭС-моделирования в исследованиях и при проектировании широкого разнообразия композиционных материалов позволяет рекомендовать этот мощный инструмент для разработок многокомпонентных строительных композитов». ЭС-модели целесообразно использовать в исследованиях (на атомно-молекулярном, нано-, микро-, мезо-, макроуровне, на уровне конструкций), разрабатывая любые высококачественные материалы (в том числе, с многокомпонентными компонентами).

Это могут быть:

- неорганические и органо-минеральные вяжущие, полимерные связующие, многокомпонентные вяжущие системы с добавками молотого шлака, золы уноса, щелочных ингредиентов, с другими минеральными, биологическими и химическими добавками;
- пасты и растворы на разных матрицах, в частности, ремонтные, защитные и



Схематическое изображение связей при рассмотрении цепи «рецептура, технология → структура → свойства»

отделочные композиции специального назначения, стойкие к жаре, морозу, динамическим нагрузкам и разным средам;

- сухие строительные смеси разного назначения;
- фиброармированные композиции;
- высокофункциональные бетоны, в том числе, легкие и ячеистые;
- и другие композиты.

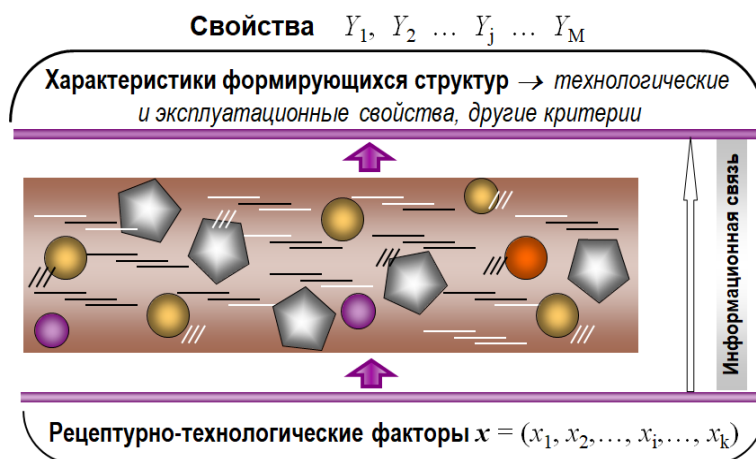
Построенные на результатах спланированного натурального эксперимента (при системном подходе, с учетом априорных знаний), многофакторные структурированные нелинейные ЭС-модели могут симулировать свойства материала в вычислительных экспериментах, позволяя, в том числе, найти допустимые, оптимальные и компромиссно оптимальные рецептурно-технологические решения, обеспечивающие сбережение энергетических и других ресурсов, гарантирующие качество материала, отвечающие экологическим требованиям.

Качественный скачок этих возможностей осуществлен через включение ЭС-моделей в компьютерное материаловедение как описаний рецептурно-технологических полей свойств $Y(x)$ [14], как основы для извлечения информации и знаний о материалах из свернутых в этих моделях экспериментальных данных. Возможны и другие модели для описания РТ-полей, а также совместное использование моделей разных типов.

Методология РТ-полей (Т.В. Ляшенко, В.А. Вознесенский [14, 15]) нацелена на получение высококачественных композиционных материалов (высокофункциональных, технологичных, экологичных ...). Ее идеологическая установка – оптимальность материала; при этом предполагается, что не только структура и свойства материала должны быть оптимальными, но и процессы его разработки и изготовления.

Методология помогает справиться с многомерностью задач. Понятия полного и локальных полей, структурирование системы факторов и описывающих поля моделей, использование обобщающих показателей полей и «вторичных» моделей (для обобщающих показателей, по результатам вычислительных экспериментов) позволяют вскрыть, отобразить и измерить индивидуальное и совместное влияние РТ-факторов на свойства и взаимосвязи факторов и свойств.

Методология рассматривает поля с факторными и критериальными границами области поля, модельно-детерминированные (с определяемыми моделью детерминированными уровнями Y), случайные (с добавленной к оценке Y по модели генерируемой ошибкой), гарантированного уровня свойства [14]. В последних к оценке Y по модели добавляется полуширина доверительного интервала: со знаком минус если нужно гарантировать отсутствие отказов, возникающих из-за низких уровней свойства (предела прочности, стойкости и т.д.), со знаком плюс – когда неприемлемы высокие значения Y



Схематическое изображение связей при рассмотрении цепи

«рецептурная технология → структура → свойства»

(вязкости, водопроницаемости, теплопроводности, усадки ...).

Среди инструментов методологии РТ-полей, следует выделить легко реализуемый достаточно универсальный метод решения задач многокритериальной оптимизации [14, 16]. Принципиально не ограничены ни размерность факторной области, ни число критериев. При поиске решений можно использовать любые модели, которые позволяют рассчитать уровень свойства для любых исследуемых рецептурно-технологических вариантов. Важно, что нет необходимости применять интегральный критерий типа функции желательности и назначать весьма неопределенные веса частным критериям.

Метод позволяет найти: ♦ допустимые РТ-решения – многокомпонентные составы и технологические режимы, которые обеспечивают (в том числе гарантировано, с заданным риском) нормативные требования к свойствам; ♦ оптимумы по отдельным критериям оптимальности; ♦ рецептуры и параметры процессов, обеспечивающие компромисс между максимумами одних критериев (степень гидратации, адгезия, содержание утилизируемого отхода...) и минимумами других (пористость, плотность, вязкость, усадка, энергоемкость...), при гарантированном выполнении требований к остальным, специфицируемым критериям (прочность, морозостойкость и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mindes S. High performance concrete: where do we go from here? // Brittle Matrix Composites 8. – Cambridge: Woodhead Publ. Ltd., Warsaw: ZTUREK RSI, 2006. – P. 15-23.
2. Высокофункциональный бетон – модный термин или философия бетона нового поколения? – Строительные материалы, № 11, 2010. – С. 34-35.
3. Ishikawa K. Guide to Quality Control. – Asian Productivity Organization, 1986. – 226 p.
4. Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Статистическое управление процессами – Statistical Process Control (SPC). – М.: МИСиС, 2020. – 382 с.
5. Ляшенко Т.В. Об истории экспериментально-статистического моделирования // Моделирование и оптимизация композитов. – Одесса: Астропринт, 2014. – С. 50-55.
https://drive.google.com/file/d/1Oz2SUFgA5GvDRpkb3_W98h59uwKD2Spi/view
6. Современные методы оптимизации композиционных материалов / Под ред. В.А. Вознесенского. – К.: Будівельник, 1983. – 144 с.
<https://drive.google.com/file/d/1HezlbDbEw90vfuk8R7Mf8FWSv7wZGflr/view>
1. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будівельник, 1989. – 240 с.
2. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. – К.: Выща школа, 1989. – 328 с.
3. Voznesensky V.A., Lyashenko T.V. Experimental-statistical modeling in computational materials science // Proc. 3rd Int. Applied Statistics in Industry Conf., v. 1. – Wichita, KS (USA): ACG Press, 1995. – P.287-298.
4. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для анализа и оптимизации состава, технологии и свойств композиционных материалов на основе щелочных вяжущих систем / Науч. ред. В.А. Вознесенский, П.В. Кривенко. – ОГАСА, НИИВМ им. В.Д. Глуховского. – К., 1996. – 105 с.
5. Voznesensky V., Lyashenko T. Experimental-statistical modelling in computational materials science. – Одесса: Астропринт, 1998. – 32 с.
6. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.
7. Ляшенко Т.В. О нейронных сетях и экспериментально-статистическом моделировании // Modelling and Optimization of Building Composites. – Одесса, 2016. – С. 86-90.

ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ-УНОСА НА СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

Е. В. Лыткина, В. С. Смирнов

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин), г.Новосибирск, Россия*

Аннотация. Исследовано влияние золы-уноса города Новосибирска на свойства самоуплотняющейся бетонной смеси. Исследованием установлено, что данные добавки повышают стабильность смеси, водоудерживающие способности, сохраняемость, плотность и прочность.

Ключевые слова: зола-уноса, самоуплотняющийся бетон, тяжелый бетон, сохраняемость, подвижность.

Одним из наиболее значимых достижений в технологии бетона недавнего времени является самоуплотняющийся бетон (СУБ). Этот строительный материал, как и обычный бетон, на цементном вяжущем и крупном и мелком заполнителях и добавках, изготавливается по той же технологии, но обладает уникальными свойствами: способностью уплотняться под действием собственного веса; повышенными прочностными характеристиками как на сжатие, так и на изгиб, и долговечностью.

Перспективные преимущества СУБ в технологии изготовления конструкции на заводе:

- изменения текущих кол методов транспортировки бетона в цехе в связи с его высокими реологическими свойствами;
- изменения методов формирования и кол закрепления внутренней арматуры и оборудования, поскольку они не должны противостоять силам, связанным с процессом вибрации/уплотнения;
- возможность сокращения времени кол укладки бетонной смеси;
- возможность кол выделения большего времени на твердения, из-за снижения времени формования, при сохранении требуемой производительности изделий в сутки;
- разработка новых типов планировки цеха согласно с изменениями технологии производства изделий из СУБ [1].

Экологическая безопасность и обращение с отходами в Сибирском регионе является одной из главных задач на сегодняшний день. В связи с этим и выбраны материалы для проведения исследования.

Зола-уноса – отход, образующийся на ТЭЦ при сжигание твердого топлива. Получается путем электростатического или механического осаждения мелких частиц из топливных газов [2, 3].

Необходимо исследовать влияние добавки микрозаполнителя в разных количествах на свойства бетонной смеси, а именно- удобоукладываемость.

Для проведения исследований использовались следующие материалы:

- цемент: ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Искитимцемент»;
- песок: Мкр. 1,8. Карьер «Катковский»;
- щебень: диабаз фракции 5-20мм. Коеенское месторождение, Новосибирская область;
- суперпластификатор на полкарбоксилатной основе BASF Glenium Sky 591.

При использовании золы-унос приняли дозировки 15%, 20%, 25%, расплыв конуса в пределах 60-65 см. Сводные данные результатов испытаний приведены в таблице 1.

Определение сохраняемости свойств бетонной смеси проводилось согласно ГОСТ 10181-2014. Определение прочности бетона проводилось согласно ГОСТ 10180-2012.

Таблица 1

Наименование компонентов	СУБ Зола 20%	СУБ Зола 15%	СУБ Зола 25%
	Glenium 591	Glenium 591	Glenium 591
Расход кг/м3			
Цемент	420	420	420
Песок	950	950	950
Щебень	880	880	880
Вода	205	200	215
Доб. пластиф.	4,8 (1,14%)	4,8 (1,14%)	4,8 (1,14%)
Зола	84	63	105
Физико-механические свойства бетонной смеси			
Расплав БС 10мин	62	61	64,5
Плотность 10 мин	2468	2476	2456
T ₅₀₀ , с. 10мин	2,7	3,2	2,3
Темп. БС, °С 10мин	25,9	25,5	25,5
Расплав БС 60мин	55	53,5	58,5
T ₅₀₀ , с. 60мин	3,2	4	3
Темп. БС, °С 60мин	24,4	24,0	24,2
Прочность МПа			
28 суток, Н.Т.	55,3	51,9	57,2
ТВО	50,0	49,4	51,9
плотность	2448	2443	2475

Исходя из таблицы видно, что при увеличении дозировки микронаполнителя происходит улучшение таких технологических параметров как расплав конуса, сохраняемость подвижности.

Также за счет заполнения микронаполнителем пространства между зернами цемента и песка происходит увеличение плотности бетона и, как следствие, прочности как после тепловлажностной обработки, так и при хранении в нормальных условиях.

Введение микронаполнителя оказывает благоприятное воздействие на стабильность бетонной смеси. Введение этой добавки позволило добиться требуемых реологических свойств без признаков расслоения и раствороотделения, а также повысить прочность и однородность.

Повышение плотности должно положительно сказаться на долговечности бетона его морозостойкости и водонепроницаемости.

Использование отходов – золы-уноса ТЭЦ-5 и ферросплавных заводов является рациональным в НСО. Получение СУБ на местных материалах возможно и стоит развивать это направление в бетонной сфере.

Стоимость СУБ выше стоимости обычного бетона, но это не значит, что использование такого бетона экономически не выгодно. При использовании СУБ в строительстве или производстве железобетонных изделий на заводе появляется возможность отказаться от виброуплотнения, а значит и от покупки/аренды оборудования, а также снижение энергозатрат.

Также повышается качество поверхности бетона. При отсутствии виброуплотнения снижается шумовое и вибрационное воздействие на строительной площадке и прилегающих территориях.

И, конечно, использование отходов промышленности в стройматериалах сокращает количество полигонов – отстойников.

Также правильно подобранный состав СУБ снижает количество цемента в составе, что в долгосрочной перспективе означает снижение объемов его производства и следовательно снижение выбросов CO₂ в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мункхтувшин Д., Балабанов В.Б., Пуценко К.Н. Опыт применения добавок микро- и наносилики из отходов кремниевого производства в бетонных технологиях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - 2017. Т. 7, № 3. - С. 107-115.
2. Герасимова Н.П. Зола уноса как сырье для производства бетонных блоков при решении экологической проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ // Вестник ИрГТУ. -2016, № 6 (113). -С. 122-127.
3. Худякова Л.И., Залуцкий А.В., Палеев П.Л. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций. XXI век. Техносферная безопасность. 2019. -№ 4(3). –с.375-391.

УДК 620.691:678

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГКОБЕТОННЫХ ПОЛОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

А.В.Мазгалева, А.П.Пичугин
Новосибирск, Россия

Основными материалами для полов животноводческих помещений являются древесина и бетон. Однако, данные материалы не отвечают всем требованиям эксплуатации и специфики условий, где вследствие биохимических процессов, протекающих между экскрементами животных, остатками кормов и подстилочными материалами образуются различные органические и неорганические, жидкие и газообразные вещества, которые непрерывно оказывают агрессивное воздействие на полы животноводческих зданий. К числу таких веществ относятся следующие:

- неорганические соединения: натриевые, калиевые, кальциевые, магниевые аммонийные соли соляной, фосфорной, серной и других кислот;
- органические соединения: мочевина, креатинин, гиппуровая и мочевая кислоты, амины, аминокислоты;
- газы: аммиак, двуокись углерода, сероводод.

Микроклимат животноводческих помещений обычно характеризуется высокой влажностью воздуха, повышенной концентрацией некоторых газов. Максимальная относительная влажность воздуха достигает 100%, а температура колеблется от отрицательных до +40⁰С (таблица 1).

Кроме указанных агрессивных факторов, полы животноводческих зданий подвержены и механическим воздействиям – удару, истиранию, износу, сжатию, изгибу.

Полы из традиционных материалов в сложных эксплуатационных условиях или быстро разрушаются и требуют ежегодного ремонта, или не удовлетворяют зоогигиеническим требованиям, что отрицательно сказывается на состоянии и продуктивности животных.

Из-за несовместимости в распространенных материалах двух противоположных свойств – стойкости к коррозии и малой теплопроводности – полы в животноводческих помещениях приходится делать двухслойными. Нижний основной слой должен обеспечивать высокие теплотехнические свойства и достаточную прочность. Защитное покрытие должно быть коррозионно-стойким, водонепроницаемым, нескользким, неабразивным и т.п. При этом должно иметь хорошую адгезию к основному слою и иметь малую теплопроводность.

Таблица 1

Показатели агрессивности среды животноводческих зданий

Показатели

Здания	Агрессивность среды, pH	t воздуха, °C	Относительная влажность, %	Концентрация аммиака, мг/м ³	Концентрация углекислого газа, %
1	2	3	4	5	6
Свиноводческие	от 2 до 9	от -5 до 40	до 100	до 40	до 0,4
Для КРС	от 4 до 10	от -5 до 40	до 100	до 30	до 2,3

Исследование коррозионной стойкости является одним из необходимых условий оценки пригодности материала для покрытия полов животноводческих помещений.

Разработаны коррозионно-стойкие теплые пенополистиролшлакобетонные полы с защитным покрытием на основе отходов асбестоцементной промышленности. Полы представляют собой конструкцию, включающую подстилающий слой из легкого бетона класса В5 плотностью не более 900 кг/м³ толщиной слоя 120-150 мм. Защитное покрытие устраивается из раствора марки 100 с заполнителем – отходами асбестоцемента с плотностью в сухом состоянии не более 1200 кг/м³ и водопоглощением не более 2% по массе (толщина слоя 20-30 мм).

Определение коррозионной стойкости защитного покрытия в агрессивных химических средах производилось на образцах-кубиках размерами 40х40х40мм. Основным критерием химической устойчивости покрытия служило изменение предела прочности при сжатии образцов, подвергнутых испытанию. Агрессивные среды заменялись не реже двух раз в месяц.

Для проведения испытаний на коррозионную стойкость взяты следующие химические среды: азотная, серная, соляная и уксусная кислоты, едкий натр, жиры, водный раствор аммиака, синтетический раствор мочи животных, вода дистиллированная (таблица 2).

Таблица 2

Концентрация водных растворов и время пребывания в различных агрессивных средах

Среда	Концентрация, %	Время пребывания в среде, дни
1	2	3
Азотная кислота	5	180
Угольная кислота	5	365
Соляная кислота	5	365
Уксусная кислота	25	7
Едкий натр	5	180
Сероводород	-	365
Сахарный сироп	-	90
Водный раствор аммиака	5	365
Синтетический раствор мочи животных	-	365
Вода дистиллированная	-	365

В результате испытаний установлено, что предел прочности не снижается ниже регламентированных 7,5 МПа, исключением является угольная кислота, где прочность снизилась до величины 7,2 – 7,3 МПа, однако следует отметить, что данной концентрации кислоты на практике не имеет место быть, о чем свидетельствуют достаточно устойчивые свойства материала в реальных эксплуатационных условиях.

Анализ полученных результатов показывает, что материал обладает достаточной коррозионной стойкостью и может применяться в качестве защитных покрытий полов в условиях агрессивных сред сельскохозяйственных помещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

8. Мазгалева, А.В. Защитные растворы на основе отходов асбестоцементной промышленности для полов животноводческих помещений [текст]/ А.В.Мазгалева, А.П.Пичугин // Эффективные материалы и конструкции для сельскохозяйственного строительства: Международный сб. науч.тр. – Новосибирск, 1995г.
9. Денисов, А.С. Исследование характера взаимодействия и преобразований в полиминеральных системах [текст]/ А.С.Денисов, А.В.Мазгалева, А.П.Пичугин // Эффективные материалы и технологии в сельском строительстве: Международный сб. науч.тр.– Новосибирск, 1999. – С.96-72.
10. Мазгалева, А.В. Разработка материалов двухслойного пола на основе отходов производства [текст]/ А.В.Мазгалева, Пичугин А.П.// Экология и ресурсосбережение в материаловедении: Международный сб. науч.тр. – Новосибирск, 2000. – С.49-53.
11. Мазгалева, А.В. Изучение микроструктуры бетонополимера [текст]/ А.В.Мазгалева // Сибирский научный вестник XIV – Новосибирск, 2010. – С.163-165.
12. Эффективность модификации строительных материалов полимерами [текст]/ А.В.Мазгалева, А.В.Пермина, А.П.Пичугин, А.П.Минаев, М.С.Золотов // Стройсиб-2015. Строительные материалы 4С: состав, структура, состояние, свойства: Международный сб. науч. тр. – Новосибирск, 2015. – С.330-335.
13. Эффективные полимерсодержащие композиции для защиты зданий и сооружений от коррозии [текст]/ А.В.Мазгалева, В.М.Курдюмова, А.П.Пичугин, А.Ю.Кудряшов и др.// Стройсиб-2017. Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении: Международный сб. науч. тр. – Новосибирск: НГАУ, 2017. – с.92-95.

УДК 691.11:674.048.5

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ШАХТНОЙ КРЕПИ

Н.А. Машкин, Громов С.А., Шкряба В.И.

Новосибирск, Ханты-Мансийск, Россия

Аннотация. В НГТУ и ЮГУ проведены исследования стойкости деревянной крепи временных шахтных выработок при добыче полезных ископаемых. Показано изменение свойств натуральной древесины в агрессивных эксплуатационных средах. Предложены эффективные модификаторы и способы пропитки древесины. Приведены результаты длительных и ускоренных испытаний модифицированной древесины.

Ключевые слова. Шахтная крепь, модифицированная древесина, пропиточные составы, технология модифицирования.

APPLICATION OF MODIFIED WOOD IN MINE SUPPORT

Mashkin N.A., Gromov S.A., Shkryaba V.I.
(Novosibirsk, Khanty-Mansiysk, Russia)

Annotation. In the NSTU and YuSU, studies have been carried out on the durability of wooden lining of temporary mine workings during the extraction of minerals. The change in the properties of natural wood in aggressive operating environments is shown. Effective modifiers and methods of wood impregnation are proposed. The results of long-term and accelerated tests of modified wood are presented.

Keywords. Shaft support, modified wood, impregnating compounds, modification technology.

Обеспечение эксплуатационной стойкости и долговечности модифицированной древесины в шахтной крепи возможно не только в случае стандартной глубокой пропитки древесины, но также и при поверхностном модифицировании элементов крепи.

Традиционные технологии модифицирования древесины связаны, как правило, с автоклавными методами пропитки, включающими предварительное вакуумирование заготовок с последующей глубокой пропиткой при атмосферном или избыточном давлении. В зависимости от планируемой степени насыщения древесины полимером-модификатором варьируются глубина и продолжительность вакуумирования, а также уровень давления и продолжительность пропитки [1,2]. В результате полимер-модификатор проникает в капилляры и клетки древесины по всему сечению пропитываемых элементов. При этом степень поглощения жидкого модификатора может достигать 100%. Вместе с тем, такой высокий уровень расхода модификатора далеко не всегда оправдан с точки зрения соотношения затрат к достигаемому эффекту модифицирования древесины.

В то же время существует весьма широкая область применения модифицированной древесины в строительных изделиях и конструкциях (например, несущие и ограждающие элементы складов химикатов и минеральных удобрений, малые архитектурные формы, шахтная крепь и др.), где по условиям эксплуатации не требуется излишне высокая степень защищенности, а вполне достаточно было бы поверхностной защиты конструкций. В таких случаях может быть оправдано использование защитных покрытий или поверхностной пропитки изделий и конструкций [2]. При этом сушку и термообработку пропитанных изделий рекомендуется проводить по специальным «мягким» режимам, включающим следующие основные этапы:

- 1) начальный прогрев при 75°C ;
- 2) сушка ($70-75^{\circ}\text{C}$) до влажности 30-35%;
- 3) влаготермообработка;
- 4) сушка ($75-80^{\circ}\text{C}$) до влажности 20-25%;
- 5) влаготермообработка;
- 6) сушка ($80-90^{\circ}\text{C}$) до влажности 15%;
- 7) влаготермообработка;
- 8) сушка ($90-100^{\circ}\text{C}$) до влажности менее 10%;
- 9) влаготермообработка;
- 10) термообработка при 120°C ;
- 11) влаготермообработка;
- 12) охлаждение в камере до $30-40^{\circ}\text{C}$.

Такие режимы сушки пропитанных заготовок и окончательного отверждения модификатора применяются для снижения уровня остаточных напряжений в модифицированных изделиях [3].

Сравнительные испытания пропитанной на всю глубину и с поверхности древесины показали (рис. 1), что модифицированная с поверхности древесина обладает достаточно

высокой эксплуатационной стойкостью. Конечно? несколько меньшей, в сравнении с глубоко модифицированной древесиной, но заметно превосходящей натуральную.

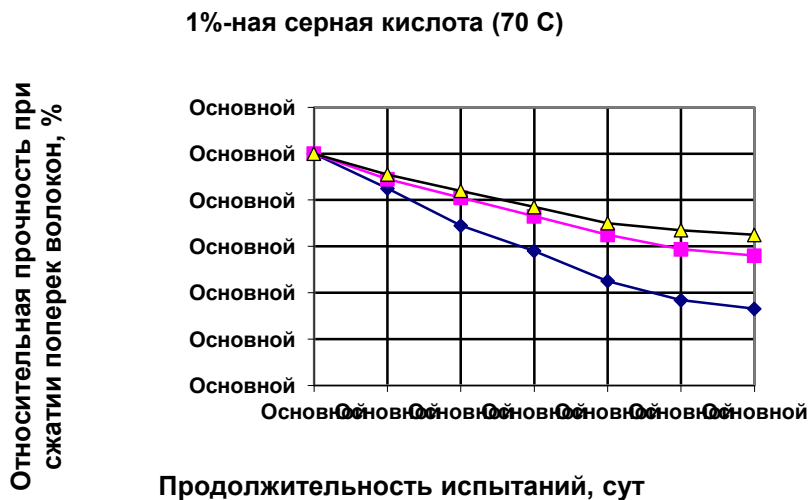


Рисунок 1 - Стойкость модифицированной с поверхности древесины сосны в 1%-ном растворе серной кислоты: 1 - натуральная древесина; 2 - модифицированная с поверхности; 3 - модифицированная на всю глубину

В отличие от традиционного глубокого модифицирования, предлагаемое поверхностное модифицирование древесины осуществляется при упрощенных режимах пропитки, при которых поглощение модификатора, как правило, не превышает 15-20%. Такая пропитка осуществляется при атмосферном давлении рабочего раствора в течение 0,5-1 час. после кратковременного (5-10 мин) вакуумирования заготовок или без предварительного вакуумирования. Преимуществом данной технологии является также ускоренная тепловая обработка пропитанных изделий для отверждения модификатора в поверхностных слоях древесины, когда отпадает необходимость в первых наиболее продолжительных этапах сушки. В результате использования данной технологии упрощается пропиточное оборудование, значительно ускоряются процессы пропитки и сушки древесины.

Предлагаемая технология может быть также применена для защиты деревянных конструкций, работающих в подземных сооружениях, например, в угольных шахтах, где из древесины выполнены настилы, лестницы, лотки для отвода грунтовых вод, затяжка шахтной крепи и др. [2, 4]. Условия, в которых эксплуатируется здесь древесина, характеризуются высокой влажностью и действием агрессивных грунтовых вод. В результате высокосортная хвойная древесина быстро загнивает и разрушается под действием агрессивных сред. Возможны и случаи возгорания деревянных конструкций. Поэтому уже через год службы значительная часть деревянных деталей нуждается в замене или серьезном ремонте.

В результате пропитки с поверхности фенолоформальдегидными модификаторами древесина приобретает высокую стойкость против гниения (3-5%-ного содержания полимера достаточно для обеспечения стойкости к дереворазрушающим грибам). Защитный эффект объясняется действием фенола, а также ограничением развития гриба в плотном поверхностном слое материала. Натурные испытания в шахтах показали [2, 4], что уже после первого года эксплуатации непропитанная древесина в значительной степени пришла в негодность, в то время как у модифицированных деталей не обнаружено внешних признаков разрушения. Например, если прочность при изгибе модифицированной древесины снизилась

только на 15%, то у натуральной древесины - на 32%, т.е. более, чем в 2 раза. Такой эффективности достаточно для обеспечения требуемого безремонтного срока службы деревянной крепи (3-5 лет) во временных выработках шахт по добыче полезных ископаемых.

Для технологического обеспечения требуемой поверхностной пропитки рудничной стойки может использоваться пропиточный цилиндр с вертикальным расположением оси. Особенность пропитки крепи в таком цилиндре заключается в неравномерном проникновении модификатора с нижнего и верхнего торцов рудничной стойки за счет разности гидростатического давления в верхней и нижней части цилиндра. Кроме того, технология пропитки при постепенном заполнении цилиндра модификатором предполагает и дополнительный подсос с нижней стороны пропитываемых элементов, т.к. проницаемость вдоль и поперек волокон древесины различается на два порядка [2].

Проникновение полимера-модификатора на разную глубину с торцовых частей рудничной стойки (в верхнем торце - на 5-10 см, в нижнем - до 30-40 см) оправдано с точки зрения технологии применения модифицированной крепи, которую приходится подгонять по длине непосредственно на месте установки. При этом укорачивается сторона, пропитанная на большую глубину. Таким образом получается, что установленная в крепи рудничная стойка защищена со всех сторон: с поверхности на глубину около 1-2 мм и с торцов на глубину около 10 см. Дополнительное упрочнение модифицированием торцовых частей позволяет исключить в процессе эксплуатации деревянной крепи временных выработок «размочаливание» концов рудничной стойки, на которые передается давление горных пород при одновременном увлажнении грунтовыми водами [2, 4].

Тепловая обработка пропитанной стойки для отверждения модификатора в капиллярах древесины может производиться по ускоренному режиму при быстром (в течение нескольких часов) подъеме температуры до 100-120⁰С [2]. Возможность применения ускоренного режима, в отличие от традиционных «мягких» режимов сушки пропитанной древесины, в данной технологии связана с минимальным поглощением модификатора и малой вероятностью опасных уровней внутренних напряжений при высушивании (для отверждения модификатора) поверхностных и торцовых частей элементов крепи. Длина пропитываемой рудничной стойки составляет от 2,5 до 3,5 м, средний диаметр - около 20 см. Перед модифицированием заготовки рекомендуется предварительно очищать от коры.

Таким образом, значительно повысить стойкость и долговечность шахтной крепи из модифицированной древесины можно при использовании поверхностной пропитки крепи в вертикальных пропиточных цилиндрах. Ожидается, что срок службы такой крепи в шахтах по добыче полезных ископаемых увеличится в 2,5-3 раза. При этом может использоваться традиционная хвойная древесина, пропитанная фенолоформальдегидными полимерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Покровская Е.Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений. - М: АСВ. 2009. - 136с.
2. Машкин Н.А. Эксплуатационная стойкость модифицированной древесины в строительных изделиях. Новосибирск: НГАСУ, 2001. - 260 с.
3. Машкин Н.А. Разработка и исследование структурных моделей модифицированной древесины / Н.А. Машкин, Б.В. Крутасов // Строительные материалы (приложение № 7 – Наука) – 2006. - № 3. – С.35-36.
4. Машкин Н.А. Защитная обработка строительных материалов кремнийорганическими гидрофобизаторами. Монография. / Н.А. Машкин, С.Г. Ершова, Б.В. Крутасов, А.Г. Маньшин // НГАСУ (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ. 2013. – 204 с.

К ВОПРОСУ О ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕМБРАННЫХ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СИБИРСКОГО КЛИМАТА

А.Г.Мишин, В.Ф.Хританков, А.П.Пичугин

Новосибирск, Россия

Аннотация. Описан опыт устройства мембранной кровли в условиях Сибири. Приведены качественные показатели мембранной кровли и принципы их устройства. Показано, что данные кровли технологичны и позволяют в построечных условиях получать качественные почти бесшовные покрытия. Эти покрытия имеют высокие прочностные характеристики, хорошо сцепляются с основанием (цементной стяжкой, бетоном), обладают повышенной трещиностойкостью, высокой атмосферной и химической стойкостью.

Ключевые слова: мембрана, кровля, крыша, покрытие, теплоизоляция, сварка стыков и швов

ON THE QUESTION OF THE DURABILITY OF MEMBRANE ROOFING MATERIALS IN THE CONDITIONS OF THE SIBERIAN CLIMATE

A. G. Mishin, V. F. Khritankov, A. P. Pichugin

Novosibirsk, Russia

Annotation

The article describes the experience of constructing a membrane roof in Siberia. The qualitative indicators of the membrane roof and the principles of their arrangement are given. It is shown that these roofs are technologically advanced and allow to obtain high-quality almost seamless coatings in the construction conditions. These coatings have high strength characteristics, adhere well to the base (cement screed, concrete), have increased crack resistance, high atmospheric and chemical resistance.

Keywords: membrane, roof, roof, coating, thermal insulation, welding of joints and seams

Мембранные кровельные материалы нашли широкое распространение по ряду положительных эффектов, в том числе из-за высокого качества этих покрытий в гражданском и промышленном строительстве. Фирмы, изготавливающие такие кровельные материалы, гарантируют безремонтный срок их службы свыше 30-50 лет. Использование полимерных материалов для устройства долговечной и эффективной кровли позволяет существенно сократить трудозатраты и снизить стоимость работ при создании возможности производства в любое время года. Это достаточно широко апробировано в мире, о чем свидетельствует зарубежный опыт. Отечественный опыт устройства мембранной кровли имеет достаточно короткий срок эксплуатации в европейской части России преимущественно в южных районах. Данные кровли технологичны и позволяют в построечных условиях получать качественные почти бесшовные покрытия. Эти покрытия имеют высокие прочностные характеристики, хорошо сцепляются с основанием (цементной стяжкой, бетоном), обладают повышенной трещиностойкостью, высокой атмосферной и химической стойкостью.

В настоящее время разработаны и освоены технология получения мембранных кровельных материалов не уступающих по основным свойствам зарубежным аналогам российским производителями.

Новые кровельные материалы имеют следующие показатели:

Сопротивление разрыву.....50 – 150 кг/см²

Относительное удлинение.....200 – 600 %

Остаточное деформации.....20 – 0 %

Адгезия к бетону на отрыв.....3 – 5 кг/см²

Адгезия к металлу при использовании грунта.....15 – 20 кг/см²

Водопоглощение через 3 суток нахождения пленок в воде. 0,8 %
 Сопротивление паропроницаемости при толщине
 покрытия 0,5 мм.....80 м²·рт. ст · ч/град
 Морозостойкость.....свыше 150 циклов
 Температурная область работоспособности.....от – 45 до + 100°С
 Трещиностойкость при - 40°С (по методу А.М. Сафонова)..свыше 2 мм
 Сопротивление на истирании при скольжении.....200 – 600 см²/кват
 Щелочепоглощение после нахождения покрытых раствором
 ХСПЭ бетонных образцов в 20%-ном растворе
 NaOH в течение 5 месяцев.....0,8%

Технология производства работ по устройству кровли из полимерных мембран принципиально отличается от технологии использования традиционных кровельных материалов.

При устройстве рулонного кровельного покрытия на основе полимерных мембран по цементной выравнивающей стяжке в построечных условиях следует соблюдать следующие требования:

- стяжку армируют и изготовляют из раствора марки не ниже 50;
- поверхность стяжки должна удовлетворять требованиям простой штукатурки под окраску;
- перед нанесением покрытия основание очищают от грязи и пыли при помощи сжатого воздуха;
- все примыкания выполняют тщательно с плавными скруглениями радиусом не менее 100 мм;
- металлические части очищают от ржавчины, грязи, старой краски.

Поверхность стяжки грунтуют раствором разжиженным самовулканизирующим клеем 10%-ной концентрации слоем не более 0,5 мм, после высыхания грунтовки до отлипа наносят основные слои, причем каждый последующий после стабилизации предыдущего. Чем выше температура основания, тем быстрее стабилизируется пленка. Исходя из эксплуатационных свойств кровельного покрытия, оптимальная толщина его должна быть 1 – 1,5 мм, что достигается покрытием за 4 – 6 раз. Чем тоньше, слой, наносимый за 1 раз, тем качественнее покрытие.

Отдельные полотнища мембранной пленки сваривают специальным агрегатом при помощи горячего воздуха. Преимуществом мембранного кровельного покрытия является легкость его ремонта. На поврежденное место наносят вулканизированный клей с требуемой заплаткой и после высыхания покрытие принимает прежний вид.

При устройстве покрытий в отапливаемых зданиях обязательно используются теплоизоляционные материалы в виде плит. Широкое распространение получили теплоизоляционные профильные плиты фирмы «ТЕХНОНИКОЛЬ», которые выпускаются сразу же с уклоном и из которых можно сформировать на плоской крыше кровлю с заданным уклоном. Такая продукция крайне востребована и способствует повышению производительности труда при производстве кровельных работ. Разновидностью этих плит являются материалы с различными специальными покрытиями, обеспечивающими те или иные качества теплоизоляции: низкое водопоглощение, свето- и теплоотражение. Кроме теплоизоляционных плит XPS, данной фирмой освоен целый ряд различных дополнительных изделий и материалов, направленных на повышение качества мембранных кровель. К ним относятся подкровельные пленки (мембранные, пароизоляционные, гидро-ветрозащитные), PIR-плиты, обмазочная и рулонная гидроизоляция; аксессуары для разделки воздухопроводов, вентиляционных и дымовых труб и пр.

Отработана технология производства кровельных работ в зимнее время при температуре не ниже -25 °С. Опыт эксплуатации таких кровель в Сибири показал их высокую эффективность и способность сопротивляться климатическим воздействиям в самом широком диапазоне температур. Так, в летнее время на кровле температура мембраны

доходила до +55-62 °С, а зимой опускалась до -49 °С. Проведенные обследования с отбором проб не показали каких-либо изменений качественных показателей, что свидетельствует о соответствии заявленных производителями характеристик фактическим эксплуатационным. В качестве эксперимента на мембранной кровле были устроены газоны, которые также выдержали все испытательные нагрузки и воздействия и находятся в хорошем состоянии в условиях сурового климата Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишин А.Г., Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Кудряшов А.Ю. Особенности устройства и технической эксплуатации мембранных кровель в Сибири// Строительные материалы №10. 2018г. С.53-58.
2. Пичугин А.П., Пименов Е.Г., Пичугин М.А., Мишин А.Г., Хританков В.Ф. Примеры эффективного применения новых материалов при ремонте и реконструкции// Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов. Сборник научных трудов по материалам национальной научно-технической конференции с международным участием. - Новосибирск, 2019. С.230-238.

УДК 666.973

О ЗАВИСИМОСТИ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ОТ РАСХОДА ПАВ

Л.В.Моргун, В.Н.Моргун, А.Ю.Богатина
г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Научно обоснована необходимость повышения структурной устойчивости пенобетонных смесей для получения газонаполненных материалов с высокими показателями назначения. Рассмотрены особенности формирования макроструктуры пеносмесей в период между укладкой их в формы и завершением схватывания цемента. Показано, что на меру дефектности структуры влияет наличие фибры и расход пенообразователя. Установлено, что только те смеси, которые обладают максимальной пластической прочностью, способны обрести такую устойчивость, которая способна обеспечить получение прочного пенобетона.

Ключевые слова: пенобетон, фибропенобетон, пенообразователь, структурная прочность

Пенобетоны относятся к энергосберегающим материалам и применяются в практике строительства уже второе столетие [1]. Эти материалы нуждаются в достоверных практических методах расчета рецептуры, обеспечивающих возможность получения качественных (структурно устойчивых) смесей. Указанное требование является важнейшим потому, что именно в период преобладания между компонентами сырья вязких связей неустойчивые смеси формируют и накапливают дефекты, ухудшающие эксплуатационные свойства пенобетонов [2]. Поэтому важно рассмотреть причины перечисленных проблем, возникающие при изготовлении пенобетонных смесей и развивающихся в период их раннего структурообразования [3].

Рассмотрение структуры смесей сразу после их укладки в формы, показывает, что:

- газовые включения, управляющие плотностью бетона, упакованы в пленки ПАВ, физически связывающие часть воды затворения [2,4];
- в жидкой фазе, расположенной между пленками ПАВ, содержатся обводненные дисперсные частицы твердой фазы и отдельные ионы ПАВ. В этом объеме межпорового

пространства в течение первого часа после контакта цемента с водой активно протекают процессы адсорбционной и химической диспергации цементного вяжущего [2]. В результате развития которых часть свободной воды переходит в физически или химически связанное состояние;

- параллельно химической и адсорбционной диспергации вяжущего развивается процесс адсорбции между ним и заполнителем.

Скорость и качество формирования вязких и упругих связей между сырьевыми компонентами пенобетонной смеси регулируются балансом капиллярно-пленочных взаимодействий [2,5-7], возникающих в межпоровом пространстве после укладки пенобетонных смесей в формы. Кроме капиллярно-пленочных взаимодействий на перемещения всех компонентов внутри смесей действует сила земного тяготения. Поэтому, когда расстояния между частицами твердой фазы достаточны для проявления сил сцепления, то возникают энергетические условия для формирования кластеров [7]. А если эти расстояния велики, то гравитационные силы могут стать преобладающими и тогда неизбежно возникнет расслоение, обусловленное различием величин плотности компонентов.

Следовательно, для создания структурно устойчивых пеносмесей и получения на их основе высокопрочных пенобетонов необходимо так проектировать состав сырья, чтобы в период преобладания вязких связей между его компонентами силы сцепления между ними превышали гравитационные.

Фибропенобетонные смеси насыщали дисперсной арматурой в количестве 0,8% от объема цементного камня. Количество пенообразователя указано в таблице в % от расхода воды затворения. Соотношение между вяжущим и молотым песком составляло Ц:П = 1:1. В ходе экспериментальных исследований контролировали среднюю плотность смесей и затвердевших бетонов в сухом состоянии, осадку смеси, величину расслаиваемости, прочность бетона на сжатие. Величину сил сцепления между дисперсными частицами в пенобетонных смесях устанавливали через показатели их пластической прочности.

Нами зафиксирована корреляционная связь между водосодержанием пенобетонных смесей и количеством ПАВ, способных при перемешивании вовлекать дисперсную газовую фазу и переходить на границу раздела фаз «газ-жидкость». Учитывая структуру и свойства молекул осуществляющих вовлечение газовой фазы в состав бетонных смесей, полагаем, что когда соотношение между ПАВ и водой затворения не оптимально для обретения бетоном заданной средней плотности, то получаемые смеси должны характеризоваться:

- пониженной начальной пластической прочностью;
- малой скоростью перехода из вязкого состояния в упругое, что предопределяет появление осадки и расслаиваемость.

Экспериментальная оценка изложенных выше теоретических рассуждений осуществлялась в ходе изготовления пено- и фибропенобетонных смесей, изготавливаемых по одностадийной технологии с содержанием пенообразователя «Макспен» в диапазоне от 0,5% до 2,5%. Оценку величины пластической прочности осуществляли по методике [8] через 1 час укладки смесей в формы.

Структурообразование пенобетонных смесей после укладки их в формы характеризуется ростом пластической прочности за счет агрегации твердых дисперсных частиц в кластеры и гидратации цемента. В результате химического взаимодействия между водой и клинкерными минералами вязкие связи между компонентами твердой фазы последовательно заменяются упругими. Из данных таблицы следует, что фибропенобетонные смеси обладают более высокой скоростью формирования кластеров по сравнению с пенобетонными. Разница скорости формирования структуры в ходе данного эксперимента зависела от концентрации пенообразователя:

- при его недостатке она составила всего 16,6%;
- при избытке достигала 178%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что погрешности при дозировании пенообразователя негативно сказываются на скорости формирования структуры межпоровых перегородок в пено- и фибропенобетонных смесях. Причем, избыток пенообразователя гораздо опаснее для накопления дефектов в структуре затвердевшего пенобетона по сравнению с его недостатком. Если считать фибропенобетон разновидностью пенобетонов, то важно отметить следующие их различия.

Таблица 1.

Влияние расхода пенообразователя «Макспен» на физико-механические свойства пено- и фибропенобетонов

Расход (%)	ПО и вид бетона	Пласти- ческая проч- ность, Па	Средняя плотность, кг/м ³		Осадка смеси, %	Рассла- ивае- мость, %	Проч- ность при сжатии МПа	ККК
			смеси	бетона				
	0,5 – ПБ	192	989	840	3,68	3,7	3,92	5,56
	1,0 – ПБ	248	805	644	нет	нет	2,66	6,41
	1,5 – ПБ	186	866	674	2,11	3,09	2,38	5,24
	2,0 – ПБ	112	890	757	3,45	4,18	2,59	4,52
	2,5 – ПБ	118	925	801	7,12	10,92	2,44	3,80
	0,5 – ФПБ	224	945	803	0,9	0	3,65	5,66
	1,0 – ФПБ	347	745	567	нет	0	2,67	8,31
	1,5 – ФПБ	347	705	514	нет	0	2,89	10,94
	2,0 – ФПБ	312	722	550	нет	0	3,01	9,95
	2,5 – ФПБ	286	786	649	0,9	0	2,95	7,00

Примечания: пластическую прочность контролировали через час после укладки смесей в формы; ПБ – пенобетон; ФПБ – фибропенобетон; ККК – коэффициент конструктивного качества, определяемый отношением прочности при сжатии к квадрату плотности сухого бетона

Из данных таблицы следует, что пенобетонные смеси оказались структурно устойчивыми только при одном фиксированном расходе пенообразователя, а фибропенобетонные смогли противостоять негативному влиянию массообменных процессов и гравитационных воздействий в гораздо более широком его диапазоне. Абсолютные значения структурной прочности фибропенобетонов во всем диапазоне исследованных расходов пенообразователя превышали структурную прочность пенобетонов без фибры.

Если анализировать влияние расхода пенообразователя на плотность получаемых смесей, то можно заметить, что минимальной плотности они достигали максимальных (или близких к ним) показателей пластической прочности независимо от наличия или отсутствия фибры. Полагаем, что эти факты свидетельствуют о предельно возможном связывании ПАВ в пенных пленках.

Известно, что в процессе отвердевания поверхность изделий из пенобетона практически всегда обретает линзообразную форму. Для защиты от указанного явления, обусловленного высыханием поверхностных слоев влаги ранее момента схватывания цемента в бетоне, отформованные образцы укрывали полиэтиленовой пленкой. Тем не менее, не все образцы в результате отвердевания смогли сохранить форму правильного куба (табл.). Образцы из пенобетона продемонстрировали осадку смеси и расслоение во всех случаях за исключением состава, содержащего оптимальное количество пенообразователя. Образцы из фибропенобетона расслоения по высоте не получили. И только при существенном недостатке и избытке пенообразователя имели незначительную осадку.

Абсолютные значения показателей прочности на сжатие отражают их четкую зависимость от количества дефектов, получаемых исследуемыми материалами на этапе фазового перехода «из вязкого в твердое». При этом, разброс абсолютных значений прочности на сжатие почти во всем диапазоне исследований находится в диапазоне допустимых отклонений от средней величины. Визуально прочности пено- и фибропенобетона практически одинаковы. В то же время коэффициент конструктивного качества отражает их важное различие, возникающее в результате дисперсного армирования синтетическими волокнами, наличие которых обеспечивает смесям ускоренный рост пластической прочности и, как следствие, защиту от расслоения и снижение средней плотности затвердевшего бетона.

В работе дано научное обоснование и получено экспериментальное подтверждение корреляционной связи между расходом пенообразователя и структурной устойчивостью пенобетонных смесей. Показано положительное влияние дисперсного армирования волокнами на диапазон устойчивости и газодерживающие свойства пеносмесей. Установлено, что только те из них, которые характеризуются максимальной пластической прочностью при прочих равных условиях, способны обретать структурную устойчивость, обеспечивающую возможность получения прочных пенобетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моргун Л.В., Богатина А.Ю. Энергосберегающая технология строительства из пенобетона//Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2 – С. 86-88.
2. Костыленко К.И. Закономерности обеспечения структурной устойчивости пенобетонных смесей. Дисс. на соиск.уч. ст. канд. техн. наук по спец.05.23.05. Рост. госуд. строит. ун-т, Ростов-на-Дону, 2014. – 145 с.
3. Домнина К.Л. Анализ и оптимизация процессов получения теплоизоляционно-конструкционных материалов неавтоклавного твердения. Дисс. на соиск.уч. ст. канд. техн. наук по спец.05.13.01. Ижевский госуд. техн. ун-т им. М.Т. Калашникова, 2020. – 145 с.
4. Хитров А.В., Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Чернаков В.А., Овчинникова В.П., Гельман В.А. Современные строительные пены // Сб. тр. Инженерно-химические проблемы пеноматериалов третьего тысячелетия, СПбГУПС, 1999. – С.62 - 71.
5. Русанов А.И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ.- СПб: химия, 1992.- 280 с.
6. Шибаев В.П. Необычные кристаллы или загадочные жидкости//Соросовский журнал №11, 1996. – С. 37-46.
7. Смирнов Б.М. Фрактальные кластеры// Успехи физических наук. Том 149, вып. 2, 1986. – С.54-138.
8. Моргун В.Н. Патент на изобретение № 2316750 «Способ определения пластической прочности пенобетонной смеси». Зарегистрирован в государственном реестре изобретений РФ 10.02.2008. – 9 с.

ОБЗОР РЫНКА СТРОИТЕЛЬНОЙ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО САЙДИНГА В РОССИИ

А.С.Охотная, К.А.Лапунова

*Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. В данной статье описывается новейшая современная разработка для облицовки фасадов - керамический сайдинг. Раскрываются его основные свойства и технические характеристики, а также преимущества перед иными облицовочными материалами. Производство керамического сайдинга является актуальным в настоящее время, когда экологичность и безопасность сырья и материалов являются важнейшими акцентами, а рынок облицовочных материалов в России может эффективно расширить ассортимент выпускаемой продукции.

Ключевые слова: Керамический сайдинг, обжиг, прессовка, навесной фасад, водонепроницаемость, экологичность.

Abstract: This article describes the latest modern development for facade cladding - ceramic siding. Its main properties and technical characteristics, as well as advantages over other facing materials, are revealed. The production of ceramic siding is relevant at the present time, when the environmental friendliness and safety of raw materials and materials are the most important accents, and the market of facing materials in Russia can effectively expand the range of products.

Key words: Ceramic siding, roasting, crimping, curtain facade, water resistance, environmental friendliness.

Сегодня промышленные предприятия выпускают большое количество разнообразных глиняных штучных изделий для строительства и облицовки зданий и сооружений, которые по своей общей характеристике являются подобиями старого доброго кирпича (рис. 1).

Востребованный и популярный вариант внешней облицовки фасада здания – сайдинг. Это самый распространенный метод внешнего облагораживания здания [1,2]. Сайдинг представляет собой панели, которые закрепляются на заранее установленную обрешетку или каркас. Керамический сайдинг является одним из новейших современных разработок производителей облицовочного материала. Основой данного вида сайдинга является глина с включением других компонентов природного происхождения. Все составляющие компоненты подвергаются неоднократному прессованию в условиях очень высокой температуры. Обжиг и прессовка производится в несколько этапов, чем достигается максимальная прочность плит.

Главным производителем панелей керамического сайдинга является Япония. Однако для производства керамического сайдинга в России существуют все условия: сырьевая база, научно-исследовательские лаборатории, производство.

Стоимость таких панелей довольно высока, но при этом визуальный эффект эстетически привлекательных стен и их технические характеристики того стоят. Многообразие текстур и различные варианты решений позволяют выбрать вариант керамических панелей исходя из декоративной концепции здания. Положительными свойствами материала являются характеристики, благодаря которым керамический сайдинг является популярным и своего рода уникальным на рынке облицовочных фасадных материалов (рис. 2) [3-6]. Кроме того, керамические сайдинговые панели имеют защитное покрытие, оно является так называемой амортизацией, которая уменьшает внутреннее давление в структуре материала.



Рисунок 1- Распространенные виды глиняных изделий.

Также, данная разработка обеспечивает усиление влагостойкости материала. Покрытие способствует сохранению свойств сайдинга при больших перепадах температур. Однако существует и ряд недостатков (рис. 3).



Рисунок 2 - Достоинства керамического сайдинга.

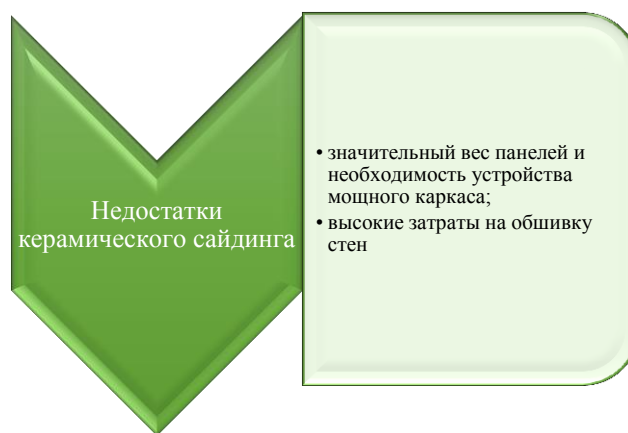


Рисунок 3 - Недостатки керамического сайдинга.

Экологичность материала заключается в используемом сырье – в составе структуры керамического сайдинга отсутствует асбест, поэтому фасадные панели являются экологически чистым материалом.

- панели имеют размерный ряд: длина — от 3600 мм, ширина — 190 мм, толщина — до 10 мм;
- вес одной фасадной панели составляет: от 19 до 25 кг на м²;
- подавление шума: 500 Гц на 31 Дцб;
- долговечность: до 50 лет;
- сохранение цвета: весь период эксплуатации.

Керамические сайдинговые панели могут отличаться по цвету (разнообразие цветовой палитры и оттенков), по фактуре (имитация кирпича, природного камня древесины), по толщине (140-190 мм).

Устройство навесного фасада из керамического сайдинга, как и любого другого, выполняется по ранее подготовленному каркасу из металлопрофиля, либо из древесных досок.

Однако существуют некоторые нюансы, и их необходимо учесть при облицовке фасада панелями из керамосайдинга:

- крепление панелей производится на кляммеры, благодаря которым исключается необходимость сверлить отверстия в плитах);
- из-за большого веса панелей, их монтаж целесообразно производить на каркас из металлопрофиля: он имеет большую способность выдерживать значительные нагрузки;
- если обрешетка предусмотрена из древесных досок, то их минимальное сечение должно быть 15 см;
- крепление панелей производится достаточно герметично – плотно встык, что обеспечивает отсутствие дополнительной обработки швов конструкции.

Однако, во время монтажа керамического сайдинга, при необходимости распиливать панели, следует использовать защитную маску, несмотря на экологичность самого материала, пыль при резке может содержать кремнезем, который оказывает негативное влияние на легкие.

Керамические сайдинг достаточно прочный, как и керамическая плитка поэтому, несмотря на высокую стоимость, по техническим характеристикам они имеют преимущество над ПВХ панелями или панелями из металла.

Таким образом, при всем разнообразии сайдинговых облицовочных панелей, керамический сайдинг можно отнести к варианту элитной облицовки, так как плиты такого рода отличаются своей дороговизной.

Эстетический внешний вид здания, несомненно, достигается при облицовке фасада керамосайдингом, при этом увеличивается прочность, звукоизоляция и теплопроводность стен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охотная А.С., Кузнецов С.С., Котляр В.Д. Актуальность применения керамических навесных фасадов в современном строительстве // *Актуальные проблемы науки и техники. Материалы национальной научно-практической конференции*. 2019. С. 757-760.
2. Лапунова К.А., Лазарева Я.В., Некрасова М.Е., Котляр В.Д. Дизайн и применение в архитектуре фасадных керамических плит на основе аргиллитоподобных глин // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2017. № 3 (47). С. 10-15.
3. Котляр В.Д., Божко Ю.А. Технология получения и роль фигурного кирпича мягкой формовки в современном дизайне // *Труды Академии технической эстетики и дизайна*. 2018. № 2. С. 10-13.
4. Месхи Б.Ч., Божко Ю.А., Терёхина Ю.В., Лапунова К.А. Brick-дизайн и его основные элементы // *Строительные материалы*. 2020. № 8. С. 47-51.
5. Котляр В.Д., Орлова М.Е., Лапунова К.А. Технология и руф-дизайн керамической черепицы на основе аргиллитоподобной глины // *Технология художественной обработки материалов. Сборник материалов XXI Всероссийской научно-практической конференции*. 2018. С. 311-314.
6. Котляр В.Д., Божко Ю.А. Технология получения и роль фигурного кирпича мягкой формовки в современном дизайне // *Труды Академии технической эстетики и дизайна*. 2018. № 2. С. 10-13.
7. Бондаренко А.С., Шпирко Т.С., Котляр В.Д. Эффективность применения керамогранитных плит в современном строительстве // *Наука молодых - будущее России. сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 6 томах*. 2018. С. 62-65.
8. Божко Ю.А., Лапунова К.А. О развитии brick-дизайна в России // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С.21-24.

ГРУНТОБЕТОН С ДОБАВКАМИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕЛЬСКИХ ДОРОГ И СООРУЖЕНИЙ

А.П. Пичугин, В.А. Бобыльская, С.И. Лещенко, А.В. Мазгалева

Новосибирск, Россия

Потребность в изыскании экономичных и рациональных приемов использования грунта для возведения данных объектов вызвана повышением цен на песок, щебень и другие инертные материалы для дорожного строительства и возведения различных сооружений в сельскохозяйственном производстве возникла. Дополнительным усугубляющим фактором являются постоянно растущие цены на энергоносители и, как следствие, увеличивающиеся затраты на транспортирование материалов и сырья к месту строительства. Мировой и отечественный опыт позволяет предположить, что оптимальным выходом из создавшегося положения может стать применение грунтобетонов с минеральными и органическими добавками, обеспечивающими получение надежных конструкций оснований дорог и сооружений.

В то же время имеется большое количество отходов самого различного состава, засоряющего не только землю, но и воздушные и водные бассейны, что отрицательно сказывается на экологии территорий.

Для повышения долговечности и эффективности работы строительных конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений авторами изучены свойства грунтов, наиболее широко распространенных в Сибирском регионе, и определены рациональные методы их укрепления.

На основе анализа качественного состава существующих отходов производства для рационального использования при введении в грунты разработаны оптимальные составы, режимы и технология введения добавок, обеспечивающих гарантированные показатели прочности и долговечности оснований дорог и сооружений сельскохозяйственных объектов с учетом эксплуатационных воздействий

Наиболее эффективным является метод укрепления различных грунтов портландцементом. Получаемый при этом слой цементогрунта в процессе длительного твердения во влажных условиях превращается в прочную монолитную массу, способную воспринимать значительные нагрузки.

Анализ теоретических и экспериментальных данных показывает, что укрепление грунтов только с помощью цемента не всегда эффективно. Укрепленные только цементом грунты характеризуются относительно большой влагоемкостью и остаточной пористостью, недостаточной морозостойкостью и низкой прочностью на изгиб.

Эффективным направлением в дорожном строительстве является использование золошлаковых смесей (ЗШС) в сочетании с цементом. Их высокая дисперсность позволяет структурировать укрепляемые грунты и существенно повысить их прочность. Но при этом остается низкой прочность укрепленных грунтов на изгиб, поэтому целесообразно введение добавок, которые будут выполнять объемное армирование смеси и повысят ее прочность на изгиб.

Поскольку морозостойкость укрепленного грунта определяется его высокой остаточной влагоемкостью, то введение гидрофобизатора позволит ее снизить и тем самым повысить морозостойкость укрепленного грунта.

Предлагаемая комплексная система укрепления цементогрунта включает следующее:

- введение золошлаковой смеси для улучшения структуры материала и снижения его деформативности;
- смешивание с отходами асбестоцементного производства для микроармирования, что будет способствовать увеличению прочности на растяжение при изгибе;

– введение в смесь таллового пека для придания гидрофобности укрепляемому грунту и приведет к повышению водо- и морозостойкости грунтобетона.

Для укрепления были рассмотрены глинистые грунты, достаточно распространенные в Западной Сибири, представленные суглинками (тяжелыми, пылеватыми, твердыми, слабопучинистыми), а в качестве добавок использованы золы Назаровского и Березовского месторождений бурых углей, золошлаковые смеси и шлак, образуемые при сжигании бурых углей Назаровского и Березовского месторождений, золошлаковые смеси и шлаки от сжигания углей Томь-Усинских угольных бассейнов на ТЭЦ и в котельных г. Новосибирска и Новосибирской области.

В качестве традиционного минерального вяжущего в работе использован портландцемент АО "Искитимцемент", альтернативное минеральное вяжущее представлено кальциевой известью, негашеной, комовой, третьего сорта, медленногасящейся производства АО "Искитимцемент" без добавок с насыпной плотностью 930 кг/м^3 и удельной поверхностью $3553 \text{ см}^2/\text{г}$.

Для дисперсного армирования грунтобетона использовались отходы асбестоцементного производства ООО "Искитимский шифер" (отходы АЦП), представляющие собой крупнотоннажный шлам (отход) из гидратированного цемента на волокнах асбеста диаметром 0,02-0,08 мм и длиной 2-6 мм. В качестве гидрофобизатора и модификатора цементогрунтовых смесей использовался талловый пек, являющийся нелетучей частью таллового масла. Он представляет собой хорошо растворимую в воде твердую массу коричневого или темно-коричневого цвета с температурой размягчения $70...85^\circ\text{C}$.

При выборе состава укрепляющей грунт смеси определялась дозировка основного вяжущего (цемента), минеральной структурообразующей добавки (золошлаковой смеси), микроармирующей добавки (отходов асбестоцементного производства) и устанавливалась необходимость введения активной гидрофобизирующей добавки для обеспечения водо- и морозостойкости укрепляемого грунта. Фактический расход воды для каждого состава назначался экспериментально.

Из полученных результатов следует, что рациональным расходом золошлаковой смеси (ЗШС) следует считать 18-22 %, что обеспечивает существенное увеличение прочности укрепляемого грунта при сжатии до 3,0-3,5 МПа. При этом следует отметить низкие значения прочности укрепляемого материала при изгибе, что не в полной мере отвечает поставленной задаче по получению высокопрочного материала на основе грунта.

Максимум прочностных показателей отмечен при расходе отходов АЦП в интервале от 8 до 12 %.

Дальнейшее увеличение содержания отходов АЦП (более 12 %) не приводит к увеличению прочности при изгибе. Таким образом, рациональным расходом отходов АЦП можно считать 10 ± 1 %, что позволяет получить грунтобетон с пределом прочности на растяжение при изгибе не менее 0,6 МПа, т.е. отвечающего требованиям для II класса дорог.

С целью получения грунтобетона с заданными свойствами, отвечающими предъявляемым требованиям, расход портландцемента в смесях варьировался от 2 до 12 % массовых частей.

В качестве оптимума количество цемента может составить 4-8% мас. Еще большее усиливающее воздействие цемента на укрепляемую грунтобетонную смесь проявляется при введении отходов АЦП, которые в данном случае являются микроармирующим дисперсным компонентом.

Важной составляющей грунтобетонных смесей являются пластифицирующий и гидрофобизирующий компоненты. По совокупности результатов лабораторных исследований в качестве гидрофобизирующей добавки комплексного назначения был принят талловый пек (таблица 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов, укрепленных цементом и комплексными добавками

Составы цементогрунто в	Содержание добавок, %				Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Влажность при испытании, %
	ЗШС	Отходы АЦП	Талловый пек	ГКЖ- 10			
Пылеватый суглинок + 6% цемента	–	–	–	–	1,71	0,42	15,1
	20	–	–	–	2,82	0,48	19,8
	20	–	0,25	–	3,47	0,53	18,0
	20	–	–	0,25	3,59	0,47	18,0
	–	10	–	–	4,16	0,72	17,4
	20	10	–	–	5,28	1,24	21,8
	20	10	0,25	–	6,15	1,63	20,6
	20	10	–	0,25	5,47	1,70	18,9
Пылеватый суглинок + 4% цемента	–	–	–	–	0,51	0,21	17,1
	20	10	–	–	1,33	0,28	24,1
	20	10	0,25	–	1,80	0,34	22,5
	20	10	–	0,25	2,17	0,37	22,2

Таким образом, проведенные исследования и полученные результаты позволяют сделать рецептурные рекомендации по получению грунтобетона из следующих компонентов (мас.%): суглинистый грунт – 100; портландцемент – 5...7; золошлаковая смесь – 18...22; отходы АЦП – 8...12; талловый пек (от массы цемента) – 2,5...3,5.

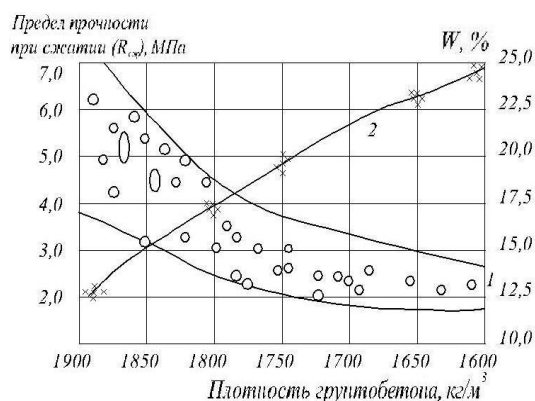


Рисунок 1 - Зависимость прочности (1) и водопоглощения (2) от степени уплотнения грунтобетонного материала

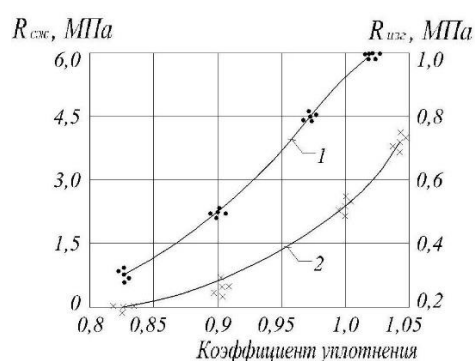


Рисунок 2 – Зависимость прочностных свойств грунтобетона от степени его уплотнения: 1 – $R_{сж}$; 2 – $R_{изг}$

Введение таллового пек значительно снижает водопотребность грунтобетонной смеси. На рисунках 1, 2 и 3 приведены зависимости прочности грунтобетона и его

водопоглощения от степени уплотнения. Анализ кривых показывает, что рациональными значениями плотности уплотненной грунтобетонной смеси являются значения не ниже 1800 кг/м^3 , в этом случае даже при минимальном расходе цемента обеспечиваются заданные параметры прочности дорожного основания.

Не менее важным технологическим воздействием на грунтобетонную смесь является процесс уплотнения, от которого зависит как плотность и прочность грунтобетона, так и водостойкость и морозостойчивость в дорожном основании (рисунок 4). Как следует из графика, в качестве рекомендации для уплотнения может быть предложен ударный способ или виброуплотнение.

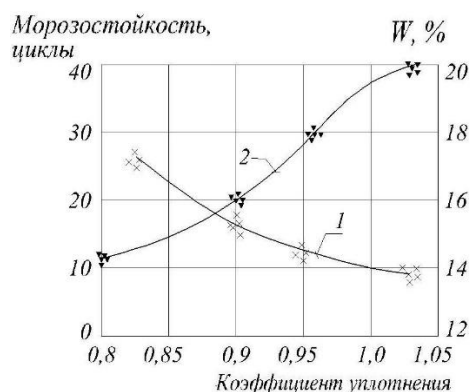


Рисунок 3 — Зависимость степени водонасыщения (1) и морозостойкости (2) грунтобетона от степени его уплотнения

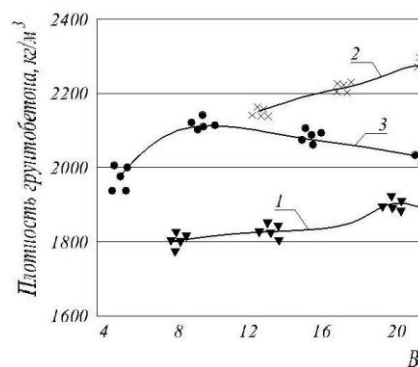


Рисунок 4 — Зависимость плотности грунтобетона от влажности и способа уплотнения: 1 - уплотнение катками на полигоне; 2 - ударный способ уплотнения; 3 - виброуплотнение в формах

Изучение микроструктуры и свойств цементогрунта в контактной зоне с частицами ЗШС и отходами АЦП показало, что выявленный эффект взаимодействия между отдельными компонентами добавок и грунта позволяет сформировать более упорядоченную микроструктуру с минимальной пористостью и максимальной прочностью.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При укреплении грунтобетонов из суглинистых грунтов при минимальном расходе цемента (5-7 % мас.) целесообразно в их состав вводить 18-22% мас. золошлаковой смеси (ЗШС), что обеспечивает создание прочной структуры с минимальной усадкой после твердения (0,8-1,7)·10-3, что в 2-3 раза меньше, чем у цементогрунта без добавки.

2. Для получения грунтобетона с прочностью на растяжение при изгибе более 1,5-2 МПа необходимо вводить в его состав 8-12 % мас. отходов асбестоцементного производства (АЦП), обеспечивающих дисперсное армирование и формирование равнопрочной структуры всего массива грунтового основания.

3. Для предотвращения отрицательного действия воды и отрицательных температур на свойства грунтобетона целесообразно вводить в состав смеси 2,5-3,5 % таллового пека от массы цемента, при этом снижается водоцементное отношение грунтобетонной смеси, обеспечиваются ее требуемые реологические характеристики, повышается в 1,5-2 раза водостойкость и в 2-3 раза морозостойкость грунтобетона;

4. Для обеспечения требуемых свойств грунтобетонов с использованием предлагаемых добавок рациональное значение плотности грунтобетонной смеси должно быть не менее 1800 кг/м^3 , что может быть обеспечено применением ударного способа уплотнения или виброуплотнением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пичугин А.П. Использование комплексных добавок для укрепления грунтов в сельском дорожном строительстве /А.П. Пичугин, В.А. Гришина, В.Ф. Хританков. // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 36-38.
2. Пичугин А.П. Физико-химические процессы в укрепленных грунтах / А.П. Пичугин, В.А. Гришина, И.К. Язиков // Строительные материалы. – 2009. - № 12. – С. 41-43.
3. Грунтобетон с добавками для строительства сельских дорог и сооружений сельскохозяйственных объектов / А.П. Пичугин, В.А. Бобыльская, С.И. Лещенко, А.В. Мазгалева // Теория и практика современной аграрной науки Сб. III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – С. 703-707.

УДК 691/327/666/973

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРУПНОПОРИСТОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА С ИНТЕГРАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

А.П.Пичугин, А.С.Денисов, В.Ф.Хританков, *Е.Г.Пименов, О.Е.Смирнова
Новосибирск, *Казань, Россия

Аннотация. Изучены теплотехнические свойства легкого крупнопористого бетона с интегральным расположением пористой структуры за счет использования минерального или органического крупного заполнителя, предварительно обработанного полимерсиликатной композицией и отходами хризотилцемента. Полученные в ходе испытаний результаты позволяют рекомендовать такие бетонные блоки для малоэтажного строительства, т.к. они обладают улучшенными теплофизическими показателями при достаточной прочности и эксплуатационной надежности.

Ключевые слова: легкие бетоны, крупнопористы бетон, растительное сырье, шлак. Керамзит, торф, коэффициент теплопроводности

THERMAL ENGINEERING PROPERTIES OF COARSE-PORED LIGHT CONCRETE WITH AN INTEGRAL ARRANGEMENT OF A LARGE AGGREGATE

A. P. Pichugin, A. S. Denisov, V. F. Khritankov,
* E. G. Pimenov, O. E. Smirnova
Novosibirsk, *Kazan, Russia

Annotation

The thermal properties of light coarse-pored concrete with an integral arrangement of the porous structure due to the use of mineral or organic coarse aggregate pre-treated with a polymer-silicate composition and chrysotile cement waste were studied. The results obtained during the tests allow us to recommend such concrete blocks for low-rise construction, because they have improved thermal and physical characteristics with sufficient strength and operational reliability.

Keywords: light concrete, coarse-pored concrete, vegetable raw materials, slag. Expanded clay, peat, thermal conductivity coefficient

Ранее авторами были описаны принципы создания макроструктуры изделий из крупнопористого бетона на минеральных и органических заполнителях в виде многослойной ограждающей конструкции с дискретным изменением плотности слоев от минимальной в центре к максимальной в наружном слое (рисунок 1). В качестве крупного пористого заполнителя использованы как традиционные минеральные (керамзит, аглопорит, шлак), так и специально обработанные и подготовленные органические гранулы из

древесных опилок, торфа, камыша, соломы, коры, костры и других видов сырья растительного происхождения.

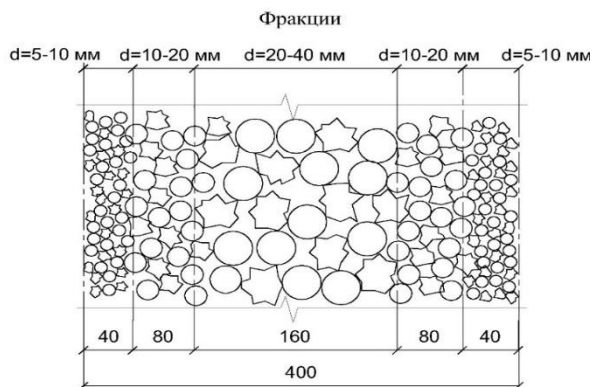


Рисунок 1 – Модель многослойной структуры стенового блока из крупнопористого легкого бетона с дискретным изменением плотности слоев

Исходя из рекомендаций по технологии крупнопористого бетона с интегральным расположением пористой структуры, крупный пористый заполнитель следует применять в виде дозируемых фракций 5–10 мм, 10–20 мм и 20–40 мм. Для армированных бетонных элементов наибольший размер зерен крупного заполнителя не должен превышать $3/4$ расстояния в свету между арматурными стержнями и $1/4$ толщины изделий. В соответствии с этим положением были приняты следующие толщины слоев бетона: 40 мм для заполнителя фракции 5–10 мм, 80 мм для заполнителя фракции 10–20 мм и 160 мм для заполнителя фракции 20–40 мм

Для каждой партии легкобетонных блоков были определены коэффициенты теплопроводности крупнопористого бетона с различными добавками направленного действия. В нормативной литературе приведены значения коэффициентов теплопроводности для строительных материалов в абсолютно сухом состоянии и при некоторой равновесной сорбционной влажности с учетом определенной относительной влажности воздуха в помещении и влажностно-климатической характеристики места строительства. Для возможности сравнения экспериментально полученных результатов с литературными данными коэффициенты теплопроводности исследуемых материалов определялись в соответствии с ГОСТ Р 55338-2012 в тепловой камере на образцах в виде легкобетонных блоков в абсолютно сухом состоянии, а для определения расчетной теплопроводности – в условиях эксплуатационной влажности. Для измерения стационарного теплового потока и температуры применялся прибор ИТП-11.

Расчет коэффициента теплопроводности материала в сухом состоянии λ_0 и в условиях эксплуатационной влажности λ_ω выполнялся по формуле

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{\tau_B - \tau_H}, \quad (1)$$

где Q – плотность теплового потока, проходящего через испытуемый образец в сухом

либо влажном состоянии, $\frac{Вт}{м^2}$;

δ – толщина образца, м;

τ_B – температура поверхности образца, обращенной в теплую (внутреннюю) зону, °С;

τ_H – температура поверхности образца, обращенной в холодную (наружную) зону, °С.

Далее, по полученным значениям влажности и соответствующим им значениям теплопроводности рассчитывали значения приращения теплопроводности на 1% влажности материала $\Delta\lambda$, Вт/(м·°С·%), по формуле: $\Delta\lambda = (\lambda_\omega - \lambda_0) / \omega$, (2)

где ω – влажность образца по массе, %;

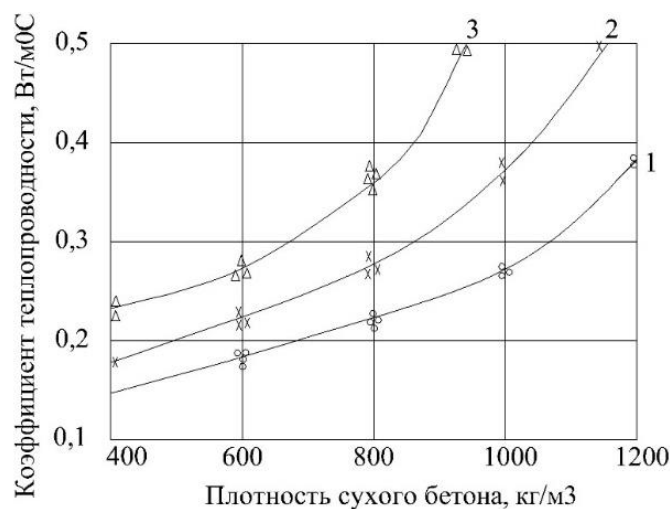


Рисунок 2 – Изменение коэффициента теплопроводности лёгкого крупнопористого бетона (фракция заполнителя 20–40 мм) в зависимости от плотности при различном составе заполнителя:

1 – керамзитовый гравий; 2 – керамзитовый гравий и топливный шлак (50:50%); 3 – топливный шлак

Значение расчетной теплопроводности λ , Вт/(м·°С) определяют по формуле $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$ (3)

Результаты определения коэффициентов теплопроводности исследуемых материалов на фрагментах стен в сухом состоянии представлены на рисунках 2–4.

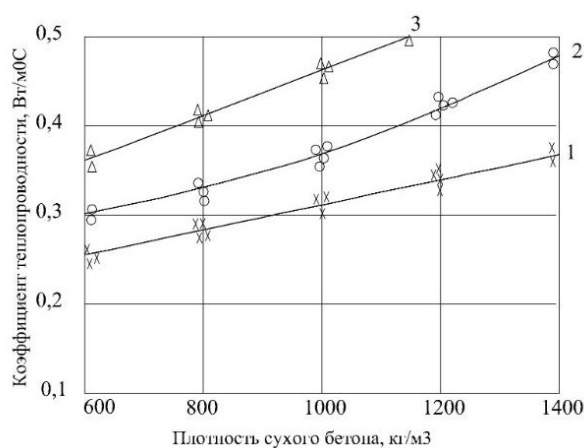


Рисунок 3 – Изменение коэффициента теплопроводности лёгкого крупнопористого бетона (фракция заполнителя 10–20 мм) в зависимости от плотности при различном составе заполнителя:

1 – керамзитовый гравий; 2 – керамзитовый гравий и топливный шлак (50: 50%); 3 – топливный шлак

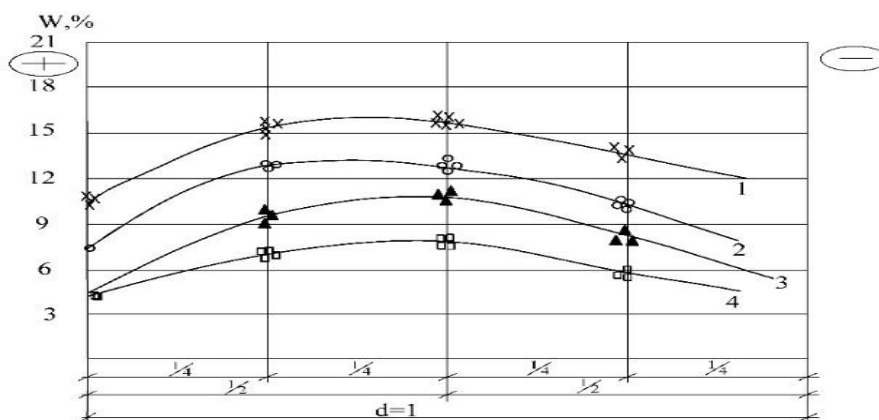


Рисунок 4 – Изменение коэффициента теплопроводности лёгкого крупнопористого бетона (фракция заполнителя 5–10 мм) в зависимости от плотности при различном составе заполнителя:

1 – керамзитовый гравий; 2 – керамзитовый гравий и топливный шлак (50: 50%); 3 – топливный шлак

Установлено, что коэффициент теплопроводности легкого крупнопористого бетона на минеральных заполнителях имеют повышенные значения по сравнению с легким бетоном на гранулах из растительного сырья. Положительное влияние на улучшение теплотехнических показателей оказывает введение в исходную водно-цементную смесь до затворения водой добавки хризотилцементных отходов. Полученные значения коэффициентов теплопроводности крупнопористого бетона для различных фракций крупного заполнителя составляют 0,12–0,32 Вт/(м·°C), благодаря дополнительному увеличению микропористости цементного камня за счет высокопористых добавок (таблица).

Таблица – Коэффициенты теплопроводности крупнопористых бетонов на шлакокерамзитовых заполнителях различных фракций с добавкой хризотилцементных отходов

Теплотехническая характеристика	Фракции заполнителя		
	5–10 мм	10–20 мм	20–40 мм
Коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/(м·°C)	0,25–0,32	0,18–0,27	0,12–0,19

Установлено, что технология крупнопористого легкого бетона на органоминеральных заполнителях с добавкой хризотилцементных отходов способствует снижению плотности бетона за счет применения легких пористых заполнителей и пониженного расхода вяжущего вещества. Эта технология позволяет получить конструкционно-теплоизоляционные бетоны с повышенными теплоизоляционными свойствами.

Распределение влажности в конструкциях из крупнопористого легкого бетона на гранулированном заполнителе в сравнении с традиционными стеновыми материалами приведено на рисунке 5.

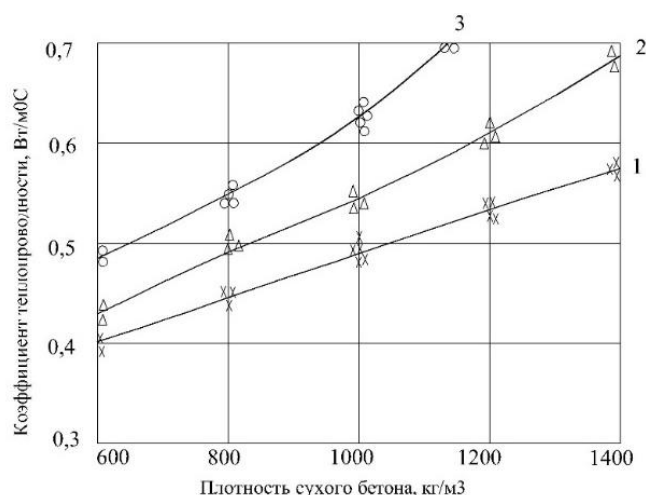


Рисунок 5 – Распределение влажности по толщине стеновых пористых материалов:

- 1 – газобетон; 2 – шлакобетон;
3 – крупнопористый легкий бетон на торфозаполнителе;
4 – крупнопористый шлакокерамзитобетон

Составы легкого бетона с гранулированным органическим заполнителем, предварительно обработанным полимерсиликатной композицией и отходами хризотилцемента, полученные с применением математической оптимизации и рационального планирования эксперимента, обеспечивают получение бетонов с высокими эксплуатационными свойствами [3-5]:

- предел прочности при сжатии – 2,5–7,7 МПа;
- средняя плотность – 440–740 кг/м³;
- коэффициент теплопроводности – 0,12–0,32 Вт/(м·°C);
- морозостойкость – 35–50 циклов;
- водопоглощение – 23–36% мас.

Таким образом, предварительная обработка крупного пористого заполнителя пленкообразующей полимерсиликатной композицией обеспечивает увеличение прочности гранул в 1,2–1,4 раза в зависимости от фракции заполнителя, уменьшение расхода цемента в 1,5 раза и снижение водопоглощения заполнителя в 2,5–5 раз в зависимости от фракционного состава.

Создание прочной пленки с высокой адгезией к поверхности крупного пористого заполнителя достигается использованием полимерсиликатной композиции, представляющей собой модифицированную жидким стеклом дисперсию ПВА в соотношениях по массе: дисперсия ПВА (30–45%), жидкое стекло (45–65%), вода (5–10%), обладающей повышенной вязкостью по сравнению с моносоставами, что позволяет снизить ее расход.

Введение в исходную легобетонную смесь до затворения водой добавки сухих хризотилцементных отходов в количестве 8–12% от массы цемента обеспечивает увеличение прочности при изгибе крупнопористого бетона в 1,5–2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пичугин А.П. Энергоэффективные легкие бетоны для ограждающих конструкций зданий и сооружений// Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г., Подольский М.А журнал «СТРОЙПРОФИ». – Санкт-Петербург, 2013. – С.12-19.
2. Пименов Е.Г. Физико-химические исследования процессов снижения открытой пористости крупного заполнителя бетонов / Пименов Е.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С. // Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 10-11. - С.22-31.
3. Пичугин А.П. Роль микроармирования в обеспечении эксплуатационных характеристик крупнопористого легкого бетона /Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г. Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 12. - С.5-15.

4. Пичугин А.П. Технологические возможности использования отходов теплоэнергетики в сельском строительстве/ А.П.Пичугин, В.Ф.Хританков, А.Ю.Кудряшов, Е.Г.Пименов// Инновации и продовольственная безопасность. – 2017.- №4. – С.45-53.
5. Патент № 2661168 Российской Федерации. С04В 18/141; С04В 20/10; С04В 20/1085; С04В 20/12 Способ подготовки шлакового заполнителя для легкого бетона/ Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Кудряшов А.Ю., Пименов Е.Г. Опубл. 12.07.2018 Бюл.№20.
6. Хританков В.Ф. Особенности технологии получения крупнопористого бетона на заполнителях различного гранулометрического состава/Хританков В.Ф., Пичугин А.П., Пименов Е.Г., Подольский М.А.// «Новые технологии в строительном материаловедении» /Международный сборник научных трудов. – НГАУ- РАЕН-РАПК, - Новосибирск, 2012- С. 207-213.

УДК 631.3

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОСФЕРИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ МАШИН РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

А.П.Пичугин, А.В.Пчельников, Е.А.Волобой, Р.В.Луцик

Новосибирский государственный аграрный университет

Аннотация: В статье обозначена актуальность теплоизоляционных характеристик для покрытий узлов и агрегатов, работающих в условиях отрицательных температур. Это возможно обеспечить за счет модификации их защитных покрытий микросферическими добавками. Представлены размерные характеристики микросфер для получения оптимальных параметров для сохранения тепла. Проведен анализ наиболее значимых теплоизоляционных параметров для сохранения тепла узлов и агрегатов машин.

Ключевые слова: лакокрасочное покрытие, теплоизоляционные покрытия, микросферы, окрашивание.

Актуальность.

Эксплуатация машин, которые не имеют нужной подготовки, в условиях отрицательных температур (-30°C и ниже), приводит к существенному снижению теплового режима работы двигателя, ходовой части, трансмиссии, механизмов рулевого управления и других агрегатов и систем в результате интенсивного теплообмена с окружающей средой. Из-за этого резко возрастает время прогрева после пуска, а также снижается период охлаждения агрегатов после остановки [1].

Наиболее актуальным для сохранения тепла узлов и агрегатов машин является применение микросферических добавок для лакокрасочных материалов. Применяя эти добавки возможно создавать защитные покрытия с высокими теплоизоляционными характеристиками, которые во многом определяются способностью поглощения и рассеяния теплового излучения тонкостенными полыми частицами [2].

Микросферические добавки – это полые стеклянные или керамические микросферы, с почти идеальной формы и гладкой поверхностью. Их диаметр находится в диапазоне от 10 до нескольких сотен микрометров, но в среднем составляет около 100 мкм. Стенки сплошные непористые с толщиной от 2 до 10 мкм, температура плавления $1400-1500^{\circ}\text{C}$, плотность $580-690\text{ кг/м}^3$. Внутренняя полость частиц заполнена в основном азотом и диоксидом углерода [3].

Так как температура плавления металлов ниже температуры плавления микросферических добавок, то их часто покрывают тонкими оболочками из расплавленного

металла в 10-30 нанометров. Это придает добавкам непрозрачность в инфракрасном и СВЧ диапазоне волн, а также увеличивает теплоизолирующие свойства за счет отражения ИК излучения [4].

В настоящее время учеными [2-5] ведутся поиски оптимальных характеристик микросферических добавок, обладающие уникальными свойствами. Современные технические возможности позволяют получать стеклянные микросферы с различными геометрическими параметрами и, как показано в высокой химической чистоты (>99% кварцевого стекла). Для тепловых изоляций рекомендуются микросферы диаметром от 50 до 100 мкм и толщиной оболочки от долей микрона до нескольких микрон. Обычный диапазон изменения толщины стенок микросфер составляет от 0,5 до 2 мкм. Однако, ученые [5] указывают о возможности получения микросфер с толщиной стенок 0,1 мкм. Выбор дисперсного состава микросфер для использования в строительных красках и других полимерных покрытиях остается вопросом, нуждающимся в расчетных и экспериментальных исследованиях.

Цель работы. Определить значимые характеристики для теплоизоляционных покрытий и выявить параметры микросферических добавок, обладающие наибольшей эффективностью.

Теоретическая часть. При оценке влияния микросфер на снижение теплового излучения от покрытий узлов и агрегатов машин основное внимание уделяется рассмотрению характеристики поглощения и рассеяния инфракрасного излучения отдельными частицами, решается спектральное уравнение переноса излучения в покрытии. При этом для расчета переноса излучения в покрытии используется сравнительно простое приближение, допускающее аналитическое решение [5].

Расчет тепловых потерь для различных объектов с нанесенными на них покрытиями возможно рассчитать по формуле (1) [8]:

$$q = \frac{t - t_0}{\frac{1}{\alpha B h} + \frac{\delta_{из}}{\varphi_{из}} + \frac{1}{\alpha H}} \quad (1)$$

где t - температура энергоносителя, °C; t_0 - температура окружающего воздуха, °C; $\alpha B h$ - коэффициент теплоотдачи покрытия, Вт/м²°C; $\delta_{из}$ - толщина изоляции, м; $\varphi_{из}$ - коэффициент теплопроводности покрытия; Вт/м°С; αH - коэффициент теплоотдачи от стенок объекта в окружающий воздух Вт/м²°C.

В тоже время, описывая перенос теплового излучения, полагая, что однородное покрытие, нанесенное на гладкую плоскую поверхность, имеет постоянную толщину известно уравнение переноса излучения [6]:

$$\mu \frac{\partial I_\lambda}{\partial z} + \sum_{tr} I_\lambda = \frac{\sum_s^{tr}}{2} \int_{-1}^1 I_\lambda d\mu + 2\pi n_0^2 \sum_a B_\lambda(T), \quad (2)$$

Поток излучения определяется по формуле:

$$q_\lambda(z) = \int_{-1}^1 I_\lambda(z, \mu) \mu d\mu. \quad (3)$$

где $I_\lambda(z, \mu)$ - интенсивность излучения, проинтегрированная по углу,

z - поперечная координата от поверхности покрытия,

$\mu = \cos \theta$ - угловая координата ($\theta = 0$ в направлении оси z),

$\sum_a, \sum_s^{tr}$ - коэффициент поглощения и транспортный коэффициент рассеяния,

n_0 - показатель преломления, зависящий от длины волны излучения λ , B_λ - функция Планка,

$T(z)$ - профиль температуры в покрытии.

В результате анализа формулы 1, можно сказать, что для объектов и в частности для агрегатов машин, работающих в условиях отрицательных температур, для сохранения тепла, важно обращать внимание на следующие параметры: коэффициент теплопроводности покрытия, коэффициент теплоотдачи покрытия. Однако в тоже время стоит учитывать и формулы 2 и 3, так как с их помощью более точно возможно описать процесс переноса теплового излучения за счет наличия транспортного приближения. В этих зависимостях

обозначены наиболее значимые параметры [5]: интенсивность излучения, коэффициент поглощения и показатель преломления.

По результатам исследований ряда ученых [2-8] определено, что наименьшие значения излучательной способности покрытия получаются при слабо поглощающем полимере с высоким показателем преломления. При этом для интегральных характеристик наиболее важен диапазон размера микросферических частиц от 10 до 15 мкм. Чем меньше коэффициент поглощения излучения полимера в этом диапазоне, тем ниже интегральная излучательная способность покрытия.

Наибольший эффект от присутствия микросфер наблюдается для слабо поглощающего полимера с высоким показателем преломления. Следует отметить существенную зависимость излучательной способности покрытия от толщины оболочек полых микросфер. При уменьшении толщины оболочек микросфер ниже 0,5 мкм произойдет существенное снижение излучательной способности покрытия [5]. Технически достижимое уменьшение до 0,1-0,2 мкм [7] значительно снижает расчетные значения излучательной способности покрытия.

Проведенный анализ исследований ученых, занимающихся проблемами сохранения тепла, позволил определить одни из наиболее значимых характеристик для сохранения тепла узлов и агрегатов машин, работающих в условиях отрицательных температур: коэффициент теплопроводности покрытия, коэффициент теплоотдачи покрытия, коэффициент поглощения и показатель преломления. В свою очередь, расчеты по некоторым из показателей позволяют определить параметры микросферических добавок в лакокрасочные материалы для получения теплоизоляционных покрытий с наименьшей излучательной способностью и меньшим коэффициентом поглощения излучения полимера, а также с высоким показателем преломления. Для этих целей предпочтительно использовать микросферические добавки размером 10-15 мкм с толщиной стенок от 0,5 мкм и ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кох П. И. Климат и надежность машин. М.: Машиностроение, 1981. 175 с.
2. Новосёлова Л.Ю., Сироткина Е.Е., Погабаева Н.И., Русских И.В. (Институт химии нефти СО РАН). Алюмосиликатные микросферы зольных уносов ТЭС и их использование для очистки воды от нефти и фенола. // Химия твердого топлива. — Академиздатцентр «Наука» РАН, 2008. — № 3. — С. 63-69.
3. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Полые микросферы – эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов // Промышленное и гражданское строительство : журнал. — 2013. — № 10. — С. 80-83.
4. Описание на полезную модель к патенту РФ 102021. "Теплоизоляционное покрытие". poleznayamodel.ru. Дата обращения: 7 ноября 2016.
5. Домбровский Л. А., Моделирование теплового излучения полимерного покрытия, содержащего полые микросферы, ТВТ, 2005, том 43, выпуск 2, 256–266.
6. Dombrovsky L.A. Radiation Heat Transfer in Disperse Systems. N Y.: Begell House, 1996.
7. *Torobin L.B.* Hollow Microspheres. US Patent 4.303,732. 1981.
8. Deryushev V.V., Seleznev S.M., Sobisevich A.L. Specific features of the repeated impulse action on resonance systems // Doklady Earth Sciences. 1999. V. 369. pp. 1176-1178.
9. Исследование истираемости систем лакокрасочных покрытий, применяемых при ремонтном окрашивании технологических и транспортных машин АПК Пчельников А.В., Железнов А.А., Ханин Д.А., Хрянин В.Н. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Новосибирский государственный аграрный университет. 2014. С. 40-46.
10. Исследование адгезионной прочности модифицированных лакокрасочных покрытий Обсоков Д.В., Иванов М.А., Хрянин В.Н., Пчельников А.В. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Материалы X региональной

научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. 2018. С. 199-203.

11. Обоснование факторов, влияющих на интенсивность изнашивания лакокрасочного покрытия днища и шнека жатки зерноуборочного комбайна Пчельников А.В., Хрянин В.Н. Вестник ИрГСХА. 2017. № 81-2. С. 117-124.

УДК 629.113

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

А.П. Пичугин, А.В. Пчельников, Р.В. Луцик

Новосибирский государственный аграрный университет

Аннотация. В статье рассматривается актуальность применения терморегулирующих покрытий (теплоизолирующие и оптические) для транспортно-технологических машин. Показано пагубное влияние на транспортно-технологические машины низких температур в зимний период и высокой интенсивности солнечной радиации. Для поддержания допустимого диапазона рабочих температур агрегатов транспортно-технологических машин необходимо управление величиной теплового излучения с помощью теплоизолирующие покрытия. Для поддержания баланса между получаемым и отражаемым излучением солнца применяют оптические покрытия, это способствует увеличению их срока службы и более медленному старению.

Ключевые слова: тепловой баланс, солнечная радиация, транспортно-технологические машины, лакокрасочное покрытие, терморегулирующие покрытия.

Актуальность.

Влияние отрицательных температур.

Сибирский регион характеризуется суровым климатом. Резкая континентальность климата в Сибирском регионе определяется низкими температурами зимы (до -70°C), высокими температурами лета (до $+40^{\circ}\text{C}$), большим перепадом годовых ($100-110^{\circ}\text{C}$) и суточных амплитуд температур (до 30°C), особенно в весенние и осенние месяцы.

К пагубному влиянию низких температур на агрегаты транспортно-технологических машин (ТТМ) относятся: низкая температура масла двигателя, поступление холодного воздуха и топлива, понижение общего теплового режима двигателя, увеличение нагрузки за счет трансмиссии и аэродинамического сопротивления, возрастают пусковые износы и износы в процессе дальнейшей эксплуатации [1, с. 175].

Влияние солнечной радиации.

Максимальная месячная суммарная солнечная радиация доходит до 18 ккал/см^2 . Фактическая температура облучаемой солнцем поверхности лакокрасочных покрытий (ЛКП) ТТМ заметно отличается от температуры окружающего воздуха. Эта разница в отдельные дни при отрицательной температуре окружающего воздуха и при уровне суммарной солнечной радиации $0,8-0,9 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{мин}$ на темных поверхностях до $20-25^{\circ}\text{C}$. В то же время суточные колебания температуры поверхности ЛКП ТТМ могут достигать $50-60^{\circ}\text{C}$, что связано с большими колебаниями температуры и особенностями радиации. В Сибирском регионе высокая интенсивность солнечной радиации связана с большой прозрачностью атмосферы [2, с. 22].

Известно [3, с. 44], что влияние солнечной радиации, например, на металлические детали ТТМ приводит к росту температуры как самих деталей, так и воздуха их окружающего. Также происходит растрескивание и выгорание ЛКП. В полимерных же

материалах, которые применяют в конструкциях ТТМ, под влиянием солнечной радиации появляются сложные процессы, которые вызывают старение этих материалов.

Одним из вариантов решения вышеназванных проблем, является применение специальных защитных покрытий с терморегулирующими свойствами.

Цель работы. В связи с этим целью статьи является обоснование выбора модификаторов для создания терморегулирующих покрытий для различных типов поверхностей.

Теоретическая основы. Все ТРП можно разделить на четыре класса по значениям коэффициентов a_s и ϵ [8]:

1. «Солнечные отражатели» - покрытия с $a_s < 0,2$, $\epsilon > 0,9$, которые хорошо отражают УФ излучение Солнца и обладают высокой излучательной способностью. Отношение a_s/ϵ таких ТРП обычно близко к 0,2.
2. «Солнечные поглотители» - покрытия с $a_s > 0,9$, $\epsilon < 0,1$, которые хорошо поглощают УФ излучение Солнца и обладают низкой излучательной способностью.
3. «Истинные отражатели» - покрытия с $a_s < 0,2$, $\epsilon < 0,2$, которые обладают высокой отражательной способностью УФ излучение Солнца и низкой излучательной способностью.
4. «Истинные поглотители» - покрытия, обеспечивающие значение $a_s > 0,9$ и $\epsilon > 0,9$, т.е. обеспечивающие отношение a_s/ϵ примерно равное 1.

К терморегулирующим материалам и покрытиям предъявляются повышенные требования как по радиационной стойкости, так и противодействию процессу меления ЛКП для сохранения оптических характеристик в период всего срока эксплуатации [12].

Тепловой баланс, обеспечивающий заданный режим работы механизмов и агрегатов представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Тепловой баланс покрытий машин и механизмов

Тепловой баланс машин и механизмов, определяется равенством поглощенного теплового потока ($Q_{\text{погл}}$), и отраженный его поверхностью ($Q_{\text{отраж}}$), согласно соотношения [13]:

$$Q_{\text{погл}} = Q_{\text{отраж}} \quad (1)$$

Поглощенный теплового потока в свою очередь равен, поступлению тепла от внешних и внутренних источников.

К внешним источникам тепловой энергии относятся: УФ излучение, поступающее от Солнца и отраженное от поверхности Земли, собственное излучение Земли, космическая радиация. Внутренними источниками тепла ТТМ являются: двигатель внутреннего сгорания, электронная и технологическая аппаратура и экипаж [5].

Поглощенный теплового потока ($Q_{\text{пад}}$) равен [13]:

$$Q_{\text{погл}} = \alpha_s * S_1 * Q_{\text{пад}} \quad (2)$$

Тепловой поток отраженный поверхностью ТТМ ($Q_{\text{отраж}}$) равен [13]:

$$Q_{\text{отраж}} = \varepsilon * \sigma * S_2 * (T^4 - T_{\text{окр}}^4) \quad (3)$$

Объединяя формулы 2 и 3 в соотношение получаем:

$$\frac{\alpha_s}{\varepsilon} = \frac{S_2}{S_1 * Q_{\text{пад}}} * \sigma * (T^4 - T_{\text{окр}}^4) \quad (4)$$

где S_1 и S_2 - площадь поверхности ТРП, отражающая и поглощающая энергию соответственно,

T и $T_{\text{окр}}$ - температуры поверхности ТРП и окружающего пространства соответственно,

σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Данная формула позволит определять коэффициент теплового излучения с заданными характеристиками для ТРП с различными модификаторами и выбрать из этих покрытий наиболее подходящие.

Для условий отрицательных температур и поддержания оптимального теплового режима узлов, агрегатов ТТМ используется такой вид терморегулирующих покрытий как теплоизолирующие. Теплоизолирующие покрытия способствуют поддержанию необходимой температуры узлов ТТМ. [6, с. 199].

Для повышения долговечности лакокрасочных покрытий, подверженных солнечной радиации применяют такой вид терморегулирующих покрытий как оптические [4, с. 54].

В зависимости от условий эксплуатации и необходимых характеристик теплоизолирующих покрытий видоизменяется их структура и применяемые для их изготовления материалы [5, с. 272].

Теплоизолирующие ТРП применяют для двигателей исполняя функцию изолирования компонентов, которые работают при высоких температурах: воздухопроводов, камеры сгорания и других деталей [7, с. 268].

В настоящее время высокоэффективными в качестве теплоизолирующих ТРП, применяют лакокрасочные материалы, имеющие низкую плотность и теплопроводность, широкий температурный интервал применения и продолжительный срок эксплуатации [1, с. 164].

Такие лакокрасочные материалы создаются за счет добавления в них специальных модификаторов – микросфер. Полые микросферы изготавливаются из неорганических материалов (полифосфатов, силикатов, полиборатов, борсиликатов), в последнее время и полимеров. Керамические и стеклянные микросферы получили наибольшее распространение.

По величине частиц микросферы изготавливаются с широким набором (от 10 до 300 мкм). Все микросферы по внешнему виду – это высокодисперсные белые порошки (сыпучие). Их используют в производстве ЛКП, потому что они достаточно эффективные и относительно дешевые наполнители (цена 1 кг стеклосфер отечественного производства не превышает 80 руб.).

Микросферы химически стойки, инертны и обладают низкой плотностью (она составляет у стеклянных сфер 0,12-0,60 г/см³) и светорассеиванием. В отличие от других природных наполнителей микросферы не смогут изменить цвет красок. Они повышают их укрывистость, способствуя тем самым экономии очень дорогих пигментов, например диоксида титана.

Керамические и стеклянные микросферы смачиваются водой (удовлетворительно) и органическими растворителями.

Толщина стенки колеблется в пределах – от 0,5 до 2,0 мкм. Низкую теплопроводность имеют газонаполненные микросферы. Например, сферы марки ЗМ Скотчлай, производства компании ЗМ. Они имеют теплопроводность от 0,044 до 0,187 Вт/м К. Основное направление использования этих микросфер – получение энергосберегающих теплых и светоотражающих покрытий, также они обладают атмосферостойкостью и химической стойкостью [9, с. 171].

Также керамические микросферы могут служить для изготовления огнезащитных покрытий. В основном, их используют для получения покрытий с повышенной абразивостойкостью и твердостью. Они могут выдержать дисперигрование в пленкообразователях при больших нагрузках. Основными поставщиками керамических и стеклянных микросфер для получения ТРП, являются фирмы: ООО «Микрокомпозит» и ЗАО «ЗМ Россия».

В таблице 1 представлены основные характеристики термоизоляционных микросфер [9, с. 180].

Таблица 1

Основные характеристики термоизоляционных микросфер		
Показатель	Стеклянные микросферы	Керамические микросферы
Размер, мкм	40-90	120
Плотность, г/см ³	0,2	2,4
Температура плавления, °С	585	1400
Химический состав	SiO ₂ - 72%;	SiO ₂ - 52%;
	MgO - 4%;	TiO ₂ - 0,6%;
	CaO - 6%;	Al ₂ O ₃ - 23%;
	Na ₂ O - 15%;	Fe ₂ O ₃ - 6%;
	Al ₂ O ₃ - 2%;	CaO - 0,1%;
	Fe ₂ O ₃ - 0,2%.	MgO - 1%.
Влияние на текучесть	снижает	увеличивает
Влияние на блеск ЛКП	снижает	увеличивает
Влияние на паропроницаемость	увеличивает	увеличивает
Влияние на противокоррозионные свойства	снижает	снижает
Влияние на теплоизоляционные свойства	увеличивает	увеличивает
Влияние на шумопоглощающие свойства	увеличивает	увеличивает

Оценка влияния микросфер на реологические (деформация, текучесть) свойства расплавов показала, что чем больше микросфер, тем меньше тягучести расплавов. Следовательно, повышается вязкость. Причем наличие стеклянных микросфер способствует более сильному загущению, а наличие керамических – более слабому. Максимальная степень наполнения полиэтиленовых составов микросферами может быть увеличена при добавлении пластифицирующих добавок, к примеру, полиэтиленовых восков. У керамосфер повышенная плотностью, по сравнению с стеклянными микросферами. Поэтому у керамических сфер подвижность больше, чем у стеклянных. Наличие керамосфер ведет к лучшей текучести порошковой краски. Коэффициент такой текучести возрастает с 52 до 60 миллиметров. От этого показателя зависит блеск покрытий [11, с. 34].

Стекло- и керамосферы абсолютно по-разному влияют на блеск покрытий. Так стеклянные микросферы снижают блеск на покрытии, а керамические – наоборот, немного

увеличивают его. Если добавить к рецептуре термореактивных красок 4-5% масс. стеклянных микросфер, то возникают глубокомаатовые покрытия. Такие покрытия появляются из-за всплывания стеклянных микросфер, концентрирующихся на поверхности. Далее, в небольших количествах, вводят керамосферы. Они начинают тонуть, тем самым снижается вязкость расплава на поверхности, что ведет к улучшению растекания.

Особенную ценность порошковые краски с микросферами представляют для теплоизоляционных и шумопоглощающих покрытий. Микросферы являются носителем воздуха, который обладает хорошей тепло- и звукоизоляцией (коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,028$ Вт /м*К, скорость звука в воздушной среде равна 340 м/с (это в десятки раз меньше чем у полимерных пленкообразователей). Наличие микросфер ведет к понижению шума в коротковолновой части, с частотой диапазона от 100 до 300 Гц. При применении эпоксидных элементов, толщина которых около 3мм, происходит еще большее снижение шума. Шумопоглощение возрастает до 30%. Если эпоксидное покрытие еще тоньше (80-10мкм), то эффект малозаметен. Наличие микросфер (5% масс.) ведет к понижению тепло- и температуропроводности покрытий.

Применение керамических микросфер предпочтительнее стеклянных микросфер, так как у них выше температура плавления, а значит ниже теплопроводность. Также покрытия с такими микросферами обладают лучшей тягучестью в составе краски, что приводит к увеличению блеска и повышению отражательной способности покрытия и сбросу тепла в окружающую среду.

Назначение оптических покрытий (ОП) ТТМ - поддержание расчетных величин внешних тепловых нагрузок от излучения Солнца и сброс тепла в окружающую среду. Главными характеристиками ОП, являются коэффициент теплового излучения (степень черноты) ϵ и коэффициент поглощения солнечного излучения a_s . Управление величиной теплового излучения является одним из главных подходов для сохранения допустимого диапазона рабочих температур машин, главным образом определяющегося оптическими характеристиками поверхностей ТТМ.

С учетом сохранения теплового режима ОП разделяются на классы [11, с. 34]: истинный поглотитель (ИП), солнечный поглотитель (СП), истинный отражатель (ИС), солнечный отражатель (СО).

Действие покрытий классов «СП» и «ИП» основывается на конверсии солнечной энергии (черные покрытия), а «СО» и «ИС» - на процессах радиационного излучения (белые покрытия). Принцип действия конверсионных покрытий заключается в сведении к минимуму поглощения инфракрасного излучения, обладающего длиной волны 3 мкм и более и максимизации поглощения излучений с длинами волн менее 3 мкм [11, с. 34]. Для проведения радиационного охлаждения нужно снабдить покрытия противоположными оптическими характеристиками.

Практически все связующие являются органическими полимерами, которые обладают в средней инфракрасной области высокой степенью поглощения. Часто в качестве связующих выступает полиэтилен. В данный момент в качестве связующих в составе ОП используют полиуретановые и кремнийорганические смолы, винилиденхлорид, хлорсульфированный полиэтилен, эпоксидные и фторопластовые смолы, литиевые и калиевые жидкие стекла акриловые сополимеры [11, с. 36].

В роли наполнителей и пигментов в ОП применяют оксиды железа, углеродные материалы, соединения органической сажи, сульфата свинца, кремния, цинка. Использование оксида титана перспективно для ЛКП радиационно- охлаждающего типа.

В качестве ТРП класса «Солнечные отражатели» применяют эмали, покрытия на основе полимерных пленок с напыленными металлическими слоями в качестве отражателей, керамические покрытия, плазменнонапыленные покрытия, анодированные поверхности. Наилучшее отведение тепла от поверхности ТТМ обеспечивают металлизированные полимерные пленки и специальные белые краски. Такие белые ТРП (краски) приготавливаются на основе оксидов металлов (ZnO , TiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , Zn_2TiO_4 , $MgAl_2O_4$), которые определяют

оптические свойства, с добавлением связующих веществ (для эмалей это БМК-5, Ф-42-Л, КО-08, ПМС для керамических покрытий - SiO_2 , Na_2O , K_2O), обеспечивающих механическую прочность. Рабочая толщина слоя, определяющая величины a_s и ε , для белых ТРП составляет 100-250 мкм. Соотношение пигмента к связующему для каждого покрытия отличается, но в среднем оно равно 0,75:0,25 по массе. Из чего следует, что существенный вклад в терморadiационные и оптические характеристики вносит пигмент [5].

Основными требованиями, предъявляемыми к пигментам ТРП, являются следующие:

1. высокий показатель преломления ($n \geq 2$) для обеспечения рассеяния УФ излучения;
2. низкое содержание примесей, позволяющее малое поглощение;
3. определенный гранулометрический состав, обеспечивающий максимальное отражение света [10].

Оксид цинка, удовлетворяет данные требования и нашел обширное применение в качестве пигмента зарубежных (S-13, Z-93, YB-71) и отечественных (ЭКОМ-1, ВЭ-16, АК-573, КО-5205, ТРСО-1) покрытий за счет своих физико-химических свойств.

В конструкциях ТТМ на поверхности кузова используются ОП класса «ИО», обеспечивая высокое отражение излучения Солнца [8, с. 50].

Для создания ОП выбираются пигменты и связующие. Пигмент вводят в пленкообразователь с целью придания определённых свойств: декоративных (матовость, блеск, цвет), функциональных, в данном случае оптических (коэффициенты ε и a_s) и электрофизических (p_v). Для покрытий класса «СО» применяют белые пигменты и наполнители - порошки комплексных соединений фторидов и оксидов щелочноземельных металлов (Mg, Ca, Ba) со стабилизирующими добавками.

Для производства ОП класса «истинные поглотители» применяют черные пигменты. К группе черных пигментов относят черни, графит, сажу которые получены из растительного и животного сырья, синтетические и природные сульфид сурьмы и черные железистоокисные пигменты.

В составе ОП разработан и применен в 90-е годы прошлого столетия пигмент чёрный термостойкий состава $\text{FeO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{CuO}$. Для ОП на основе эмали КО-833 ГИПИ ЛКП применялась окись-закись кобальта Co_3O_4 .

Пигменты смешанных фазовых оксидов, каким является, например, черный термостойкий пигмент, определяется прекрасной стойкостью к щелочам, кислотам, атмосферному старению, воздействию света. Этот пигмент, является твердым раствором на основе марганца, меди и шпинели железа, и имеет высокую термостойкость около 1000 °С. Однако этот пигмент имеет высокую твердость по Моосу (7 - 8).

ЛКП пигментированные черной шпинелью в отличие от содержащих черные углеродные пигменты, проявляют небольшое изменение цвета либо не имеют никакого изменения, которое обусловлено флокуляцией. Эти пигменты токсикологически инертны, пригодны для применения во всех типах покрытий, которые обязаны отвечать высочайшим требованиям устойчивости к химической стойкости и воздействию света.

Пагубное влияние на ОП оказывает воздействие ультрафиолетового излучения, электронов, протонов, ультрадисперсных частиц, что и вызывает деградацию механических и оптических характеристик.

Устойчивость к воздействию негативного излучения на оптические характеристики ОП может быть создана за счет изменения: размера частиц пигмента, объемной доли частиц пигмента, коэффициента преломления связующего, толщины покрытия, коэффициента преломления применяемых в качестве пигмента частиц. Размер частиц оказывает влияние на оптические свойства покрытий и толщину слоя. Агломерация и агрегация больших частиц пигмента является негативным явлением, которое не позволяет достичь необходимых оптических характеристик.

Сибирский регион характеризуется низкими температурами зимой и высокой интенсивностью солнечной радиации, что оказывают пагубное влияние на агрегаты ТТМ.

Для поддержания допустимого диапазона рабочих температур ТТМ необходимо управление величиной теплового излучения. В настоящее время для получения высокоэффективного теплоизолирующего покрытия в лакокрасочные материалы добавляют микросферы, оптимальным считается добавление 5% масс. Предпочтительно применение керамических микросфер, так как у них выше температура плавления, а значит ниже теплопроводность. Также покрытия с такими микросферами обладают лучшей тягучестью в составе краски, что приводит к увеличению блеска и повышению отражательной способности покрытия и сбросу тепла в окружающую среду.

Также в качестве ТРП применяют оптические покрытия. ОП поддерживают баланс между получаемым и отражаемым излучением Солнца. В конструкциях ТТМ на поверхности кузова используются ОП класса «ИО», обеспечивая высокое отражение излучения Солнца. В роли наполнителей и пигментов в ОП применяют оксиды железа, углеродные материалы, соединения органической сажи, сульфата свинца, кремния, цинка. Одним из перспективных для создания ЛКП радиационно-охлаждающего типа является применение модифицирующей добавки оксида титана (не менее 3% по масс.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кох П. И. Климат и надежность машин. М.: Машиностроение, 1981. с. 160-175.
2. Ерухимович С. В. Исследование пластмасс в процессе старения. М.: ВНИИЭМ, 1976.; Диметов Х. Н. Расчет солнцезащитного тента строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины, 1976. № 12. С. 22–23.
3. Бородулин В.П., Соловьев Г.Г., Анализ методов и теории распространения света в дисперсных средах // Получение и поведение материалов в космосе. М.: Наука, 1978. с. 44-69.
4. Vijay Kumar, K. Balasubramanian. Progress update on failure mechanisms of advanced thermal barrier coatings: A review // Progress in Organic Coatings, 2016, vol. 90, pp. 54–82.
5. Яковлев А.Д., Яковлев С.А. Лакокрасочные материалы функционального назначения. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2016. 272 с.
6. A. Feuerstein, J. Knapp, T. Taylor, V. Ashary, A. Bolcavage, N. Hitchman , Technical and economical aspects of current thermal barrier coating systems for gas turbine engines by thermal spray and EB-PVD // Journal of Thermal Spray Technology, 2008, 17, pp. 199–213.
7. A.C. Karaoglanli, et al., Thermal shock and cycling behavior of thermal barrier coatings (TBCs) used in gas turbines, in: E. Benini (Ed.) // Progress in Gas Turbine Performance, In Tech, 2013, 268 p.
8. S.W. Myoung, et al., Effect of post heat treatment on thermal durability of thermal barrier coatings in thermal fatigue tests // Surface and Coatings Technology, 2013, 215, pp. 46–51.
9. Laurence W. McKeen. Application of Liquid Coatings // Fluorinated Coatings and Finishes Handbook (Second Edition), The Definitive User's Guide. A volume in Plastics Design Library, 2016, pp. 171–183.
10. Яковлев А.Д., Евтюков Н.З., Гольц Т.И. Порошковые краски с применением микросфер // Лакокрасочные материалы и их применение. М: Пэйнт-Медиа, 2011, с. 34-40.
11. Зинченко В.Ф., Романенко А.А., Ужегов В.М., Анашин В.С., Протопопов Г.А., Григорьевский А.В., Хасаншин Р.Х., Согоян А.В., Исследование эффективности использования лакокрасочных и терморегулирующих покрытий для защиты бортовой аппаратуры от воздействия ионизирующих излучений космического пространства // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2015, № 1, с. 34-38.
12. C. Tonon, C. Duvignacq, G. Teyssedre, M. Dinguirard, Degradation of the optical properties of ZnO-based thermal control coatings in simulated space environment // Journal of Physics D: Applied Physics, 2001, 34, pp. 124–130.
13. Гуревич М.М., Ицко Э.Ф., Середенко М.М., Оптические свойства лакокрасочных покрытий. С-Пб.: Профессия, 2010. 220с.

14. Исследование истираемости систем лакокрасочных покрытий, применяемых при ремонтном окрашивании технологических и транспортных машин АПК Пчельников А.В., Железнов А.А., Ханин Д.А., Хрянин В.Н. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Новосибирский государственный аграрный университет. 2014. С. 40-46.
15. Исследование адгезионной прочности систем лакокрасочных покрытий при ремонтном окрашивании машин в АПК Железнов А.А., Пчельников А.В., Колесников А.А., Хрянин В.Н. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Новосибирский государственный аграрный университет. 2014. С. 46-53.
16. Обоснование факторов, влияющих на интенсивность изнашивания лакокрасочного покрытия днища и шнека жатки зерноуборочного комбайна Пчельников А.В., Хрянин В.Н. Вестник ИрГСХА. 2017. № 81-2. С. 117-124.

УДК 631.3

РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОГНЕСТОЙКИХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМИ РИСКАМИ К ВОЗГОРАНИЮ

А.П. Пичугин, А.В. Пчельников, Д.В. Ромашев

Новосибирский государственный аграрный университет

Аннотация. В статье рассматривается актуальность применения огнестойких защитных покрытий для объектов сельскохозяйственного назначения с повышенными рисками к возгоранию. Обозначены основные параметры горения полимерных покрытий, изменяя которые возможно управлять их огнестойкостью. Проведен анализ, представлены сравнительные характеристики и выявлены наиболее эффективные модификаторы для повышения огнестойкости защитных покрытий.

Ключевые слова: сельское хозяйство, горение, лакокрасочное покрытие, огнестойкие покрытия.

Сельскохозяйственные объекты относятся к объектам повышенной пожароопасности. Сельскохозяйственное производство является опасным в пожарном отношении, так как связано с большим числом горючих материалов: сено, солома, созревший хлеб на корню, лес, древесина, топливно-смазочные материалы и т.д. Согласно статистике, в 2014 году на 153 тыс. пожаров 3200 единиц приходилось на сельскохозяйственные объекты (2%), в 2015 году на 146 тыс. – 3000 (2%), в 2016 году на 139 тыс. – 2800 (2%). Общий материальный ущерб составляет 4 млрд. 450 млн. рублей [10].

К наиболее пожароопасным сельскохозяйственным объектам относятся предприятия по хранению и переработки зерна, заводы по производству растительного сырья, сельскохозяйственная техника и др. [10].

За многие годы предприятия по хранению и переработки зерна вошли в число наиболее опасных отраслей промышленности страны. Основная причина в том, что продукция этой отрасли практически не поддается тушению водой и очень сильно горит. Для ее тушения необходимо применять пену.

Не стоит также забывать о пожароопасности и взрывоопасности заводов по производству растительного сырья. Пожары на данных предприятиях являются частым явлением.

Все это идет еще со времен СССР, когда потребности в переработке зерна, производстве муки и комбикормов были огромными, и поэтому старые и новые предприятия отрасли работали на полную нагрузку.

Статистика свидетельствует, что наибольшее количество взрывов имело место на комбикормовых производствах, в складах хранения растительного сырья и продуктов его переработки (45%). Не менее опасными оказались и элеваторы, на которых произошло 33% взрывов. Велика опасность мукомольного производства (22%) [4].

В связи с вышесказанным, решение вопросов, связанных со снижением риска возгораний транспортно-технологических машин и оборудования АПК является актуальным.

Цель работы. Обоснование выбора модифицирующих добавок для создания огнестойких лакокрасочных покрытий.

Одним из вариантов решения этого вопроса является применение лакокрасочных материалов с высокими показателями огнестойкости.

Теоретические основы.

Известно [11], при горении, полимерных лакокрасочных покрытий, выделяемое количество тепла (Q) и скорость распространения пламени (V_{rp}), определяются по следующим формулам:

$$Q = \rho_M * C_M * V_{rp} * h(T_{пов} - T_o) \quad 1)$$

$$V_{rp} = \frac{Q}{\rho_M} * C_M * h(T_{пов} - T_o) \quad 2)$$

где:

ρ_M , λ_M , C_M - плотность, теплопроводность и теплоемкость материала;

h - толщина слоя, мм;

T_o – температура окружающей среды, °С;

$T_{пов}$ – температура поверхности полимерного материала во время горения, °С.

Анализ формул (1) и (2) позволяет наметить некоторые пути снижения горючести полимерных материалов. Кроме снижения Q , как это уже рассматривалось в случае зажигания, Для создания огнезащитных покрытий можно воспользоваться снижением параметра Q и увеличением значений ρ_M , λ_M , C_M , что достигается введением наполнителей и технологическими приемами (например увеличением давления прессования). Также необходимо повысить значения $T_{пов}$ и T_o , что можно достигнуть модификацией и сшивкой лакокрасочных покрытий, а также ведением антипиренов. Данные формулы позволяют также объяснить расхождение результатов испытаний на горючесть по методу “Огневая труба” одного и того же материала различной толщины [11].

Природа большинства полимерных материалов такова, что их невозможно сделать полностью пожаробезопасными. Можно лишь снизить их способность к возгоранию и поддержанию горения. Для этой цели применяются добавки, затрудняющие воспламенение и снижающие скорость распространения пламени – антипирены.

Для получения огнезащитных лакокрасочных материалов антипирены добавляют либо на стадии производства в состав материала, либо непосредственно перед применением.

Антипирены обеспечивают защиту сразу в нескольких направлениях [1]:

1. Они снижают температуру плавления материалов, образуя плотную пленку, которая препятствует доступу кислорода.

2. При нагревании антипирены выделяют инертные газы и пары, затрудняющие распространение источника воспламенения.

3. Антипирены поглощают большое количество теплоты, что предохраняет пропитанные ими материалы от нагревания до температуры разложения.

4. Повышают углеобразование пропитанных ими материалов при их термическом разложении.

Одно из главных требований, предъявляемых к антипиренам, заключается в том, чтобы, снижая горючесть до требуемого уровня, они не ухудшали основные эксплуатационные свойства полимерного материала. При значительных концентрациях антипирена в составе лакокрасочного материала могут ухудшаться физико-механические и защитные свойства получаемого лакокрасочного покрытия, это необходимо учитывать, особенно для лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых в суровых условиях (условия Сибири и Крайнего Севера, покрытия технологических машин и др.) [7].

Антипирены делятся на 3 большие группы [6]:

- 1.Добавки, химически взаимодействующие с полимером;
- 2.Интумесцентные добавки;
- 3.Добавки, механически смешиваемые с полимером.

Добавки первой группы встраиваются в химическую сетку реактопластов и не ухудшают физико-механических свойств изделий. В основном применяют для полимерных изделий из реактопластов. Эти добавки используются на этапе производства изделия и требуют применения специального оборудования.

Добавки второй группы останавливают горение полимера на ранней стадии, т.е. на стадии его термического распада, сопровождающегося выделением горючих газообразных продуктов. Интумесцентный процесс заключается в комбинации коксообразования и вспенивания поверхности горящего полимера. Образующийся вспененный ячеистый коксовый слой, плотность которого уменьшается с ростом температуры, предохраняет горящий материал от воздействия теплового потока или пламени. Производство современных огнезащитных лакокрасочных материалов направленно на применении интумесцентных добавок. Однако, получение вспучивающихся лакокрасочных материалов осуществляется, как правило, с применением специального оборудования (химических реакторов), для этого с лакокрасочным материалом смешивается целый комплекс добавок, что способствует повышению трудоемкости приготовления составов.

Добавки третьей группы подразделяются на несколько типов: галогенсодержащие, фосфорсодержащие, гидроксиды металлов. Добавки третьей группы, для создания огнезащитных лакокрасочных материалов, возможно применять как в совокупности с другими добавками, так и самостоятельно. Механически смешиваемые добавки наиболее распространены, не требуют применение специального оборудования и многие из них доступны для применения с готовыми лакокрасочными материалами непосредственно перед их применением.

В процессе приготовления огнезащитного лакокрасочного материала могут использоваться сразу несколько добавок из разных групп. Однако к самостоятельным добавкам, с помощью которых с наименьшей трудоемкостью возможно приготовить огнезащитный состав относятся некоторые механически смешиваемые добавки. В связи с этим далее более подробно остановимся на механически смешиваемых добавках. Этот вид добавок является доступным для применения при ремонтном окрашивании на предприятиях технического сервиса различного уровня.

Галогенсодержащие и фосфорсодержащие добавки до начала 21 века являлись наиболее применяемыми антипиренами. Однако проведенные исследования ученых показали, что традиционные антипирены, такие как галоген-, фосфорсодержащие, обладают рядом негативных качеств. В первую очередь связанные с выделением токсичных веществ в окружающую среду при сгорании покрытий содержащих подобные антипирены. Проблемы окружающей среды и здоровья человека, возникающие при их использовании, приводят к поиску новых экологически-безопасных антипиренов для полимеров [1].

К наименее токсичным механически смешиваемым добавкам относятся: гидроксид алюминия, гидроксид магния, борат цинка, пентаэритрит, меламин, полифосфат аммония, полифосфат меламина и другие. Первые три из перечисленных используются как самостоятельные добавки, остальные используются как один из компонентов при создании вспучивающихся составов и самостоятельно не используются.

Далее рассмотрим самостоятельные механически смешиваемые добавки:

1) Гидроксид алюминия (гидроокись алюминия, химическая формула $\text{Al}(\text{OH})_3$) – это твердое кристаллическое вещество белого цвета с пассивными химическими свойствами. Соединение является нетоксичным антипиреном: обладает способностью дымоподавления, затрудняет воспламенение, снижает скорость распространения пламени. Применение гидроксида алюминия в качестве антипирена в последнее время особенно активно увеличивается в Европе, где экологические организации особенно влиятельны.

Гидроксид алюминия является альтернативным вариантом замены широко распространенных, неэкологичных галогенсодержащих антипиренов.

Механизм огнезащитного действия вещества основан на его способности разлагаться с поглощением большого объема тепла. При температуре 190–230 °С гидроксид алюминия начинает выделять кристаллизационную воду (до 34%) и снижает степень нагрева материалов в зоне возгорания. Образующийся газ уменьшает количество кислорода, подавляя горение и тление.

Основным отличием гидроксида алюминия от органических антипиренов заключается в образовании менее токсичных продуктов горения и нейтрализации кислых продуктов разложения полимеров. Образующаяся в результате разложения гидроксида алюминия вода, способствует разбавлению выделяющихся в процессе горения газов, снижая их концентрацию и значительно уменьшая дымовыделение.

Использование гидроксида алюминия позволяет снизить горючесть материала за счет увеличения доли негорючей минеральной составляющей.

Гидроксид алюминия можно использовать как в чистом виде, так и в комплексе с другими антипиренами. Используя смесь состоящую из нескольких антипиренов, можно получить эффект обладающий синергическим действием, когда совместное действие антипиренов усиливает действие каждого в отдельности [2].

2) Гидроксид магния. Аналогичен гидроксиду алюминию, представляет собой белый сухой кристаллический порошок. Антипирен на основе гидроксида магния не ядовит и нетоксичен по отношению к воздействию на организм человека. При необходимости модифицируется стеариновой кислотой для придания водоотталкивающих свойств.

Гидроксид магния, также как и гидроксид алюминия, вызывает большой интерес для применения его в качестве антипирена. Разложение гидроксида магния на оксид магния и воду начинается при 300-320°С, что в среднем, на 100°С выше, чем разложение гидроксида алюминия. Процесс сопровождается выделением кристаллизационной влаги (до 31 % по массе). Гидроксид магния эффективнее (на 15 - 20 %) поглощает тепло, чем гидроксид алюминия [5].

Вследствие того, что гидроксид алюминия является амфотерным веществом, он не взаимодействует с хлороводородом, выделяющимся при сгорании ПВХ. Гидроксид магния является слабым основанием и взаимодействует с хлороводородом, выделяющимся при термораспаде ПВХ. Экспериментально доказано, что дымовыделение ПВХ композиций, содержащих гидроксид магния, заметно ниже, чем композиций с гидроксидом алюминия. Это объясняется тем, что продукт взаимодействия гидроксида магния с хлороводородом - хлорид магния - катализирует процессы сшивки полиеновых цепей, образовавшихся после отщепления хлороводорода, что подавляет образование летучих ароматических углеводородов типа бензола и толуола, способствующих дымообразованию. Таким образом, если брать в совокупности влияние гидроксида алюминия и гидроксида магния на те характеристики, по которым оценивают качество кабельных композиций пониженной горючести, а именно величину кислородного индекса, количество выделяющегося хлороводорода и оптическую плотность дыма, то можно с уверенностью заключить, что гидроксид магния имеет значительное преимущество перед гидроксидом алюминия [8].

Материал максимально эффективен в системах допускающих высокое наполнение (до 40-70%) антипирена от массы, но чаще всего он вводится с другими антипиренами в количестве 10-15 %. Стоит отметить, что введение гидроксида магния в полимерную

матрицу в количестве, достаточном для замедления горения, которое составляет порядка 60 мас.%, и более, приводит к снижению механических свойств полимеров и технологичности процесса их получения [9].

Особый интерес представляет гидроксид магния, имеющий нанометрическую пластинчатую структуру. Помимо свойств антипирена и подавителя дыма при производстве пластиков нанометрический гидроксид магния позволяет повысить производительность оборудования и, самое главное, улучшить потребительские свойства пластиков, такие как огнестойкость (температуростойкость), ударопрочность, химическая стойкость, барьерные свойства (снижение газопроницаемости), то есть физико-механические свойства не ухудшаются, как при обычных наполнениях, а существенно улучшаются [5].

3) Борат цинка. Высокоэффективный синтетический антипирен на основе химического соединения бора и цинка.

Борат цинка выпускают в виде белого кристаллического порошка без запаха. Вещество является эффективным антипиреном, обладает дымоподавляющими и антикоррозийными свойствами. Борат цинка негорюч, взрывобезопасен. По степени воздействия на организм человека вещество относится к 3 классу опасности. При нагревании продукта до 280–300 °С начинает высвобождаться кристаллизационная вода. Затем оксиды цинка и бора под действием высокой температуры образуют прочное угольное покрытие, которое защищает материал от огня, подавляет тление [3].

Главным вектором в работе бората цинка в качестве антипирена служит его мгновенная способность к извлечению от оснований кристаллизованной воды в структуре, тем самым создавая защитную массу, препятствующую воздействию прямого огня на обработанный материал, а также контролируя и высвобождая повышенную температуру благодаря дисперсионной природе защитного покрытия. Борат цинка способен сохранять кристаллизованную воду в своей структуре при повышенной температуре, вплоть до 300 градусов по Цельсию. Одним из существенных плюсов бората цинка является способность к борьбе с участками, подверженными тлению, а также представляет собой препарат со способностью подавлять потенциальные риски возникновения искры. Препарат проявляет прекрасные свойства в борьбе с участками потенциального заражения бактериями природы fungi.

Борат цинка является одним из ключевых сырьевых ресурсов в лакокрасочном промышленном производстве, являясь компонентом в лаках и красках, создаваемых на водной основе, добавляя конечному продукту повышенные параметры в борьбе с деградационными элементами групп плесени и бактерий. Борат цинка не теряет своих свойств в условиях экстремальных температур и воздействия на обработанные поверхности в течении существенного отрезка времени, что позволяет проводить противопожарные мероприятия без

дополнительных рисков для персонала. Препараты бората цинка предпочтительны в промышленных циклах производства термопластовых соединений полиамидной группы, а так же широко используется как базисный элемент в изготовлении лакокрасочных продуктов с использованием растворителей органической природы. Борат цинка вкупе с фосфатными основаниями, участвует в процессе создания красок с высокими антикоррозийными показателями. Также при добавлении в лакокрасочный материал вещество снижает искрение поверхности, увеличивает адгезию покрытия к подложке, придает устойчивость к действию бактерий и плесени [3].

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики рассмотренных добавок.

Заключение. Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что наилучшим образом в качестве антипирена подходит добавка гидроксид магния, которая позволяет при сравнительно небольших затратах получать огнестойкое покрытие с высокими огнезащитными показателями. Если помимо огнестойкости существует необходимость в улучшении физико-механических и других свойств, тогда целесообразно использовать наноразмерные частицы гидроксида магния, либо борат цинка.

Применяя данные добавки в лакокрасочные материалы, возможно эффективно повысить огнестойкие свойства лакокрасочных покрытий для объектов сельскохозяйственного назначения с повышенными рисками к возгоранию.

Таблица 1

Сравнительные характеристики антипиренов.

№ п/п	Антипирен	Температура защиты, С°	Экологичность	Стоимость р/кг	Влияние на физ. мех. и другие свойства
1	Гидроксид алюминия	190-230	+	82	-
2	Гидроксид магния	300-320	+	65 160-170*	Ударопрочность*, химическая стойкость*, барьерные свойства (снижение газопроницаемости)*
3	Борат цинка	280-300	+	150	Повышение адгезии к подложке, Устойчивость к бактериям и плесени, Снижение искрения

* - в случае добавления наноразмерных частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипирены – основа огнезащиты. - Текст: электронный // zpo-obereg.ru: [сайт]. – URL: <https://zpo-obereg.ru/reviews/tekhnologii-naneseniya/antipireny-osnova-ognezashchity/> (дата обращения: 14.09.2020)
2. Антипирен (сырье для огнезащиты). - Текст: электронный // <https://binagroup.ru>: [сайт]. – URL: <https://binagroup.ru/katalog/syre-dlya-ognezashchity> (дата обращения: 14.09.2020)
3. Борат цинка. - Текст: электронный // <http://chem-portal.ru>: [сайт]. – URL: <http://chem-portal.ru/flame-retardants/boraty/borat-tsinka> (дата обращения: 14.09.2020)
4. Борисов Т. МЧС составило предварительную статистику пожаров / Т. Борисов. – Текст: электронный // Rg.ru: [сайт]. – 2012 – URL: <https://rg.ru/2012/11/19/statistika.html> (дата обращения: 14.09.2020).
5. Гидроксид алюминия или гидроксид магния лучше для антипирена. - Текст: электронный // <https://strouy.ru>: [сайт]. – URL: <https://strouy.ru/dom/remont/gidroksid-alyuminiya-ili-gidroksid-magniya-luchshe-dlya-antipirena.html> (дата обращения: 14.09.2020)
6. Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. М., «Химия», 1976, 160 с.
7. Лабутин А.Л. Антикоррозионные и герметизирующие материалы на основе СК. – Л.: Химия, 1982, 214 с.
8. Снижение пожарной опасности кабельных изделий с изоляцией и оболочками из ПВХ материалов / Смелков С.И., Рябиков А.И., Ильин В.И. – Текст непосредственный // Пожарная безопасность. - 2011. - № 2. – С 66-72.
9. Huaqiang Cao, He Zheng, Jiefu Yin и др. Mg(OH)₂ complex nanostructures with superhydrophobicity and flame retardant effects// Journal Phys. Chem. C. 2010, 114, с.17362-17368.
10. Исследование причин возгорания самоходной сельскохозяйственной техники. Материалы X региональной научно-практической конференции «Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования». Е.В. Агафонова, Т.В. Возженникова, Р.В. Конореев, К.Б. Маршируева. – 2019. - 10-13 с.

11. Андрианов Р.А. Разработка методов снижения горючести полимерных строительных материалов с сохранением основных эксплуатационных показателей: автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.23.05 / Андрианов Рудольф Алексеевич. – М., 1979. – 34 с.

12. Исследование истираемости систем лакокрасочных покрытий, применяемых при ремонтном окрашивании технологических и транспортных машин АПК. Пчельников А.В., Железнов А.А., Ханин Д.А., Хрянин В.Н. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Новосибирский государственный аграрный университет. 2014. С. 40-46.

13. Исследование адгезионной прочности модифицированных лакокрасочных покрытий Обсоков Д.В., Иванов М.А., Хрянин В.Н., Пчельников А.В. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Материалы X региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. 2018. С. 199-203.

14. Обоснование факторов, влияющих на интенсивность изнашивания лакокрасочного покрытия днища и шнека жатки зерноуборочного комбайна. Пчельников А.В., Хрянин В.Н. Вестник ИрГСХА. 2017. № 81-2. С. 117-124.

15. Исследование адгезионной прочности систем лакокрасочных покрытий при ремонтном окрашивании машин в АПК Железнов А.А., Пчельников А.В., Колесников А.А., Хрянин В.Н. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Новосибирский государственный аграрный университет. 2014. С. 46-53.

УДК 691.11:674.048

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ ПОЛА ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ДЕМПИРУЮЩИМ ЭФФЕКТОМ

М.А.Пичугин, С.Н.Хританков, В.Ф.Хританков, А.П.Пичугин

Новосибирск, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные свойства мелкозернистого бетона с демпфирующими добавками при введении микроармирующих волокон различного вида. Показано, что введение базальтовой фибры увеличивает прочность и жесткость бетона, что нежелательно при эксплуатации полов в помещениях для крупного рогатого скота. Полипропиленовые волокна придают мелкозернистому бетону повышенную упругость и материал растрескивается. При использовании хризотилцементных отходов не материал пола обладает демпфирующими свойствами и упругостью, не травмируя копыта и надкопытную ткань животных.

Ключевые слова: демпфирование, абразив, микроармирование, мелкозернистый бетон, надкопытная ткань

THE DEVELOPMENT OF THE FLOOR COATING OF FINE-GRAINED CONCRETE WITH DAMPING EFFECT

M. A. Pichugin, S. N. Khritankov, V. F. Khritankov, A. P. Pichugin
Novosibirsk, Russia

Annotation

The main properties of fine-grained concrete with damping additives when introducing micro-reinforcing fibers of various types are considered. It is shown that the introduction of basalt fiber increases the strength and rigidity of concrete, which is undesirable when using floors in rooms for cattle. Polypropylene fibers give the fine-grained concrete increased elasticity and the material cracks. When using chrysotile cement waste, the non-floor material has damping properties and elasticity, without injuring the hooves and hoof tissue of animals.

Keywords: damping, abrasive, micro-reinforcement, fine-grained concrete, hoof tissue

Получение материалов с плотной пористой структурой, высокой прочностью, с минимальными деформациями усадки, но в то же время с наибольшей эксплуатационной пригодностью и долговечностью в условиях животноводческих помещений – важнейшая задача при разработке технологических процессов при проектировании и изготовления бетонных полов. Чрезмерно жесткие конструкции пола вызывают ряд заболеваний надкопытных тканей крупного рогатого скота, поэтому рациональным направлением видится материал, обладающий демпфирующим эффектом, т.е. снижающий деформацию копыта животного на мягкую ткань и обеспечивающий упругую передачу деформации от копыта на материал пола.

Таблица 1

Рекомендации по применению микроармирующих волокон

Рекомендации по применению	Рекомендуемая длина, мм	Расход, кг/м ³	Рекомендации по введению в бетонную смесь
Промышленные полы, цементнобетонные дорожные покрытия	12, 20, 40	1-2 в зависимости от необходимых прочностных характеристик	Вместе с сухими компонентами
Стяжки, теплые полы	12, 20	0,9 до 1,5 в зависимости от необходимых прочностных характеристик	В сухую смесь перед добавлением воды
Сухие строительные смеси (наливные полы, штукатурки, гидроизоляция, ремонтные составы)	3, 6, 12	1-1,2 в зависимости от вида сухой строительной смеси и технологии производства	Вместе с остальными составляющими при дозировке
Тротуарная плитка	6, 12	0,6 кг до 1,5 в зависимости от прочностных характеристик технологии производства	В цементное молоко

Возможности получения мелкозернистых бетонов с демпфирующим эффектом с мелкокристаллической тонкопористой структурой, обеспечивающих требуемую упругость при достаточной долговечности, посвящена данная статья. Упруго-пластические свойства материала характеризуют его способность переносить без разрушений деформации,

возникающие вследствие взаимодействия материала с эксплуатационными нагрузками или с окружающей средой.

Образование плотных тонкопористых структур на песчаном заполнителе зависит от комплекса механических и физико-химических факторов. Особое значение играет соотношение цемента и заполнителя (песка), а также присутствие добавок направленного действия. В качестве демпфирующего компонента предложены отходы переработки отходов полиэтилена в виде дисперсных фракций размерами до 5 мм. Поскольку полиэтилен обладает низкой адгезионной способностью к цементному тесту и цементному камню, было предложено в состав композиции вводить полимерную добавку в виде поливинилацетатной эмульсии, обеспечивающей сопряжение полиэтиленового заполнителя с основным материалом. При испытании полученных образцов отмечены повышенная деформативность и упругость по сравнению с мелкозернистым бетоном без добавок. Однако при многократных попеременных нагружениях в пределах прилагаемой нагрузки до 0,5 расчетного (проектного) значения образцы растрескивались через 50-70 циклов. Данный факт предопределил необходимость введения в состав мелкозернистого бетона микроармирующих добавок в виде базальтового волокна (фибры), полипропиленовой фибры и отходов хризотилцементного производства, характеристики по применению которых указаны в таблице 1.

Таблица 2

Основные свойства мелкозернистых бетонов

Вид фибры	Расход, % от массы цемента	Тонко-молотая добавка, %	Прочность при сжатии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа		Общая усадка (при полном высыхании)	
				МПа	%	мм/м	%
Контрольный состав	-	- 5 10	22,2-26,7 23,5-27,2 21,4-27,3	1,54-1,68 1,51-1,65 1,55-1,62	100	1,27	100
Базальтовая	1 2	5 10	26,1-28,4 28,2-30,7	2,05-2,72 2,44-3,08	148 169	0,84 0,71	68 65
Полипропиленовое волокно	1 2	5 10	16,8-18,8 18,2-21,6	1,69-2,07 1,94-2,23	131 138	0,81 0,75	65 61
Хризотилцементные отходы	1 2	5 10	23,5-24,7 23,3-26,5	2,18-2,66 2,39-2,87	152 163	0,58 0,62	41 43

Кроме выше указанных рекомендаций по использованию дисперсных волокон в мелкозернистых бетонах для некоторых микроармирующих агентов имеются свои специфические способы введения добавок в смеси. Так, для базальтовых волокон предпочтительнее предварительно подготовить цементно-песчаную увлажненную массу, в которую вводится расчетное количество фибры. Причем, время перемешивания не должно превышать 40 с. Другие волокна могут быть введены первоначально в малое количество цементного молока, после чего совмещаются со всем объемом.

В целях обеспечения минимальной пористости мелкозернистого бетона в его состав вводились тонкомолотые минеральные добавки, получаемые при дроблении горных пород, в

количестве до 10%. В таблице 2 представлены основные прочностные и деформативные показатели мелкозернистых бетонов, из которых следует, что при введении отходов хризотилцемента материалы обладают минимальной усадкой по сравнению с контрольными образцами.

Как видно из табл. 2, изменение содержания микрозаполнителя в составе смеси приводит к увеличению прочностных показателей, а также способствует снижению усадочных деформаций. Это, по видимому. Должно сопровождаться изменением удельной поверхности пор при соответствующем уменьшении их среднего диаметра. Поверхность тонкомолотого минерального заполнителя способствует протеканию процесса выкристаллизовывания гидратных новообразование и приводит, к развитию плотного, сростка для зарождения новой гидратной фазы, возникающей в процессе твердения цементной бетонной смеси. песка. Частицы тонкодисперсного кварцевого песка могут даже при обычных температурах химически реагировать с известковой составляющей, образуя в процессе твердения кальциевый гидросиликат.

Рассматривая технологические свойства полученного материала, было установлено, что при введении базальтовой фибры увеличивается не только прочность бетона, но и значительно повышается его жесткость, что противопоказано для использования в помещениях для крупного рогатого скота. Применение полипропиленовых волокон придает мелкозернистому бетону повышенную упругость, вследствие чего материал при многократном попеременном воздействии быстро растрескивается. В случае с использованием хризотилцементных отходов не отмечено негативных проявлений: материал проявляет демпфирующие свойства при точечном воздействии, не является абразивом и обладает достаточной упругостью, не травмируя копыта и надкопытную ткань животных. Таким образом, данные составы были рекомендованы для дальнейшего изучения и последующего внедрения на животноводческом комплексе ООО «Альянс» Куйбышевского района Новосибирской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пичугин А.П., Батин М.О., Кудряшов А.Ю., Митина Л.А. Деревянные полы повышенной стойкости для производственных сельскохозяйственных зданий. Монография. /Новосибирск, НГАУ, 2017. – 142 с.
2. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е. Строительные материалы из растительного сырья. Монография./Новосибирск, НГАУ, 2020. – 207 с.
3. Пименов Е.Г. Физико-химические исследования процессов снижения открытой пористости крупного заполнителя бетонов / Пименов Е.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С. // Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 10-11. - С.22-31.
4. Пичугин А.П. Роль микроармирования в обеспечении эксплуатационных характеристик крупнопористого легкого бетона /Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г. Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 12. - С.5-15.

РОЛЬ НАНОДОБАВОК В ПОВЫШЕНИИ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.В.Пчельников, Е.А.Волобой, А.П.Пичугин, В.В.Банул

Новосибирск, Россия

Аннотация. Исследованы различные наноразмерные добавки: углеродные нанотрубки, кремнезоль и оксид висмута, позволяющие придавать покрытию не только повышенную адгезию, но и обеспечивать термическую защиту, что для некоторых эксплуатационных условий является очень важным свойством. Показано, что предварительная обработка металлических поверхностей активирующими композициями на основе кремнезоль и УНТ увеличивает адгезию к наносимым покрытиям на основе лакокрасочных составов. При исследовании процесса полимеризации лакокрасочной композиции в присутствии наноразмерных добавок установлено их положительное влияние, выражающееся в каталитическом воздействии на структурное преобразование покрытия на металлических поверхностях. Модификации полимерного покрытия способствует повышению микротвердости и прочности

Ключевые слова: наноразмерные добавки, нанотрубки, кремнезоль, оксид висмута, металлическая поверхность, лакокрасочные покрытия

THE ROLE OF NANOADDITIVES IN INCREASING THE ADHESIVE STRENGTH OF PROTECTIVE COATINGS

A.V. Pchel'nikov, E. A. Voloboy, A. P. Pichugin, V. V. Banul

Novosibirsk, Russia

Annotation

Various nanoscale additives have been studied: carbon nanotubes, silica, and bismuth oxide, which make it possible to give the coating not only increased adhesion, but also provide thermal protection, which is a very important property for some operating conditions. It is shown that the pretreatment of metal surfaces with activating compositions based on silica and CNT increases the adhesion to the applied coatings based on paint and varnish compositions. When studying the process of polymerization of paint and varnish compositions in the presence of nanoscale additives, their positive effect was established, which is expressed in the catalytic effect on the structural transformation of the coating on metal surfaces. Modification of the polymer coating increases the microhardness and strength

Keywords: nanoscale additives, nanotubes, silica, bismuth oxide, metal surface, paint and varnish coatings

Разработка защитных композиций повышенной адгезионной и коррозионной стойкости для нанесения на металлические поверхности машин и оборудование сельскохозяйственного назначения для обеспечения их длительной эксплуатации представляет собой важную народнохозяйственную проблему. Для её решения необходимо решить целый ряд различных задач.

Прежде всего, требуется определить закономерности формирования структуры защитных полимерных покрытий с различными способами предварительной подготовки металлических поверхностей в условиях воздействия коррозионных сред. На основе комплекса лабораторных и натурных исследований и испытаний экспериментально определить зависимости физико-механических и физико-химических свойств с коррозионной стойкостью защитных композиций. Проведенная таким образом оценка для контактных поверхностей «лакокрасочная полимерная защита – сталь» разработать способы повышения адгезии путем предварительной обработки композициями с наноразмерными

составляющими. Это в свою очередь будет способствовать выработке научно-обоснованных решений по рецептурно-технологическим параметрам.

Известно, что при обработке наноразмерными составами металлических поверхностей резко увеличиваются адгезионные показатели лакокрасочных композиций, что хорошо коррелирует с повышенной коррозионной стойкостью и общей долговечностью покрытий. В качестве наноразмерных добавок и компонентов могут быть использованы кремнезоль (КЗ), углеродные нанотрубки (УНТ), оксид висмут (ОВ) и другие порошки, пасты или растворы.

В наших опытах были опробованы углеродные нанотрубки и оксид висмута, позволяющие придавать покрытию не только повышенную адгезию, но и обеспечивать термическую защиту, что для некоторых эксплуатационных условий является очень важным свойством. Так, например, в мукомольном производстве, где из-за мучной пыли на горячем оборудовании может происходить самовоспламенение. Пре перегреве картера двигателя внутреннего сгорания или электродвигателя может наблюдаться повышенный износ трущихся деталей и выход из строя двигателя.

В качестве наноразмерных модификаторов поверхности защищаемых металлических элементов и конструкций использовались многослойные углеродные нанотрубки (УНТ) марки С-100 фирмы Arkema и кремнезоль производства ОАО «КазХимНИИ». Кроме того, используемая в наших опытах акриловая эмаль АК-1301 модифицировалась «Оксид Висмута» (Bi_2O_3) и пастой из углеродных нанотрубок. УНТ и кремнезоль достаточно хорошо описаны в технической и научной литературе и не требуют подробного описания. А вот использование висмута пока носит только экспериментальный характер. Висмут устойчив до 1750°C и обладает плохой теплопроводностью, что говорит о том, что при модификации ЛКМ возможно получать теплоизоляционные и огнестойкие покрытия. Кроме того, висмут способен расширяться в объеме при затвердевании, что будет способствовать снижению усадочных напряжений и, как следствие, уменьшению трещинообразования. Важной характеристикой висмута являются его противорадиационные качества, что может придать лакокрасочным материалам еще одного замечательного свойства. Оксид висмута хорошо сочетается с акриловыми полимерами.

Таблица. Результаты определения микротвердости модифицированного покрытия

п/п	№	Содержание Bi_2O_3 в ЛКМ, %	Сре дняя толщина, мкм	Твер дость по Шору	Адгез ионная прочность, МПа
1	0		50-52	63-65	2,5-2,7
2	0,5		52-54	62-67	2,7-2,9
3	1		61-65	81-88	3,0-3,2
4	2,5		62-66	76-82	3,1-3,4
5	5		67-72	86-94	3,3-3,6
6	7,5		68-70	67-75	3,2-3,4
7	10		73-75	69-73	3,1-3,3

Показано, что предварительная обработка металлических поверхностей активирующими композициями на основе кремнезоля и УНТ увеличивает адгезию к наносимым покрытиям на основе лакокрасочных составов. При исследовании процесса

полимеризации лакокрасочной композиции в присутствии наноразмерных добавок установлено их положительное влияние, выражающееся в каталитическом воздействии на структурное преобразование покрытия на металлических поверхностях. Модификации полимерного покрытия способствует повышению микротвердости и прочности

Доказано, что в результате предварительной обработки защищаемой поверхности активирующими композициями кремнезоля и УНТ наблюдается модифицирование покрытия и обеспечивается увеличение плотности и снижение усадки защитных композиций, что обеспечивает их совместную работу.

Анализируя результаты таблицы, можно констатировать, что твердость покрытия повышается при добавлении оксида висмута более 0,5 % до 5% по массе с 64 до 90 единиц. При достижении концентрации более 5% твердость покрытия начинает снижаться. Нахождение точки экстремума при достижении концентрации оксида висмута 5% вероятно говорит о том, что в начале взаимодействия с акриловой эмалью оксид висмута выступает в качестве катализатора, ускоряя процессы сушки, вызывает более быстрое и полное высыхание покрытия. Однако при достижении концентрации более 5% происходит перенасыщение состава эффект катализатора исчезает.

Отмечено, что при добавлении оксида висмута увеличивается толщина получаемого лакокрасочного покрытия, что вызвано эффектом способности к расширению частиц висмута при затвердевании. При добавлении в качестве модификатора оксида висмута более 1% (5% и 10%) характер отрыва когезионный-100%, что говорит о значительно превышающем показателе адгезии всего покрытия к основанию.

Таким образом, при добавлении оксида висмута в эмаль АК-1301 выявлено, что адгезионная прочность повышается. Наибольшая адгезия наблюдается при концентрации 5% при когезионном характере разрыва при испытании. Повышение адгезионной прочности при добавлении оксида висмута вероятно связано со способностью висмута расширяться при затвердевании. В этом случае, возможно имеет место, эффект более полного заполнения микронеровностей основания на которое наносилось покрытие при затвердевании ЛКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Волобой Е.А. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования.// Известия вузов «Строительство». – 2020. – С.81-90.
2. <https://himya.ru/vismuta-oksidy.html>
3. <https://works.doklad.ru/view/nFCz47scSAk/all.html>

УДК 614.844.49:678

К ВОПРОСУ О СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОЗГОРАНИИ

А.В.Пчельников, А.П.Пичугин, Е.А.Волобой
Новосибирск, Россия

Аннотация. Горючесть различных материалов, конструкций и оборудования в большей степени зависит от вида используемых лакокрасочных защитных покрытий и наличия антипиренов. Существующие методы оценки горючести могут быть уточнены с учетом введения новых добавок направленного действия. С этой целью сконструирована установка, обеспечивающая достоверные показатели сопротивляемости материалов огневому воздействию. Получаемые на предлагаемой установке показатели создают возможность практически использовать существующие формулы для подтверждения теоретических расчетов и обеспечения условий по невозгораемости.

Ключевые слова: огневое воздействие, горючесть, антипирены, лакокрасочные защитные покрытия

ON THE QUESTION OF THE RESISTANCE OF PROTECTIVE POLYMER-CONTAINING COATINGS IN CASE OF FIRE

A.V. Pchelnikov, A. P. Pichugin, E. A. Voloboy

Novosibirsk, Russia

Annotation

The flammability of various materials, structures and equipment depends more on the type of paint and varnish protective coatings used and the presence of flame retardants. The existing methods for assessing the flammability can be refined to take into account the introduction of new targeted additives. For this purpose, an installation has been designed that provides reliable indicators of the resistance of materials to fire. The indicators obtained at the proposed installation make it possible to practically use existing formulas to confirm theoretical calculations and provide conditions for non-combustibility.

Keywords: fire exposure, flammability, flame retardants, paint and varnish protective coatings

При ремонте сельскохозяйственных машин и оборудования дополнительным преимуществом, помимо основных эксплуатационных свойств защитных покрытий, будет продукция с дополнительными свойствами, обеспечивающими несгораемость или невоспламеняемость. При этом важнейшими факторами остаются экология и безопасность человека и материальных ценностей. Последнее время набирает повышенную значимость для потребителя продукция, отвечающая требованиям пожарной безопасности к материалам. Острой проблемой является подбор качественных, экологически безопасных антипиренов, защищающих от огня.

Классические лакокрасочные покрытия, применяемые в сельском хозяйстве имеют температуру воспламенения и вспышки в районе 100-150 °С. Основными причинами пожаров в сельской местности являются следующие [1-3]:

1. пожары, происходящие вследствие неосторожного обращения с открытым огнем; курение в неотведенных местах вблизи горючих или легко воспламеняющихся материалов, складов ГСМ, складов зерна, сена, соломы и т.д.;
2. пожары, происходящие вследствие неисправностей в работе электрических сетей или в результате нарушения правил безопасности при их эксплуатации;
3. пожары, происходящие вследствие нарушений правил безопасности при эксплуатации нагревательных и осветительных приборов;
4. пожары при производстве строительно-монтажных и ремонтных работ, в т.ч. сельскохозяйственных машин вследствие возгорания от искр, вылетающих из выхлопных труб двигателей транспортных средств, не оборудованных искрогасителями;
5. пожары при возгорании соломистой массы, попавшей на нагретый коллектор двигателя, при утечке горючесмазочных материалов через неплотности в топливных системах и других неисправностях в работе машин и механизмов;
6. пожары, вызванные нарушением правил безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации зданий, технологического оборудования, отопительных, вентиляционных и энергетических систем.

Большинство из перечисленных причин носят организационный характер, однако, если использовать негорючие материалы и проводить регулярно защитные мероприятия, можно существенно снизить риски возгорания и предотвратить материальные потери от пожаров. Одним из реальных способов снижению горючести металлических конструкций и технологического оборудования является использование лакокрасочных композиций с добавками направленного действия, обеспечивающими сопротивляемость огневым воздействиям

На современном рынке лакокрасочных материалов существуют десятки различных добавок и композиций для внедрения в производство. Огнезащитная обработка материалов различной структуры позволяет предотвратить возникновение огня и снизить потери от пожаров и возгораний. При этом, особое внимание требуется уделять материалам и изделиям из древесины, тканей, ковровых и напольных покрытий, отделочных материалов на основе бумаги (обои, картон), утеплителя (из синтетических и природных веществ) и др.

Не менее важным в этом списке являются металлическое оборудование, машины и механизмы, окрашенные различными антикоррозионными покрытиями, т.к. при их возгорании ущерб может составлять многие миллионы рублей. Особо остро вопрос стоит в зданиях по переработке сельскохозяйственной продукции, таких как мукомольное и комбикормовое производство, переработка пуха и перьев птиц, масложировые и прочие предприятия, работающие с самовоспламеняемым или возгораемым сырьем. Используемые в них машины, станки и оборудование должно быть обязательно обработано противопожарными составами.

На длительность пожара влияют удельная масса и вид горючей загрузки, скорость выгорания сгораемых материалов, интенсивность введения огнетушащих средств. Длительность огневого воздействия на оборудование и строительные конструкции здания определяется по стадии интенсивного горения. Начальную стадию и период затухания пожара в расчет не принимают, так как прогрев сечений отдельных элементов конструкций и оборудования на начальной и конечной стадиях пожара не существен. Время развития пожара $T_{раз}$ зависит от площади поверхности горения в помещении $F_{гор}$ и линейной скорости распространения пламени $U_{л}$:

$$T_{раз} = \sqrt{\frac{F_{гор}}{0,25\pi^2 l}}$$

Площадь пожара измеряют после остывания конструкций.

Скорость горения материалов изменяется в зависимости от физико-химических свойств и состояния материала, условий подвода теплоты и газообмена. Ниже приведена скорость распространения пламени в зданиях различного назначения.

Объект, конструкция, материал	Скорость горения, м/мин
Административные здания.....	1 – 1,5
Жилые дома (здания III степени огнестойкости).....	0,5 – 0,8
Волокнистые материалы (во взрыхленном состоянии).....	5 – 8
Древесина в штабелях	2 - 5
Резинотехнические изделия.....	1 – 1,5
Бумаги в рулонах.....	0,2 – 0,3
Круглый лес в штабелях.....	0,6 – 1
Сгораемые покрытия больших площадей.....	1,7 – 3,2
Холодильники и технологическое оборудование.....	0,5 – 0,7
Цеха ремонта машин и тракторов.....	1 - 2
Животноводческие здания.....	2 - 4
Деревообрабатывающие производства.....	0,3 – 1,2

Условия газообмена во время горения (коэффициент избытка воздуха), температура, коэффициент полноты сгорания, массовая скорость выгорания материалов при пожаре зависят от технических и технологических особенностей объектов, от свойств и характеристик материалов, а также от качества защитных противопожарных мероприятий.

При пожарах максимальная температура может достигать 800 - 1000°C, коэффициентами избытка воздуха 0,8 – 1,2, коэффициентами полноты сгорания 1 – 0,6 массовая скорость выгорания U_m , кг/(м²·ч), материала может изменяться незначительно ($\pm 2\%$). Таким образом, после охвата горением всей площади помещения свободно развивающийся пожар продолжается в течение времени

$$T_{ф} = k_{ср} / U_m.$$

Коэффициент полноты выгорания k_c горючих материалов определяют как отношение массы выгоревшей части материалов к массе горючей загрузки накануне пожара ($0 \leq k_c \leq 1$). Под горючей загрузкой понимают массу горючих материалов, приведенных к условному виду горючего материала с теплотой сгорания $Q_{ус} = 16,5$ МДж/кг. Удельная масса ρ_0 , кг/м², горючей загрузки равна частному от деления общей массы горючих материалов и конструкций, находящихся в объеме помещения, на площадь пола.

При неравномерном расположении горючей загрузки в местах, где она превышает в 1,5 раза среднюю величину, удельное ее значение получают делением массы горючего материала, на площадь, им занимаемую. Классификация удельной горючей загрузки в помещениях приведена в табл.

Скорости сгорания некоторых твердых веществ и жидкостей принимают по табл.

При исследовании пожара нужно учитывать, что длительность свободного горения в здании в целом больше, чем в отдельных его помещениях. Распространение фронта пламени из одного помещения в другое при разделении их огнестойкими конструкциями происходит через 2- 30 мин после начала пожара. Если внутренние двери помещений открыты, пожар распространяется в смежные отсеки через 5 – 10 мин.

Длительность огневого воздействия на конструкции покрытия (перекрытия вышележащего этажа) увеличивается при обрушении междуэтажных перекрытий. В этом случае масса горючей загрузки нескольких этажей суммируется. Длительность огневого воздействия при этом возрастает пропорционально массе выгоревших горючих материалов.

Для проверки горючести лакокрасочных защитных покрытий авторами была сконструирована установка, обеспечивающая достоверные показатели сопротивляемости материалов огневому воздействию. Все получаемые на предлагаемой установке показатели создают возможность практически использовать данную формулу для предварительного теоретического расчета теплового баланса и обеспечения условий по невозгораемости защитного полимерсодержащего покрытия в широком диапазоне антипиренов и добавок направленного действия.

Таким образом, проводя испытания на предлагаемой установке по определению результатов сопротивляемости огневому воздействию защитных полимерсодержащих покрытий (горючести, температуры воспламенения, потере массы и др.) с добавками направленного действия создаются благоприятные условия для анализа состояния и оценки материалов на разных стадиях тепловых и огневых факторов, что отвечает требованиям действующих нормативных актов. В свою очередь это способствует выработке рекомендаций по созданию защитных покрытий, способных противостоять пожарам и действию высоких температурных факторов в эксплуатационных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Волобой Е.А. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования/ Известия вузов «Строительство», 2020 №8, С. 81-90.
2. Определение показателей пожарной опасности лакокрасочных и огнезащитных покрытий. *Методическое пособие*. Москва 2017
3. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов (монография) М., Стройиздат, -1978. – 225с.

ПРОБКОВОЕ ПОКРЫТИЕ СВОИМИ РУКАМИ

**М.А.Раков, Л.Н.Корнева, М.И.Корнев, С.Севостьянова, К.Разуванова, А.Шомин,
А.Захаров**

г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Наличие на рынке строительных материалов большого количества современных видов шумо- и звукоизоляции делает наш выбор не всегда очевидным, а проблема утилизации отходов промышленности и экологии является приоритетной задачей государства на ближайшие 10 лет, в качестве темы работы нами выбрано изготовление аналога пробкового покрытия из опилок древесины.

Ключевые слова: звуко- и шумоизоляционные материалы, отходы древесины, физические характеристики образцов

Abstract. The presence of a large number of modern types of noise and sound insulation on the construction materials market makes our choice not always obvious, and the problem of recycling industrial and environmental waste is a priority of the state for the next 10 years, we have chosen the production of an analogue of cork coating from wood sawdust as the topic of work.

Keywords: sound and noise insulation materials, wood waste, physical characteristics of samples

Звуко-шумоизоляция помещения в современном мире - очень актуальная проблема. Изучив ассортимент звуко-шумоизоляционных материалов на рынке товаров России, проведя ценовой мониторинг, мы пришли к выводу, что в продаже отсутствуют качественные и не дорогие шумоизоляционные материалы. Из вышесказанного следует цель нашего проекта - получение опытным путём аналогов эффективных звуко-шумоизоляционных материалов из недорогих и экологичных материалов, либо создание таковых материалов с использованием новых технологий, менее затратных. Рассматривая имеющиеся звуко-шумоизоляционные материалы, мы в первую очередь, обратили внимание на то, что они разделяются на два вида - для наружного и внутреннего использования (табл.1,2). Некоторые материалы являются универсальными.

Таблица 1.

Материалы для наружного использования

Название материала	Срок эксплуатации (лет)	Минимальная толщина (мм)	Устойчивость к влаге	Устойчивость к высокой температуре (до+ °C)	Физический эффект	Цена Руб/кв.метр
Изопласт (полиэфирная основа и битум) <i>Для теплоизоляции фундаментов и цокольных помещений</i>	30	4	+	больше 100, температура горения или воспламенения битума	Звукоотражение	194
Минеральная вата (волоконистые материалы, которые получают из металлических шлаков и расплавленных горных пород)	25-40	30	-	1000	Звукопоглощение	40

Универсальный материал для различных целей

Шумоизол (резина)	20	5	+	85	Звукоотражение	320
<i>Резиновые материалы сложно произвести в лабораторных условиях, отсутствует высокотехнологичное оборудование</i>				температура горения резины		
Экструзионный пенополистирол	40+	10	+	75+	Звукопоглощение	240
<i>Для теплоизоляции фундаментов</i>						

Таблица 2.

Название		Материалы для внутреннего использования					Цена
		Срок эксплуатации (лет)	Минимальная толщина (мм)	Устойчивость к влаге	Устойчивость к высокой температуре (до+ ⁰ С)	Физический эффект	Руб/кв. метр
МаксФорте SoundPRO	(Алюмосиликатное волокно, прошивается нитками как одеяло)	50	20	+	550, может быть и выше, так как минеральное волокно	Звукопоглощение	1190
<i>Современный материал, один из самых эффективных и выгодных</i>							
Пробка (кора дерева)		5	2	+	180, температура горения дерева	Звукопоглощение	500
<i>Внутреннее напольное или настенное покрытие различной толщины и плотности</i>							
Гипсокартон	(два слоя плотного картона, а между гипсовый сердечник)	25	12,5	+	100, температура выше, так как он не горюч	Звукоотражение	140
<i>Внутренние стены или перегородки, внутри которых можно размещать минеральную вату</i>							
ЗИПС (минеральные и мягкие базальтовые слои волокон и твердый слой фанеры)		50	40	-	180, более высокая с применением гипсового листа,	Звукопоглощение	1230

Большие стеновой материал, дополнительно позволяет создать шумо- и звукоизоляцию

взамен фанеры

Крафт	1	40	+	180	Звукоотражение	145
(бумага с самой высокой прочностью)						
Декоративное покрытие требующее специальной обработки						
Звукоизол (защитная полимерная плёнка)	30	5	+	85, горение или возгорание полимеров	Внутри (звукопоглощение)	1100
Полимерные материалы сложно произвести в лабораторных условиях, отсутствует высокотехнологичное оборудование						

На данном этапе нашей работы мы хотели бы, в первую очередь, уделить внимание такому звуко-шумоизоляционному материалу, как пробка, помимо экологической чистоты, к плюсам использования пробкового покрытия относятся отличные звукоизоляционные качества, гипоаллергенность, способность отталкивать пыль, защита от появления конденсата и плесени, теплоизоляционные свойства.

Технология изготовления пробкового покрытия такова: кору измельчают до уровня крошки. Готовая пробковая масса смешивается со связующими компонентами (их концентрация не превышает 3 %). Смесью заполняют формы и оправляют под пресс, где происходит ее сжатие до 60 % от стартового объема. Готовая пробковая плита после этого помещается в печь, где при высокой температуре происходят процессы, подобные вулканизации. Некоторые заводы используют технологии, для которых характерно параллельное сжатие на прессе и подогрев. В таких случаях вообще можно отказаться от связующих компонентов, поскольку их роль выполняет смола, которая выделяется из коры в процессе повышения температуры и давления.



Рисунок 1 - Прессовая мини-установка

Учитывая технологию изготовления пробкового дерева, мы попытаемся воссоздать Сибирское пробковое покрытие. Для этого у нас есть очень мелкие опилки сосновых деревьев, в составе которых есть размельчённая кора. Мы обратились к инженеру-конструктору, который спроектировал и создал для нас прессовочную мини-установку (рис.1), позволяющую параллельно сжимать и нагревать материал.

Прессовочная установка состоит из следующих частей:

1. Ручной винтовой пресс
2. Нагревательные пластины (верхняя, нижняя)
3. Блок управления (плавная регулировка температуры от 0 до 250 градусов)

Следующим этапом работы стало изготовление образцов опилкобетона с использованием различных связующих веществ, таких как портландцемент ЦЕМ II 32,5 Б – А/Ш, жидкое стекло, клей ПВА, Мастер клей. Образцы изготавливались в форме размером 16×16×4 см. Составы и физические свойства, полученных материалов представлены в табл. 3.

Таблица 3

	Характеристики полученных образцов опилкобетона				
	Жидкое стекло	Клей ПВА	Портландцемент	Мастер Клей	Мастер клей + спирт
Опилки, г	300	300	300	300	300
Связующее, г	125	175	300	80	75/75
Вода, мл	125	175	400	300	250
Масса смеси в форме, г	520	580	725	505	555
Масса готового образца, г	336	234	446	272	284
Размеры фактические, см (Д×Ш×В)	15,6×13,8×3,8	15,9×13,8×3,6	15,8×13,7×3,7	16×14×4	16×13,8×3,8
ρ, кг/м ³	411	300	557	304	339

Из полученных результатов для дальнейшей работы в прессовой мини-установке был выбран состав №5, состоящий из опилок, Мастер Клея и спирта. Установка работала в следующем режиме: время выдержки 15 мин в интервале температур от 130 до 200 градусов, толщина изделия составляла от 9 до 12 мм. Внешний вид образцов представлен на рис.2.



Рисунок 2 - Внешний вид полученных образцов

Следующим этапом работы наша команда видит изготовление опытной партии образцов и испытание на звуко- и шумопоглощение для определения области их применения.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МАССООТДАЧИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЖИДКОСТНОЙ КОРРОЗИИ БЕТОНОВ ПЕРВОГО ВИДА

В.Е. Румянцева, И.В. Красильников, К.Б. Строкин, С.А. Гундин, И.А. Красильникова

Ивановский государственный политехнический университет

Сахалинский государственный университет

Владимирский государственный университет

В работе приведена математическая модель процесса коррозии первого вида цементных бетонов в безразмерных переменных. Получены решения задачи, описывающие безразмерные концентрации переносимого компонента по толщине бетона и в жидкой фазе, позволяющие рассчитывать динамику и кинетику процесса. Представлены результаты численного эксперимента по расчету кинетики и динамики массообменных процессов при жидкостной коррозии бетонов первого вида с разными значениями числа Био.

Ключевые слова: математическое моделирование; массоперенос; коррозия; цементный бетон; концентрация; динамика и кинетика процесса.

V.E. Rumyantseva¹, I.V. Krasilnikov¹, K.B. Strokin², I.A. Krasilnikova³, S.A. Gundin²

¹Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, Russian Federation

¹Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, Russian Federation

²Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

³Vladimir State Polytechnical University, Vladimir, Russian Federation

ANALYSIS OF INFLUENCE ON Koeffitsinta MASS TRANSFER INTENSITY MASS EXCHANGE PROCESSES AT LIQUID CORROSION OF FIRST CONCRETE

The work presents the dimensionless mathematical model of the corrosion process of the first type in cement concrete. Solutions have been obtained, describing the dimensionless concentration of portable component through concrete thickness and in the liquid phase, allowing to calculate the dynamics and kinetics of the process. The results of a numerical experiment on calculating the kinetics and dynamics of mass transfer processes during liquid corrosion of concrete of the first type with different values of the Biot number are presented.

Keywords: mathematical modeling; mass transfer; corrosion; cement concrete; concentration; the dynamics and kinetics of the process.

За 150 лет исследований процессов коррозионной деструкции бетона, учеными накоплен большой объем научных знаний о коррозионных процессах, протекающих в бетонах и железобетонах: установлены и исследованы принципиальные схемы химических реакций; даны математические описания некоторых коррозионных процессов; создана система нормативных документов по борьбе с коррозией в строительном комплексе [1-4]. Накопленный большой практический материал позволяет создавать математические модели, с помощью которых возможно с требуемой точностью рассчитать долговечность бетонных и железобетонных конструкций.

Ранее нашей научной школой уже были опубликованы работы по теоретическому исследованию процессов массопереноса при коррозии первого вида цементных бетонов, описывающих процесс на начальной стадии [5], учитывающих наличие внутреннего источника «свободного гидроксида кальция» [6], а также с учетом нелинейности кривой равновесия [7]. Все эти модели основаны на теории массопереноса академика Лыкова А.В. [8]

Цель настоящей публикации – показать в общем виде как влияет на процесс массопереноса характеристика жидкой фазы – коэффициент массоотдачи. В данном случае подразумевается, что целевой компонент, которым в процессах коррозии цементных бетонов является «свободный гидроксид кальция» с поверхности железобетонного изделия снимается жидкой средой в результате конвективного массопереноса.

Для упрощения понимания математической модели приведем задачу массопереноса в безразмерном виде с критериями подобия:

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2}, \quad 0 \leq \bar{x} \leq 1, \quad Fo_m > 0, \quad (1)$$

$$Z(\bar{x}, Fo_m)|_{Fo_m=0} = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0} \Big|_{\tau=0} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=0} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{1}{Bi_m} \cdot \frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = [Z_p(Fo_m) - Z(\bar{x}, Fo_m)] \Big|_{\bar{x}=1}, \quad (4)$$

$$-\frac{\partial Z_{ж}(Fo_m)}{\partial Fo_m} = K_m \cdot \frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=1}, \quad (5)$$

$$K_m = \frac{m \cdot S \cdot \delta}{V_{ж}} \cdot \frac{\rho_{бет}}{\rho_{ж}} = \frac{m \cdot G_{бет}}{G_{ж}}, \quad (6)$$

где $Fo_m = k\tau/\delta^2$ - массообменный критерий Фурье; $Bi_m = \beta \delta / k$ - массообменный критерий Био; $Z(\bar{x}, Fo_m)$ - распределение безразмерной концентрации переносимого компонента по толщине бетона; $Z_p(Fo_m)$ - безразмерная равновесная концентрация на поверхности твердого тела; $Z_{ж}(Fo_m)$ - безразмерная концентрация переносимого компонента в жидкой фазе; $C(x, \tau)$ – распределение концентрации «свободного СаО» в бетоне в момент времени τ в произвольной точке с координатой x , кг СаО/кг бетона; $C_p(\tau)$ - равновесная концентрация на поверхности твердого тела, кг СаО/кг бетона; k – коэффициент массопроводности в твёрдой фазе, м²/с; β - коэффициент массоотдачи в жидкой среде, м/с; δ - толщина стенки конструкции, м; x - координата, м; τ - время, с; $\rho_{бет}$, $\rho_{ж}$ - плотности бетона и жидкости, соответственно, кг/м³; m – константа Генри, кг жидкости/кг бетона; K_m - коэффициент, учитывающий характеристики фаз; $G_{бет}$ - масса бетонного резервуара, кг; $G_{ж}$ - масса жидкости в резервуаре, кг.

Решение системы уравнений велось методом преобразования Лапласа, т.е. исходная система уравнений отображена в область комплексных чисел, в которых было получено решение системы, а затем произведен перевод решения в область оригиналов. В результате были получены следующие решения, описывающие кинетику и динамику процесса[9]:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{Z_p(0)}{K_m + 1} - 2Bi_m \cdot Z_p(0) \times \quad (7)$$

$$\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n \cdot \cos(\mu_n \bar{x}) \cdot \exp(-\mu_n^2 Fo_m)}{[\mu_n^2(3 + Bi_m) - Bi_m \cdot K_m] \cdot \sin \mu_n + \mu_n [\mu_n^2 - Bi_m(K_m + 2)] \cdot \cos \mu_n},$$

$$Z_{ж}(Fo_m) = Z_{ж}(0) + 2Bi_m \cdot K_m \cdot Z_p(0) \times \quad (8)$$

$$\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n \cdot [\exp(-\mu_n^2 Fo_m) - 1]}{[\mu_n^2(3 + Bi_m) - Bi_m \cdot K_m] \cdot \sin \mu_n + \mu_n [\mu_n^2 - Bi_m(K_m + 2)] \cdot \cos \mu_n},$$

$$tg \mu_m = \frac{\mu_m \cdot Bi_m}{\mu_m^2 - Bi_m \cdot K_m} \quad (9)$$

Отметим, что в безразмерном виде мерой интенсивности внешней массоотдачи является массообменный критерий Био Bi_m . Для анализа влияния критерия Био на твердую фазу приведем уравнения для определения средней безразмерной концентрации переносимого компонента в твердой фазе:

$$Z_{cp}(Fo_m) = \int_0^1 Z(\bar{x}, Fo_m) d\bar{x} = \frac{Z_p(0)}{K_m + 1} - 2Bi_m Z_p(0) \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{tg\mu_m \cdot \exp(-\mu_m^2 Fo_m)}{[\mu_m^2(3 + Bi_m) - Bi_m \cdot K_m] \cdot tg\mu_m + \mu_m [\mu_m^2 - Bi_m(K_m + 2)]} \right]. \quad (10)$$

Некоторые результаты численного эксперимента по выражениям 7 и 10 приведены на рисунке 1. Анализ построенных зависимостей показывает, что при $Bi_m \leq 0,5$ изменение концентраций близко к линейному, а также то, что, изменение числа Био в 2-3 раза, при его малых значениях гораздо больше увеличивает градиент концентраций, чем такое же увеличение при больших значениях критерия Био.

Рассчитанные в ходе численного эксперимента графические зависимости согласуются с физическими представлениями о процессе коррозионного массопереноса по механизму первого вида [10,11].

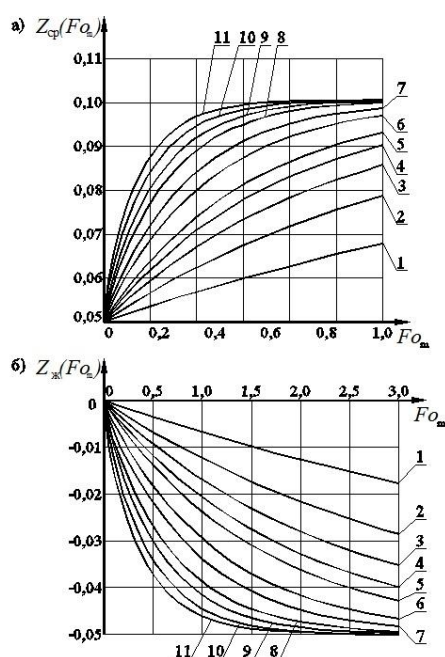


Рисунок 1- Изменение средней безразмерной концентраций «свободного гидроксида кальция» Z_{cp} (а) и концентрации гидроксида кальция в жидкой фазе $Z_{ж}$ (б) от числа Фурье при $K_m = 0,5$; $Z_p(Fo_m) = 0,15$, с разными значениями числа Био Bi_m : 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,4; 5-0,5; 6-0,75; 7-1; 8-1,5; 9-2; 10-3; 11-5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 342 с.
2. Полак А.Ф. Математическая модель процесса коррозии бетона в жидких средах // Бетон и железобетон. 1988. №3. С.30-31.
3. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Физико-математическая модель процессов коррозии арматуры железобетонных конструкций в агрессивных средах. Теория. М.: Научный мир, 2011. 56 с.
4. Розенталь Н.К. Новый Свод правил по защите строительных конструкций от коррозии // Материалы I Германо-Российской конференции «Инновационные технологии бетона». М.: МГСУ, 2012. С. 6-8.
5. Федосов, С.В. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С.В. Федосов, В.Е. Румянцев, И.В. Красильников, Н.С. Касьяненко // Строительные материалы. - 2013. - № 6. с. 44-47.

6. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С., Красильников И.В. Моделирование массопереноса в процессах коррозии первого вида цементных бетонов в системе «жидкость - резервуар» при наличии внутреннего источника массы в твердой фазе / Вестник гражданских инженеров. 2013. № 2 (37). С. 65-70.
7. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S. Physical and mathematical modelling of the mass transfer process in heterogeneous systems under corrosion destruction of reinforced concrete structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012039
8. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах / А.В. Лыков. М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.
9. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Логинова С.А. Исследование влияния процессов массопереноса на надежность и долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 52-57.
10. Федосов С.В. Математическое моделирование кольматации пор бетона при коррозии / Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Коновалова В.С., Евсяков А.С. // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 7 (83). С. 198-207.
11. Федосов С.В. Оценка влияния параметров массопереноса на кинетику и динамику процессов, протекающих при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов / Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 1. С. 14-22.

УДК 748

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА ВИТРАЖНЫХ ПАННО ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.С. Свинцицкая, К.А. Лапунова

*Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Строительный комплекс потребляет более половины энергии, вырабатываемой в стране. Поэтому он требует применения на практике энергоэффективных и эстетичных строительных изделий. Стеклопакет является тем энергосберегающим изделием в составе здания, которое регулирует количество световой энергии внутри помещений и влияет на объем теплопотерь в зимнее время. До настоящего времени именно эта функция для стеклопакета являлась основной.

Ключевые слова: витраж, стеклопакет, фьюзинг, панно, эстетика, стекло.

The construction complex consumes more than half of the energy produced in the country. Therefore, it requires the use of energy-efficient and aesthetic construction products in practice. A double-glazed window is an energy-saving product in a building that regulates the amount of light energy inside the premises and affects the amount of heat loss in winter. Until now, this function was the main one for a double-glazed window.

Keywords: stained glass, fusing, panel, aesthetics, glass.

Современный мир диктует правило – одной из основных отраслей экономики является строительство. В связи с этим существует потребность не только в качественных строительных материалах, но и в их архитектурно-художественной выразительности.

Бурное строительство уникальных зданий и сооружений различного назначения в Ростовской области приобретает моду установки витражных панелей. Одним из наиболее ярких примеров является появление в городе торгово-развлекательного центра «Парк», где и использовались эти панели (рис. 1).



Рисунок 1 - ТРЦ Парк, микрорайон Северный, г. Ростов-на-Дону.

Применение витражных панно с целью повышения архитектурно-художественной свойств как самого стеклопакета, так и здания в целом, может стать одним из путей развития витражного остекления.

Но стоит отметить и то, что большей популярностью среди потребителей имеет трехкамерный стеклопакет. Данный вид остекления имеет широкие дизайнерские возможности благодаря внутренней витражной вставке. Производители предлагают ряд технологий для реализации этой идеи.

Основной является технология Тиффани (рис. 2). Данная технология позволяет вписать витраж в одно- двух- и трехкамерный стеклопакет [1]. Однако витражные панно данного типа имеют ряд недостатков:

- из-за особенностей производства, конструкция является неустойчивой к воздействию вибраций, что приводит к разрушению;
- витраж, находящийся в стеклопакете, понижает теплоизоляционные свойства последнего.

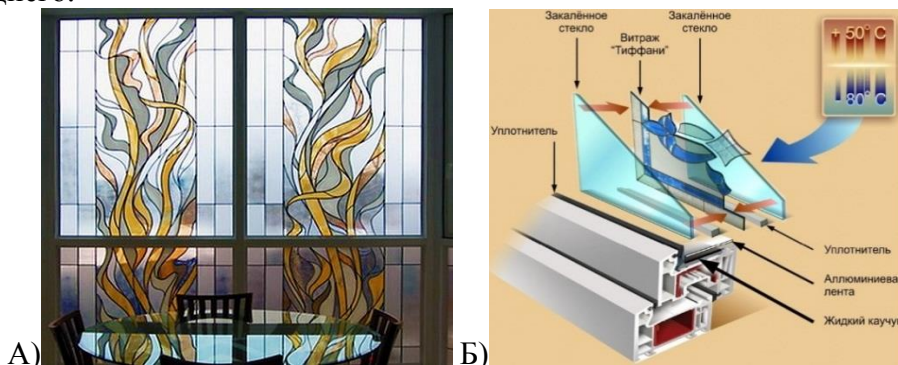


Рисунок 2 - Стеклопакет с применением витражей в стиле Тиффани:

(а – пример готовой конструкции; б – схема строения стеклопакета с применением витража)

Использование пленочного витража в конструкции стеклопакета более эффективно. Данный вид витража имеет преимущество в таких показателях, как простота и высокая скорость производства, и что немаловажно, отличается значительной дешевизной. Однако, срок годности подобных витражей не продолжителен. Краска под воздействием солнечных лучей теряет свою насыщенность, что приводит к потере эстетичности. Применение в строительном остеклении витражных панно в технологии фьюзинг позволяет получать высококачественные изделия с технической и эстетической точки зрения [1].

Современное научное знание в области стекла дает возможность контролировать процессы, происходящие при высокотермальной обработке стекла разного химического состава. А массовое введение их в строительство придаст зданиям региональный колорит и индивидуальность экстерьера. Каждый город и его районы наполнены собственной эстетикой, сформированной историческими, религиозными, национальными и культурными событиями [2]. Особенности эстетических составляющих Ростова-на-Дону можно классифицировать по схеме, предложенной на рисунке 3 [3].

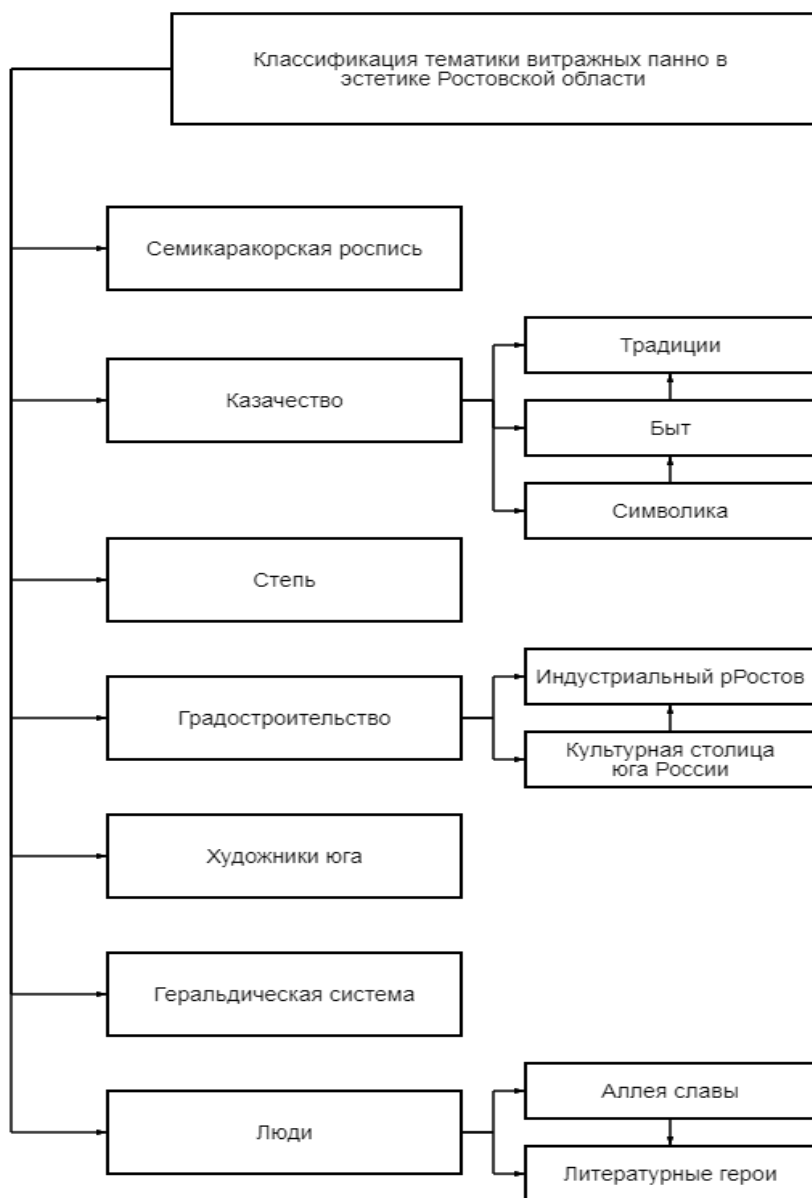


Рис. 3. Классификация тематики витражных панно в соответствии с эстетическими составляющими г. Ростова-на-Дону.

Для производителя витражных панно в конструкции стеклопакетов по технологии фьюзинг появляются следующие задачи:

- 1) При создании эскиза помнить, что основная функция окна – освещение помещения. Из-за чего стоит использовать фрагментальное заполнение витража;
- 2) При подборе стекла учитываются его уникальные особенности. Некоторые стекла в процессе обжига изменяют цвет, а у других появляется черный контур. Лучше всего использовать стекла System 96, к которым уже есть аннотация использования.
- 3) После обжига обязательно проверять работу на наличие внутренних напряжений. Такой дефект образуется во время термальной обработки стекла. С повышением температуры межмолекулярные связи в стекле разрушаются. Так как стекло материал аморфный, разрушаются они не равномерно. В процессе остывания они собираются вновь, но если время остывания подобрано неверно, то эти связи не восстановятся, что может привести с течением времени к трещине и, как следствие, к полному разрушению панно [4].

Реализация данной идеи позволит расширить возможности применения витражного искусства в синтезе с архитектурой и строительством и привести к повышению рекреационного ресурса на территории области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свинцицкая В.С. Карханин Д.Е. Шарипов А.В. Способы подсветки витража//*Технология художественной обработки материалов*. Сборник материалов XXI Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск, 2018. С. 524-527.
2. Роланд-Гольст, Генриетта Этюды о социалистической эстетике. О жизни, красоте и искусстве: *монография*. Москва, 2013. 163 с.
3. Вареник, В. И. Ростовъ и ростовцы: путешествие в 1913 год / Василий Вареник. Ростов-на-Дону: АКРА, 2005 . 250 с.
4. Бартенев Г.М. К методу расчета режима обжига / *Стекло и керамика*. Москва. 1961. С. 26-27.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИНТЕЗА ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

В.П.Селяев, О.В.Лияскин, Е.Л.Кечуткина

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Республика Мордовия.

Аннотация: Разработана технология синтеза диоксида кремния, основанная на использовании опал-кристаллитовых пород – диатомита. Предложены два способа получения золя кремниевой кислоты. Представлены комплексные исследования и анализ свойств синтезированного диоксида кремния. В результате проведенных исследований установлено, что на основе диатомитов можно получать синтетический микрокремнезем высокой «чистоты» с содержанием диоксида кремния выше 99%, размером частиц 20-200 нм, насыпной плотностью ниже 200 кг/м³. В результате экспериментальных исследований, проведенных с применением современных приборов и оборудования, проанализирован элементный состав, структура диатомитов и структурные особенности поверхности частиц

дисперсных систем, получены аналитические зависимости выхода диоксида кремния. Экспериментально установлено влияние различных видов и соотношения зернистых и волокнистых наполнителей вакуумных изоляционных панелей (ВИП) на изменение коэффициента теплопроводности в пределах от 0,004 до 0,02 Вт/(м*°K).

Ключевые слова: оксид кремния, диатомит, микрокремнезём, теплопроводность, вакуумная теплоизоляция, энергоэффективность.

Abstract: A technology for the synthesis of silicon dioxide based on the use of opal-cristobalite rocks of diatomite has been developed. Two methods are proposed for obtaining a silica sol. Comprehensive studies and analysis of the properties of synthesized silicon dioxide are presented. As a result of the research, it was found that on the basis of diatomites, it is possible to obtain synthetic microsilica of high "purity" with a silicon dioxide content of more than 99%, a particle size of 20-200 nm, a bulk density of less than 200 kg / m³. As a result of experimental studies carried out with the use of modern devices and equipment, the elemental composition, structure of diatomites and structural features of the surface of particles of dispersed systems have been analyzed, analytical dependences of the yield of silicon dioxide have been obtained. The influence of various types and ratio of granular and fibrous fillers of vacuum insulating panels (VIP) on the change in the thermal conductivity coefficient in the range from 0.004 to 0.02 W / (m * ° K) has been experimentally established.

Key words: silicon oxide, diatomite, microsilica, thermal conductivity, vacuum thermal insulation, energy efficiency.

Среди наиболее перспективных направлений в создание высокоэффективных теплоизоляционных материалов выделяются разработки, связанные с вакуумной теплоизоляцией.

С целью обеспечения высоких теплозащитных свойств ВИП была разработана технология модификации (синтеза) диатомитов, обеспечивающая получение зернистого наполнителя, отвечающего по (чистоте) содержанию оксидов кремния, крупности частиц (зерен нанометрового размера), пористости, топографии поверхности, морфологии требованиям, сформированным при анализе моделей теплопроводности зернистых систем. Оптимизационным моделированием были установлены основные характеристики зернистой системы, соответствие которым обеспечивает максимальное препятствие продвижению тепловых потоков.

Проведены комплексные исследования химического, элементного состава, гранулометрии, топографии и фрактографии поверхности, морфологии частиц диатомита. Установлено, что в диатомитовой породе содержится более 60% аморфного кремнезема, который представлен минералом опал. В природе минерал опал формируется путем вымывания оксида кремния из песчаников щелочными водами, прошедшими через толщину карбонатных пород. Образуется раствор кремниевой кислоты, из которого кислыми водами осаждаются частицы аморфного диоксид кремния. По мере увеличения концентрации частиц образуются линейные кластеры, которые затем сворачиваются в глобулярные и формируются ассоциативные кластеры. Таким образом формируется структура опала с высокой пористостью и содержанием воды 10-20%. Этот процесс формирования структуры опала был принят за основу при разработке методов синтеза диоксида кремния из диатомитовых пород [1-4].

Предложено три способа модификации (синтеза) диоксида кремния из диатомита:

В первом случае диатомитовую породу измельчали и затем сплавляли со щелочными плавнями. Сплав выщелачивали раствором соляной кислоты. Из полученного золь методом осаждения выделяли частицы диоксида кремния [8].

Во втором случае порошок диатомита выдерживали в растворе едкого натра. Полученный золь кремниевой кислоты коагулировали и раствором соляной кислоты осаждали диоксид кремния [9].

В третьем способе осаждение коагулянта производили раствором азотной кислоты.

При реализации этих технологий в конечном продукте и техногенных отходах остаются ионы хлора. Поэтому предлагается более экологически чистый третий способ, который отличался от второго тем, что осаждение диоксида кремния производилось раствором азотной кислоты. Оптимальные технологические режимы синтеза диоксида кремния находились методами планирования экстремальных экспериментов. Синтез диоксида кремния из опал – кристобалитовых биоморфных пород первым способом показал неудовлетворительные результаты, так как выход продукта низкий (до 60 %), крупность частиц находилась в микрометровом диапазоне. Второй и третий способы синтеза показали близкие результаты: Выход аморфного кремнезема превышал 80 %; элементный состав незначительно был лучше при втором способе синтеза; крупность частиц находилась в нанометровом диапазоне. Оптимизационными методами получены математические модели, позволяющие задавать технологические параметры синтеза для получения порошка микрокремнезема с содержанием диоксида кремния до 99,97%, размером частиц 4 – 60 нм, фрактальной размерностью рассеивающих неоднородностей 2,2 -2,6, насыпная плотность до 200 кг/м³ и пористость до 96%.

Экспериментально установлено, что выход аморфного кремнезема зависит от температуры, концентрации щелочи, соотношения Ж:Т, вида кислоты осаждения. Экспериментально показано, что наибольший выход SiO₂ происходит при температуре прокаливании диатомита 500 °С, концентрации щелочи 30 %, Ж:Т=14:1 и соответствует 85,2 % при осаждении HCl и 87,2 % - HNO₃ [5,6].

Установлено, что синтезу частиц нанометровой размерности соответствуют технологические режимы: концентрации щелочи 10 % и температура 50 °С.

Реализация D – оптимального плана Кифера – Коно позволила после обработки экспериментальных данных получить уравнения регрессии, устанавливающие зависимость содержания и крупности частиц диоксид кремния от концентрации и температуры электролита при синтезе аморфного микрокремнезема из опал – кристобалитовых биоморфных пород. Анализ строения структуры и свойств природных минералов показал, что наиболее соответствует предъявляемым требованиям минерал опал, аморфная структура которого состоит из частиц оксида кремния размером 2-40 нм, объединенных в глобуловидные и ассоциативные кластеры. Наиболее характерным представителем опаловых пород является диатомит, месторождения которого имеются в Республике Мордовия. Разработано два способа синтеза микрокремнезема из диатомитовых пород, которые позволяют получать порошки с содержанием оксида кремния до 99.97%, что значительно выше по сравнению с известными производителями: Новокузнецк (90,4%), Стерлитамак (97,1%), ФРГ (99,77%).

Разработаны модели зависимости конвективного, кондуктивного и лучистого механизмов переноса тепла от фазового, химического, элементного состава частиц, морфологии, топографии их поверхности. Были рассмотрены феноменологические, топологические, полиструктурные, газокинетические, перколяционные и фрактальные модели переноса тепла в зернистых системах, что позволило установить оптимальные пределы изменения параметров зернистой системы, обеспечивающие минимальные значения теплопроводности. Содержание оксида кремния должно быть в пределах 90-99%, размер частиц – 4 – 40 нм, пористость зернистой системы 90 – 96 %, критерий Кнудсена около 3; фрактальная размерность 2,2 ÷ 2,6. Экспериментально установлено влияние различных видов и соотношения зернистых и волокнистых наполнителей вакуумных изоляционных панелей (ВИП) на изменение коэффициента теплопроводности в пределах от 0,004 до 0,02 Вт/(м*°К). Рассмотрено влияние климатических параметров: температуры, влажности, давления и солнечной радиации на изменение сопротивления теплопередачи вакуумных панелей. Показаны возможности использования полученных панелей в качестве теплоизоляционного материала в ограждающих конструкциях жилых зданий и термоконтейнеров [5, 6].

Определены механические характеристики ВИП: прочность при сжатии; модули деформации и при сжатии и сдвиге; диаграммы деформирования «напряжение – деформации». Исследовано влияние: количественного соотношения дисперсных и волокнистых наполнителей; размера и фрактальности поверхности частиц наполнителя на модуль деформации; прочность вакуумных изоляционных панелей. Установлено, что аналитическое описание диаграммы деформирования ВИП при сжатии возможно функцией Г.Б. Бюльфингера. Полученные данные дают возможность производить прочностные и деформационные расчеты изделий с применением ВИП [7].

Проведены климатические испытания ВИП. Предложена модель для расчета вакуумных изоляционных панелей на долговечность с учетом изменения влажности, давления [11].

Сравнительный анализ свойств ВИП, изготовленных различными производителями, показал, что разработанные панели не уступают по эксплуатационным характеристикам подобным изделиям, произведенным в США, Германии, Китае. Экспериментально установлено, что по качественным показателям полученные зернистые наполнители на основе аморфного микрокремнезема превосходят зарубежные аналоги и значительно экономичнее, энергоэффективнее в производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита : монография / В.П. Селяев, В.А. Неверов, А.К. Осипов [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – 220 с.
2. Вакуумированная теплоизоляция на основе дисперсных порошков микрокремнезема: монография / В.П. Селяев, С.М. Анпилов, Е.Л. Кечуткина, Н.Н. Киселев, О.В. Лияскин. – Тольятти: Изд-во ИССТЭ, 2020.– 164 с.
3. Синтез нанопорошков аморфного диоксида кремния для строительной отрасли / В.П. Селяев, В.А. Неверов, Р.Е. Нурлыбаев, П.В. Селяев, Е.Л. Кечуткина, О.В. Лияскин // Строительные материалы. –2019. –№11.–С.15-25.
4. Оптимизация технологических режимов синтеза диоксида кремния с размером частиц в нанометровом диапазоне / В. П. Селяев, Р. Е. Нурылбаев, И. Б. Сангулова, О. В. Лияскин, Е. Л. Кечуткина // Вестник ПГТУ. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019.– №4.– С.102-110.
5. Принципы создания порошковой теплоизоляции на основе микрокремнезема / П.В. Селяев, Н.Н. Киселев, О.В. Лияскин // Региональная архитектура и строительство. – 2016.– № 3 (28). – С. 55-59.
6. Возможность создания теплоизоляционных материалов на основе наноструктурированного микрокремнезема из диатомита / В.П. Селяев, А.К. Осипов, Л.И. Куприяшкина, А.А. Седова, Е.Л. Кечуткина, Л.А. Супонина // Наука: 21 век. – 2011. –№3 (15). – С. 76-86.
7. Механические характеристики вакуумных теплоизоляционных панелей: диаграммы деформирования, прочность, модули деформаций / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, Е.Л. Кечуткина, О.В. Лияскин // Строительные материалы. –2020. –№10.–С.44-51.
8. Способ получения тонкодисперсного аморфного микрокремнезема : патент 2526454 Рос. Федерация, МПК С 01 В33/18. / В.П. Селяев, А.К. Осипов, А.А. Седова, Л.И. Куприяшкина; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева».– № 2013104054/05; заявл. 30.01.13; опубл. 20.08.14, Бюл. № 23.– 7 с.
9. Способ получения тонкодисперсного аморфного микрокремнезема золь-гель методом: патент N2625114 Рос. Федерация; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». – № 2016115956; опубл. 11.07.2017, Бюл. № 20. – 9с.

10. Термоконтейнер: патент N197942 Рос. Федерация; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». – № 2020111703; опубл. 08.06.2020, Бюл. № 16. – 9с.
11. Климатическая стойкость вакуумных панелей / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, Н.Н. Киселев // Известия высших учебных заведений. Строительство. –2018. –№10 (718).– С.22-29.

РЕОЛОГИЯ И ВОДООТДЕЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Г. Скрипкюнас, Е.А. Карпова

Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса

Аннотация. Настоящее исследование представляет результаты влияния комплексных добавок на основе пластификаторов и углеродных нанотрубок (УНТ) на реологические свойства и водоотделение цементного теста. В качестве пластифицирующих добавок применялись добавки на основе лигносульфоната (ЛС), сульфированного нафталин формальдегида (НФ) и эфира поликарбоксилата (ПКЭ). Реологическое исследование проводилось посредством ротационного реометра с коаксиальными цилиндрами. Водоотделение модифицированных цементных тест изучалось в процессе их отстаивания в течение 2 часов. На основе обобщения данных реологического исследования и водоотделения, было установлено, что 0.015% УНТ позволяет сохранять пластифицирующий эффект цементного теста при заметном снижении коэффициента водоотделения. Наблюдаемый эффект действия комплексной добавки может быть перспективен с точки зрения ее применения для бетонов с высокой подвижностью и самоуплотняющихся бетонов.

Ключевые слова: цементное тесто, реология, предельное напряжение, пластическая вязкость, водоотделение

Модификация цементных систем углеродными нанотрубками (УНТ) продолжает оставаться актуальной в строительном материаловедении. Однако большая часть работ посвящена методам получения устойчивых суспензий УНТ и их влияния на механические свойства цементных композитов [1-3]. В то же самое время, количество работ посвященных изучению реологических и технологических свойств наномодифицированных цементных систем незначительно [4-6]. Изучение реологических свойств цементных систем является неотъемлемой составляющей в процессе управления свойствами бетонов с высокой подвижностью, самоуплотняющихся бетонов и бетонов для 3D печати [7, 8]. Реологические свойства могут быть с достаточно высокой точностью описаны посредством моделей Шведова-Бингама и Гершеля-Балкли [9,10]. Ряд исследований демонстрируют корреляцию между реологическими параметрами смесей и их технологическими свойствами, которая может быть эффективна для прогнозирования свойств бетонов в незатвердевшем и затвердевшем состоянии [11, 12]. Среди технологических параметров важно отметить водоотделение цементного теста, которое должно быть учтено при приготовлении смесей с высокой подвижностью, самоуплотняющимися свойствами, при производстве бетонов с высокими требованиями к качеству поверхности, в технологии 3D бетонирования и т.д. Учет параметра водоотделения может оказать существенный эффект на управлении качеством бетонов в затвердевшем состоянии [13-15].

Цель данного исследования состоит в выявлении эффекта комплексной добавки на основе пластифицирующих добавок различного генезиса и УНТ на реологические свойства и водоотделение цементного теста.

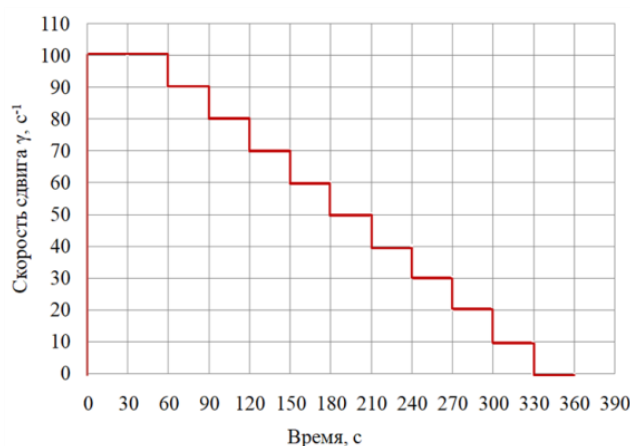
В ходе исследования в качестве вяжущего применялся портландцемент без минеральных добавок марки ЦЕМ I 42,5Б с минералогическим составом клинкера: C_3S – 57.9%, C_2S – 15.6%; C_3A – 7.5% C_4AF – 11.9%. Тонкость помола цемента по Блейну (EN 196-6) составила $3552 \text{ cm}^2/\text{g}$, водопотребность – 26,6%. Химический состав цемента и его физико-механические характеристики более подробно представлены в работе [16]. Для пластификации цементного теста применялись пластифицирующие добавки на основе лигносульфоната (ЛС), сульфированного нафталин формальдегида (НФ) и эфира поликарбоксилата (ПКЭ), свойства которых представлены более подробно в публикации [6]. Наномодификация производилась посредством суспензии многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) "Graphistrength CW 2-45", представляющих из себя гранулы черного цвета, состоящие из 45% МУНТ с диаметром порядка 15-20 нм, длины 0,1-10 мкм и 55% карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), применяемой в качестве диспергирующего агента при приготовлении суспензии. Гомогенизация суспензии производилась ультразвуковым методом в течение 6 мин. Более подробно методика приготовления суспензии представлена в работе [16].

Для проведения реологического теста был использован ротационный реометр Rheotest RN 4.1 с коаксиальными цилиндрами при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Скорость сдвига изменялась по специально подобранному режиму от 100 до $0,1 \text{ c}^{-1}$. Цементное тесто для реологического исследования готовилось на основе 200 г цемента при водоцементном отношении (В/Ц) – 0.25. МУНТ суспензия, приготовленная в сочетании с пластифицирующей добавкой, вводилась в цементное тесто в качестве воды затворения. Дозировка МУНТ варьировалась от 0 до 0,24 % от массы цемента, дозировка пластификатора для всех цементных паст была равной 1 % от массы цемента. Перемешивание цементного теста производилось по стандартной методике в течение 3 мин. Реологический тест проводился для цементного теста после 5, 60 и 120 мин с момента перемешивания. Каждый раз перед помещением цементного теста в измерительный цилиндр реометра, оно перемешивалось вручную в течение 30 с. Внешний вид ротационного реометра, схема измерительного цилиндра, режим изменения скорости сдвига в ходе реологического теста представлены на Рис. 1. Сборный цилиндр с муфтой (1) заполняется цементным тестом (3) и закрепляется. Вращающийся цилиндрический ротор (2), находящийся внутри измерительного цилиндра (1), с зазором между ними около 1,5 мм, вращается во время испытания. Происходит внутреннее трение слоев цементного теста между измерительным цилиндром (1) и ротором цилиндра (2). Данные испытаний записываются при повороте ротора вращающегося цилиндра за счет его соединения с измерительной шкалой прибора.

a)



b)



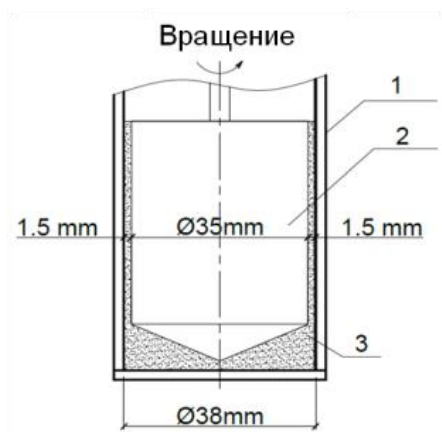


Рисунок 1 - Внешний вид реометра Rheotest RN 4.1 (a); схема измерительного цилиндра (b): 1– сборный цилиндр с муфтой; 2 – вращающийся цилиндрический ротор; 3 – цементное тесто; режим изменения скорости сдвига (c).

В ходе реологического теста были получены экспериментальные кривые течения (зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига). Аппроксимация данных кривых производилась посредством модели Гершеля-Балкли, которая выражается уравнением:

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \dot{\gamma}^n,$$

где τ – напряжение сдвига, Па; τ_0 – предельное напряжение цементного теста, Па; μ – пластическая вязкость, Па·с; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с^{-1} ; n – показатель псевдопластичности: тиксотропии или дилатансии, при $n < 1$ или $n > 1$, соответственно.

Оценка водоотделения цементного теста осуществлялась по следующей методике. Для проведения теста готовилось цементное тесто с соотношением между цементом и водой затворения 1:1, которое помещалось в пластиковый контейнер объемом 200 мл. Компоненты цементного теста перемешивались вручную в течение 4 мин. Пластиковый контейнер оставался стоять без каких-либо дополнительных механических воздействий со стороны в течение 2 часов. После данного времени отделившаяся вода собиралась шприцом с поверхности осадившегося цемента. Коэффициент водоотделения высчитывался согласно уравнению:

$$K = \frac{a-b}{a} \cdot 100\%,$$

где K – коэффициент водоотделения; a – начальный объем цементного теста; b – объем осадившегося цемента.

Рисунок 2 представляет кривые течения для цементного теста, модифицированного комплексной добавкой на основе пластификатора и МУНТ в количестве от 0 до 0,24% от массы цемента. Аппроксимация полученных кривых по модели Гершеля-Балкли позволила получить реологические параметры цементного теста после 5, 60 и 120 мин с момента перемешивания смеси.

На Рис. 3 представлены реологические параметры (предельное напряжение и пластическая вязкость) для изучаемых цементных тест, модифицированных пластификаторами и МУНТ в различных дозировках от 0 до 0,24 % от массы цемента, после 5 мин с момента перемешивания. Из полученных данных можно проследить тенденцию МУНТ увеличивать вязкость и предельное напряжение при увеличении их дозировки. МУНТ не меняют значительно показатель псевдопластичности смеси. Изучение изменения реологических свойств в течение 120 мин с момента перемешивания [6] продемонстрировало незначительное увеличение реологических параметров (предельного напряжения, пластической вязкости) в случае применения ЛС и НФ, а также незначительное снижение данных параметров во времени (до 10%) в случае применения ПКЭ [6].

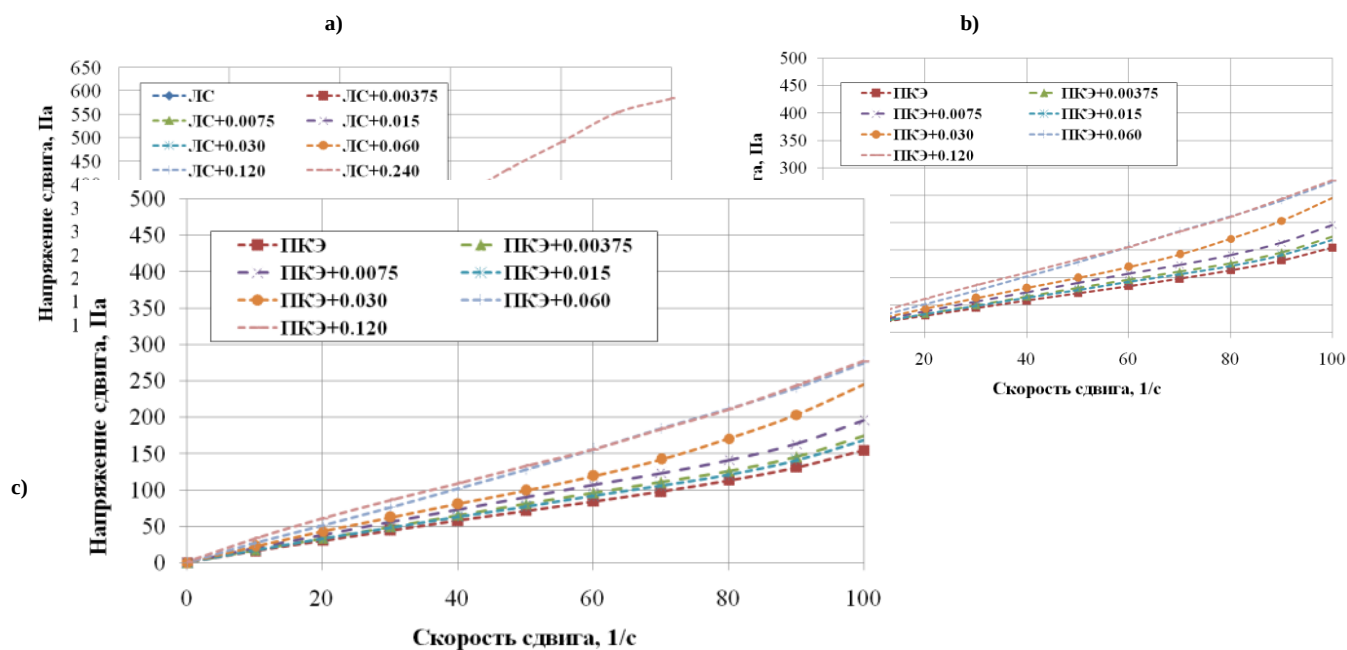


Рисунок 2 - Кривые течения цементных тест, модифицированных комплексной добавкой на основе лигносульфоната (а), сульфированного нафталин формальдегида (б), эфира поликарбоксилата (с) и нанотрубок после 5 мин с момента перемешивания.

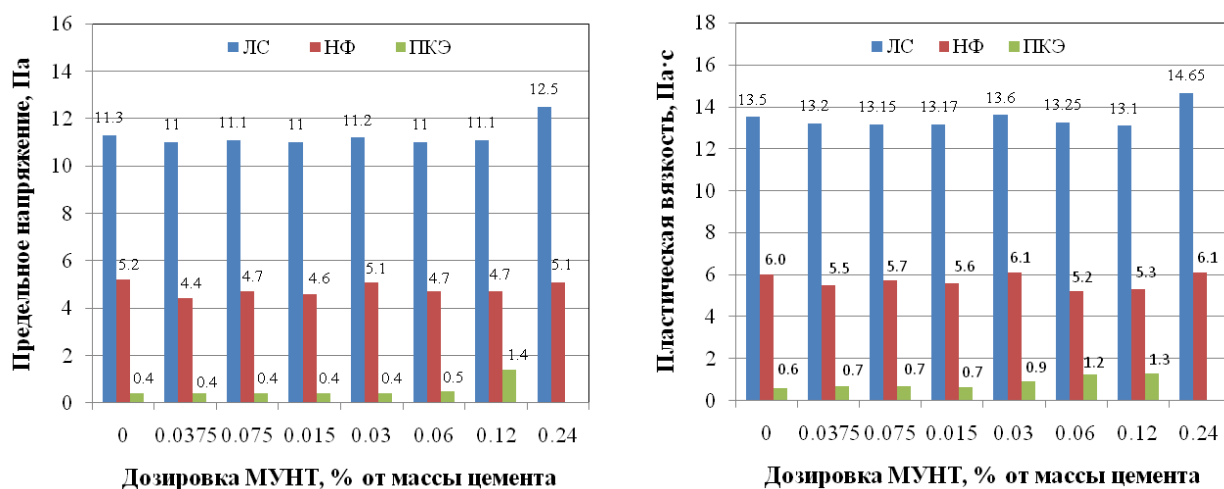


Рисунок 3 - Предельное напряжение и пластическая вязкость исследуемых цементных тест.

Исследование водоотделения цементных тест, модифицированных комплексной добавкой, выявило значительный эффект МУНТ при их введении от 0 до 24%.

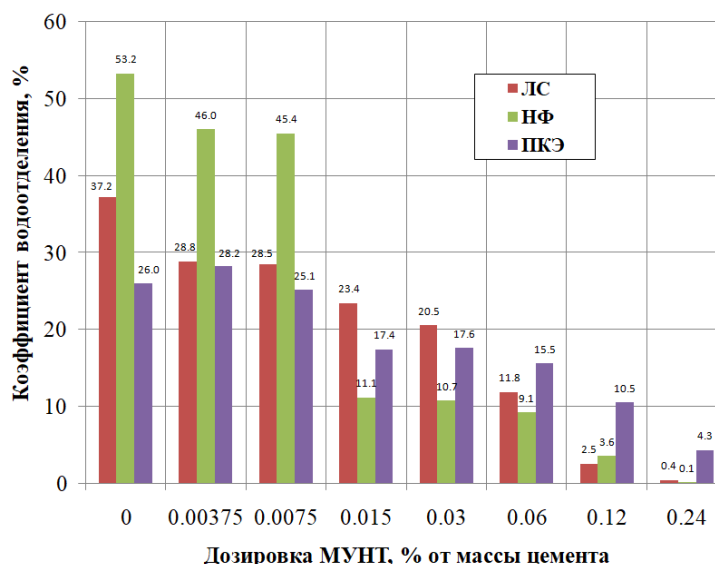


Рисунок 4 - Водоотделение исследуемых цементных тест.

Наиболее заметный эффект нанотрубок на водоотделение начинает наблюдаться с дозировки – 0.015% от массы цемента (Рис. 4) [6]. При введении 0.015% МУНТ удается снизить коэффициент водоотделения на 37%, 79% и 33%, соответственно для ЛС, НФ, ПКЭ пластификаторов.

Разный эффект комплексных добавок на основе полимеров в сочетании с МУНТ на реологию и водоотделение цементных систем может быть связан с их разной химической структурой и особенностями их физико-химических взаимодействий с МУНТ суспензией, в состав которой наряду с МУНТ входит диспергирующий компонент – КМЦ.

Обобщая результаты, представленные в данной работе и на основе предыдущих исследований [6, 16], можно сделать вывод о том, что введение МУНТ в количестве с 0,015% от массы цемента позволяет значительно снижать водоотделение пластифицированных цементных систем (порядка 70%), при этом, не снижая пластифицирующего эффекта данных добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Du, M. R.; Jing, H. W.; Duan, W. H.; Han, G. S.; Chen, S. J. 2017. Methylcellulose stabilized multi-walled carbon nanotubes dispersion for sustainable cement composites. *Construction and Building Materials*, 146, 76–85.
2. Cui, X.; Han, B.; Zheng, Q.; Yu, X.; Dong, S.; Zhang, L.; Ou, J. 2017. Mechanical properties and reinforcing mechanisms of cementitious composites with different types of multiwalled carbon nanotubes. *Composites: Part A*, 103, 131–147
3. Jarolim, T.; Labaj, M.; Hela, R.; Michnova, K. 2016. Carbon nanotubes in cementitious composites: dispersion, implementation, and influence on mechanical characteristics. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 7508904.
4. Ma, S.; Y. Qian; Kawashima, S. Performance-based study on the rheological and hardened properties of blended cement mortars incorporating palygorskite clays and carbon nanotubes. *Construction and Building Materials*, 2018, 171, 663–671.
5. Jiang, S.; Shan, B.; Ouyang, J.; Zhang, W.; Yu, X.; Li, P.; Han, B. Rheological properties of cementitious composites with nano/fiber fillers. *Construction and Building Materials*, 2018, 158, 786–800.
6. Skripkiunas, G.; Karpova, E.; Bendoraitiene, J.; Barauskas, I. Rheological Properties and Flow Behaviour of Cement-Based Materials Modified by Carbon Nanotubes and Plasticising Admixtures. *Fluids*, 2020, 5, 169.

7. Kostrzanowska-Siedlarz, A.; Gołaszewski, J. Rheological properties of High Performance Self-Compacting Concrete: Effects of composition and time. *Construction and Building Materials*, 2016, 115, 705–715.
8. Paul, S. C.; Tay, Y. W. D.; Panda, B.; Tan M. J. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2018, 18, 311–319.
9. Kostrzanowska-Siedlarz, A. Statistical methods for determining rheological parameters of mortars modified with multi-walled carbon nanotubes. *Construction and Building Materials*, 2020, 253, 119213.
10. Papo. Rheological models for cement pastes. *Materials and Structures*, 1988, 21, 41.
11. Xie, H.; Liu, F.; Fana, Y.; Yang, H.; Chen, J.; Zhang, J.; Zuo, C. (2013): Workability and proportion design of pumping concrete based on rheological parameters. *Construction and Building Materials*, 2013, 44, 267–275,
12. Megid, W. A.; Khayat, K. H. Effect of concrete rheological properties on quality of formed surfaces cast with self-consolidating concrete and superworkable concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2018, 93, 75–84.
13. Kim, J.; Yim, H.J.; Kwon, S.H. Quantitative measurement of the external and internal bleeding of conventional concrete and SCC, *Cement and Concrete Composites*, 2014, 54, 34–39.
14. Han, J.; Wang, K. Influence of bleeding on properties and microstructure of fresh and hydrated Portland cement paste. *Construction and Building Materials*, 2016, 115, 240–246.
15. Gökçe, H.S.; Çakır, Ö. A. Bleeding characteristics of high consistency heavyweight concrete mixtures. *Construction and Building Materials*, 2019, 194, 153–160.
16. Skripkiunas, G.; Karpova, E.; Barauskas, I.; Bendoraitiene, J.; Yakovlev, G. Rheological Properties of Cement Pastes with Multiwalled Carbon Nanotubes. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, Article ID 8963542.

ПОЛУЧЕНИЕ АНОРТИТОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОНДИЦИОННОГО ВИДОВ СЫРЬЯ

Н.К.Скрипникова, М.А.Семеновых, В.В.Шеховцов, О.А.Кунц

Аннотация. Приведены результаты получения анортитовой керамики с использованием некондиционного сырья в виде металлургического железосодержащего отхода. Представлены результаты физико-механических и физико-химических исследований. Прочностные показатели образцов, полученных с использованием некондиционного сырья увеличиваются на 11.6% по сравнению с контрольным. Этот факт подтверждается рентгенофазовым и дифференциально-термическим анализами. Установлено, что использование некондиционного сырья способствует образованию анортитовой фазы, что и является причиной увеличения свойств керамического образца.

Ключевые слова: керамика, свойства, анортит, структура, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ, прочность.

Abstract. The results of obtaining anorthite ceramics using substandard raw materials in the form of metallurgical iron-containing waste are presented. The results of physical-mechanical and physical-chemical studies are presented. Other samples obtained using substandard raw materials increased by 11.6% compared to the control. This fact is confirmed by X-ray phase and differential

thermal analyzes. It was found that the substandard use of the formation of the anorthite phase, which is the reason for the increase in the properties of the ceramic sample.

Key words: ceramics, properties, anorthite, structure, X-ray phase analysis, differential thermal analysis, strength.

На сегодняшний день существует множество исследований, направленных на изучение процессов образования и изменения свойств керамических строительных материалов и изделий при модифицировании компонентного состава сырьевой массы некондиционным сырьем. При использовании такого сырья можно получать различные результаты в связи с тем, что некондиционное сырье не имеет определенного состава. При всем многообразии проведенных исследований малое внимание уделяется керамическим материалам, полученным с использованием некондиционного сырья, имеющего в составе кальцийсодержащие компоненты. Данная тема представляет собой интерес тем, что вовлечение в состав керамической шихты данного типа сырья при определенном содержании позволит получать анортитовые структуры в керамических образцах.

Увеличение анортитовой фазы в керамических материалах позволяет увеличить их прочностные показатели [1-10].

Целью данного исследования является изучение возможности образования анортитовой керамики с использованием некондиционного вида сырья (далее НС). Некондиционное сырье представляет собой отходы металлургических производств с различным химическим составом, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав некондиционного сырья

Сырье	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃
НС	30,0-32,5	4-5	2,5-3,5	4,0-5,0	1,5-2,0	13,0-14,0	–
Глина		63,0-65,0	12-13	2,5-3,5	3,0-3,5	–	4,0-4,5

Как следует из табл. 1, преобладающим компонентом в составе НС является углерод и железистые включения. Это сырье целесообразно использовать в качестве выгорающих добавок в составах керамических масс с целью уменьшения средней плотности. Наличие углерода и железистых соединений способствует образованию первичного расплава, который приводит к протеканию реакций между силикатными соединениями. Опираясь на пересчитанный химический состав в трехкомпонентную систему и диаграмму состояния, можно констатировать, что образование анортитовой фазы происходит при температуре около 1050 °С.

Исходя из полученных данных,готавливались образцы двух видов: контрольный – содержание глины 100% и экспериментальный – содержание НС 50%. Изготовление образцов проводилось полусухим методом формования и обжигалось в интервале температур 1050-1100 °С.

Полученные образцы были испытаны на предмет установления прочностных характеристик, фазового состава.

Механические испытания показали, что образцы, изготовленные с применением в составе НС в количестве 50%, имеют показатели прочности при сжатии 43,07 МПа, что на 11,6% больше показателя контрольного образца, изготовленного из 100% глины (38,06 МПа). Далее образцы были подвержены испытанию на установление фазового состава с помощью рентгенофазового и дифференциально-термического анализа.

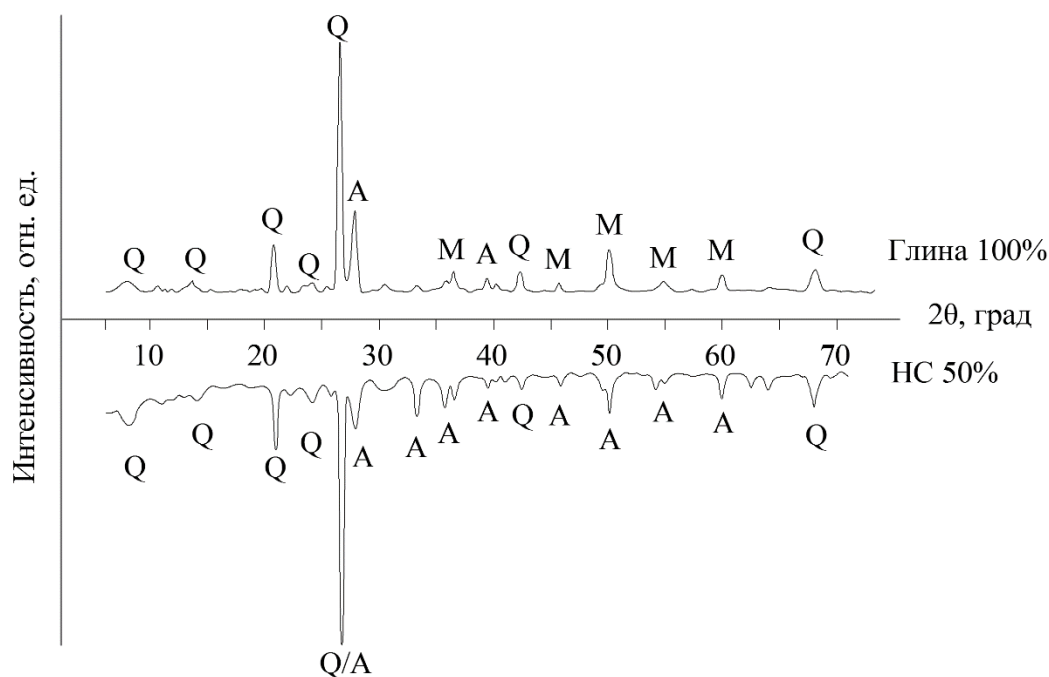


Рисунок 1 - Рентгенограмма полученных образцов.

Было установлено, что содержание анортита в обожженных образцах больше, чем в таких же образцах, не содержащих НС. Это можно пронаблюдать на рентгенограмме, представленной на рис. 1. На рисунке буквы обозначают: Q – кварц, А – анортитовая фаза, М – следы муллита. На дифрактограмме образца с содержанием НС 50% пик с интенсивностью 100 имеет повышенную интенсивность относительно контрольного (100% глины) за счет наложения интенсивности кварца и анортитовой фазы. Также наблюдается образование новых рефлексов с межплоскостными расстояниями, характерными для анортитовой фазы. При добавлении НС в керамическую массу за счет содержания в нем оксида кальция и оксида алюминия при данных температурах происходит образование первичного расплава, что в конечном итоге и приводит к образованию повышенного количества анортитовой фазы.

Формирование новых кристаллических фаз при обжиге многокомпонентных составов обуславливает образование тех или иных свойств, изготавливаемых на их основе.

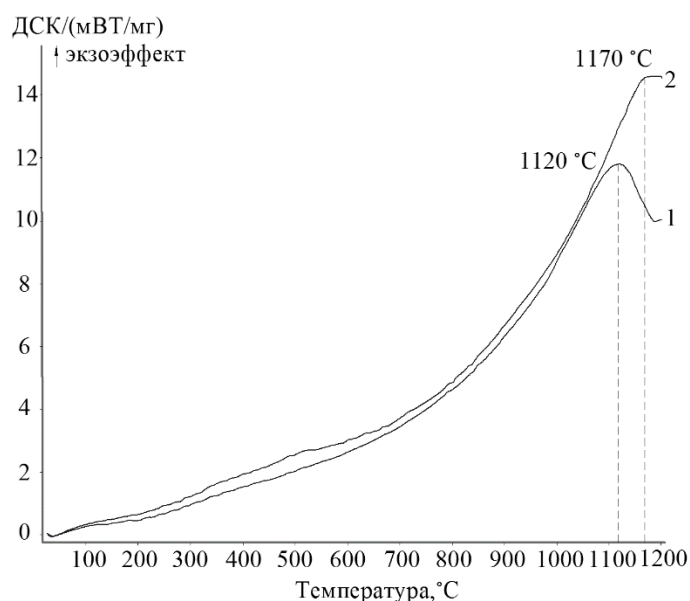


Рисунок 2 - Дериватограммы керамических образцов

1 – со 100% содержанием глины; 2 – содержанием некондиционного сырья 50%

Экзотермические эффекты, представленные на рис. 2, обусловлены образованием новых кристаллических фаз. Образование максимума у кривой 2, представленной на рис. 2, обусловлено процессами формирования анортитовой фазы и высокотемпературного кварца при температуре 1170 °С. Кристаллизация анортита начинается от 950 °С [11]. Растворение аморфного кварца в эвтектическом расплаве, а также образование химических соединений приводит к образованию сложных анионов $\text{Si}_x\text{O}_y^{-z}$, что повышает вязкость расплава в целом. Входящие в состав некондиционного сырья оксиды железа снижают температуру образования анортитовой фазы.

Подводя итог проделанной работы можно констатировать, что использование НС в количестве 50% позволяет получать керамические строительные материалы с высоким содержанием анортитовой фазы, что было подтверждено физико-химическими испытаниями. Помимо этого, как было сказано ранее, образование анортита в керамических образцах сопровождается увеличением прочности соответствующих образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахов С.А., Николаев Н.Ю. Высокотемпературные фазовые превращения в золотилиняной шихте, модифицированной фильтратом осадка водоочистки // В сборнике: Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России. 2019. С. 130-134.
2. Свицерский В.А., Страшненко С.В., Черняк Л.П. Керамика на основе попутных продуктов горнодобычи и отходов глиноземного производств // Стекло и керамика. 2007. № 2. С. 17-20.
3. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Фазовый состав теплоизоляционных материалов, полученных из углеродсодержащих отходов // Химия твердого топлива. 2014. № 4. С. 52
4. Власов В.А., Скрипникова Н.К., Семеновых М.А. и др. Стеновые керамические материалы с использованием техногенного железосодержащего сырья // Строительные материалы. 2020. № 8. С. 33-37.
5. Kavalci S, Yalamac, E, Akkurt S. Effects of boron addition and intensive grinding on synthesis of anorthite ceramics // Ceramics International. 2008. №. 34. С. 1629–35.
6. Okada K, Watanabe N, Jha KV, и др Effects of grinding and firing conditions on $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ phase formation by solid-state reaction of kaolinite with CaCO_3 . Applied Clay Science. 2003. №. 23. С. 329–36.
7. Li R., Zhou Y., Li C., и др Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity // Construction and building materials. 2019. №. 213. С. 43-50.
8. Andrews A., Amoah G., Anaman S., и др Fabrication of Lightweight Anorthite Bodies from Lithomargic Clay // International journal of Applied ceramic technology. 2016. Т.. 3. №. 3. С. 609-613.
9. Taurino R.; Karamanov A.; Rosa, R.; и др New ceramic materials from MSWI bottom ash obtained by an innovative microwave-assisted sintering process // Journal of the European ceramic society. 2017. Т.. 37. №. 1. С. 323-331.
10. Zouaoui H., Bouaziz J. Physical and mechanical properties improvement of a porous clay ceramic // Applied clay science. 2017. №. 150. С. 131-137.
11. Mergen A, Aslanoglu Z. Low-temperature fabrication of anorthite ceramics from kaolinite and calcium carbonate with boron oxide addition // Ceramics International. 2003. №. 29. С. 667–70.

ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН

О.Е.Смирнова, А.В.Пирогов, Я.Дуйнхэржав

г. Новосибирск, Россия

г. Улан-Батор, Монголия

Аннотация. В статье приводятся данные по улучшению свойств дисперсно-армированного бетона. Представлены результаты экспериментов с высоко- и низкомодульной фиброй в составе бетона.

Ключевые слова: бетон, фибра, армирование, свойства, материал.

Abstract. The article provides data on improving the properties of dispersion-reinforced concrete. The results of experiments with high- and low-modulus fiber in the composition of concrete are presented.

Key words: concrete, fiber, reinforcement, properties, material.

Высокие темпы строительства жилых и промышленных зданий с новыми уникальными архитектурными формами, возведение специальных особо нагруженных сооружений, таких как большепролетные мосты, небоскребы, морские нефтяные платформы, резервуары для хранения газов и жидкостей под давлением и др., потребовали разработки новых эффективных бетонов. К числу таких бетонов относится дисперсно-армированный фибробетон. Дисперсное фибровое армирование позволяет компенсировать главные недостатки бетона, а именно, низкую прочность на растяжение и растяжение при изгибе, хрупкость разрушения, усадку и ползучесть [1].

Фибробетон отличается от традиционного бетона более высокими показателями прочности на растяжение и срез, ударной и усталостной прочности, трещиностойкости и вязкости разрушения, морозостойкости, водонепроницаемости, сопротивлению кавитации, жаропрочности и пожаростойкости и т. д., что обеспечивает его высокую технико-экономическую эффективность при применении в строительных конструкциях. Вместе с тем, важнейшим фактором низкой востребованности фибробетона в строительстве является его относительно более высокая стоимость по сравнению с обычным бетоном или железобетоном. В то же время, высокая экономическая эффективность фибробетона обеспечивается, главным образом, за счет более высокой долговечности, эксплуатационной стойкости, увеличения межремонтного ресурса и повышения безопасности сооружений при сейсмических воздействиях и пожарах.

Целью исследования являлось получение дисперсно-армированного мелкозернистого бетона с повышенной трещиностойкостью и прочностью на изгиб. Работы по созданию дисперсно-армированных бетонов и конструкций с их применением основываются в значительной мере на фундаментальных исследованиях, относящихся к технологии изготовления, теории, расчету и проектированию железобетонных конструкций. В связи с этим представляет научный и практический интерес изучить возможность улучшения свойств бетона с применением дисперсного армирования [2].

В процессе исследования решены следующие задачи:

1. Проведен анализ научно-технической информации и патентный поиск по применению дисперсного армирования и теоретическим аспектам производства фибробетонов.

2. Исследованы физико-механические свойства фибробетонов в процессе твердения при различном содержании в их составе полипропиленовой и/или металлической фибры.

3. Подобрано оптимальное процентное содержание полипропиленовой и/или металлической фибры в составе бетона.

4. Подобран оптимальный состав фибробетона.

Методологической основой исследования являлись представления о структуре и свойствах строительных материалов, современных методов оценки их физико-механических

и физико-химических свойств, а также стандартные методы испытаний. Исследования проводились с применением действующих национальных стандартов.

Достоверность результатов обеспечивалась применением стандартных методов исследований, проведением испытаний на поверенном оборудовании в аттестованной лаборатории, с необходимым числом образцов в серии для обеспечения доверительной вероятности результатов испытаний [3].

Полученные результаты:

1) выполнен анализ литературных данных в области дисперсного армирования, и установлено, что эффективным способом повышения эксплуатационных свойств бетона, таких как трещиностойкость, вязкость разрушения и прочность на изгиб, является модифицирование структуры бетона различными видами фибры;

2) установлено, что введение в состав бетона металлической фибры значительно повышает вязкость его разрушения, прочность на изгиб, а также дает возможность заменить традиционную арматурную сетку на металлическую фибру в таких изделиях, как кольца колодцев, бетон в которых работает только на сжатие, а сетка служит в качестве конструктивной арматуры, нежели рабочей (рис. 1.);



Рисунок 1. Образец фибробетона, после испытания прочности на растяжение при изгибе.

3) практическим путем подтверждено повышение вязкости разрушения и прочности на изгиб стандартных образцов и устранение усадочных трещин в изделиях при введении в состав бетона полипропиленовой и металлической фибр. Согласно результатам испытаний, оба вида фибры дают прирост прочности на растяжение при изгибе относительно контрольных образцов на 25-30%;

4) определены оптимальные концентрации полипропиленовой и металлической фибр в составе мелкозернистого бетона класса В15, применяемого в производстве стеновых колодезных колец (таблица 1);

Результаты испытаний фибробетона.

Расход материалов, кг/м ³	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Цемент	Песок	Отсев	СП-1	Вода	Полипропиленовая фибра	Металлическая фибра
255		1371	588	7,6	138	-	-	4,08
255		1371	588	7,6	138	0,3	-	4,21
255		1371	588	7,6	138	0,5	-	3,57
255		1371	588	7,6	138	0,7	-	3,95
255		1371	588	7,6	138	0,9	5	4,31
255		1371	588	7,6	138	-	10	4,37
255		1371	588	7,6	138	-	15	4,64
255		1371	588	7,6	138	-	50	5,09
255		1371	588	7,6	138	0,5	50	5,28

5) по результатам экспериментальных исследований и экономического обоснования подобран оптимальный состав полиармированного фибробетона: портландцемент ЦЕМ I 42,5Б – 255 кг/м³; песок из отсевов дробления Мк = 3,15 – 1371 кг/м³; песок природный Мк = 2,19 – 588 кг/м³; суперпластификатор СП-1 (15% раствор) – 7,6 кг/м³; вода – 138 л/м³; полипропиленовая фибра ВСМ-Бетон – 0,5 кг/м³; волновая металлическая фибра 0,7/40 – от 10,2 до 19,9 кг/м³ в зави-симости от марки изделия;

6) для более качественного перемешивания без комкования полипропиленовой и стальной фибры рекомендовано использовать двухвальный или планетарный бетономеситель;

7) произведен расчет экономической эффективности выпускаемой продукции. Введение в состав полипропиленовой фибры позволяет исключить усадочные трещины на изделиях, а соответственно и дополнительные расходы, связанные с доводкой изделий (который составляли порядка 86 % от всех расходов на устранение брака готовых изделий).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Демьянова, В. С. Дисперсно-армированные бетоны с использованием вторичных материальных ресурсов [Текст]: [монография] / В. С. Демьянова, Г. Н. Симакина, А. Д. Гусев; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва". - Пенза: ПГУАС, 2012. - 119 с.

2. Пирогов, А. В. Подбор состава дисперсно-армированных бетонных смесей / О. Е. Смирнова, А. В. Пирогов // «Качество и инновации – основа современных материалов и технологий». Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет; Российская академия архитектуры и строительных наук; Компания KNAUF. - 2019. С. 46-50.

4. Пирогов, А. В. Возможности дисперсного армирования бетонных смесей / О. Е. Смирнова, А. В. Пирогов // «Topical issues of import substituting products based on the use of local raw materials in the Fergana valley». The collection of materials of the International conference. - 2018. С. 283-284.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КОСТРЫ ЛЬНА

О.Е.Смирнова, А.П.Пичугин

г. Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье приводятся свойства составов на основе костры льна и комплексного связующего. Представлены данные экспериментов по определению влияния влажности на прочность при сжатии, стойкость костролитовых образцов к попеременному увлажнению и высыханию.

Ключевые слова: костра льна, теплоизоляция, свойства, материал.

Summary. The article describes the properties of compositions based on flax bonfire and complex binder. The data of experiments on determining the effect of moisture on the compressive strength, the resistance of the stromal samples to alternate moistening and drying are presented.

Keywords: bonfire flax, heat insulation, properties, material.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства прессованных теплоизоляционных костролитовых образцов.

Таблица 1

Свойства костролитовых образцов на комплексном связующем

Свойства	Соотношение костра льна : связующее		
	1:0,9	1:1,15	1:1,25
Средняя плотность, кг/м ³	250-260	270-300	305-315
Прочность, МПа			
- при сжатии	0,72	0,82	0,87
- при изгибе	0,94	1,18	1,35
Водопоглощение, %	36,5	32,7	30,2
Теплопроводность, Вт/(м ⁰ С)	0,057	0,064	0,071
Влажность, %	7,4	6,9	6,8
Сорбционная влажность, %	10,7	9,2	8,5
Водородный показатель (рН)	10,5	10,5	10,5

Минимальная средняя плотность образцов 250 кг/м³ достигнута при соотношении костролитовый наполнитель: связующее 1:0,9. Максимальные значения прочности при сжатии и изгибе 0,87 и 1,35 МПа соответствуют составу, содержащему (% мас.) костру льна 45%, жидкое стекло 45%, латекс – 10%. Пористость образцов находится в пределах 80-82%.

На рисунке 1 приведена кинетика потери массы свежееотформованных костролитовых образцов в процессе твердения.

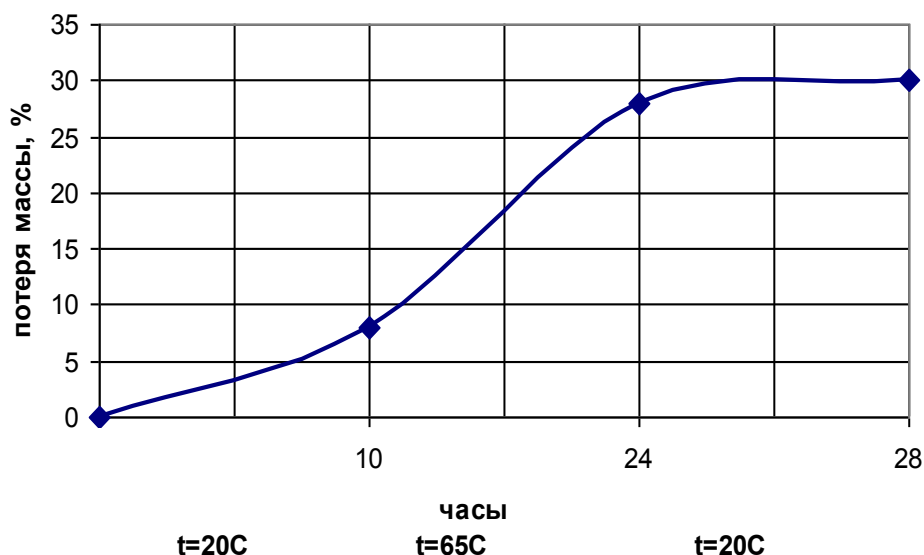


Рисунок 1 - Потеря массы образцами при твердении при соотношении костра льна:связующее 1:1,15

Костролитовые образцы на комплексном связующем активно отдают влагу при температуре сушки 65⁰С, потеря массы после 24 часов составляет 27-28%.

Определялось влияние влажности образцов на их прочность (рис. 2). Теоретически известно, что снижение влажности арболита (материал, состоящий на 80-90% по объему из древесного заполнителя) от 27-30% до 0%, т.е. ниже точки насыщения растительных волокон, отрицательно сказывается на прочностных характеристиках изделия [1].

Прочность образцов на основе костры льна и комплексного связующего в процессе сушки нарастает монотонно в отличие от арболита. При влажности образцов на основе костры льна до 15-17% значения прочности при сжатии максимальны.

В качестве критерия структурной прочности и водостойкости образцов определялся коэффициент размягчения. В зависимости от вида связующего он находится в пределах от 0,27 (на жидком стекле) до 0,78 (на жидком стекле, модифицированном бутадиен-стирольным латексом), т.е. потери прочности при водонасыщении в течение 24 ч соответственно составляют от 73 до 22%.

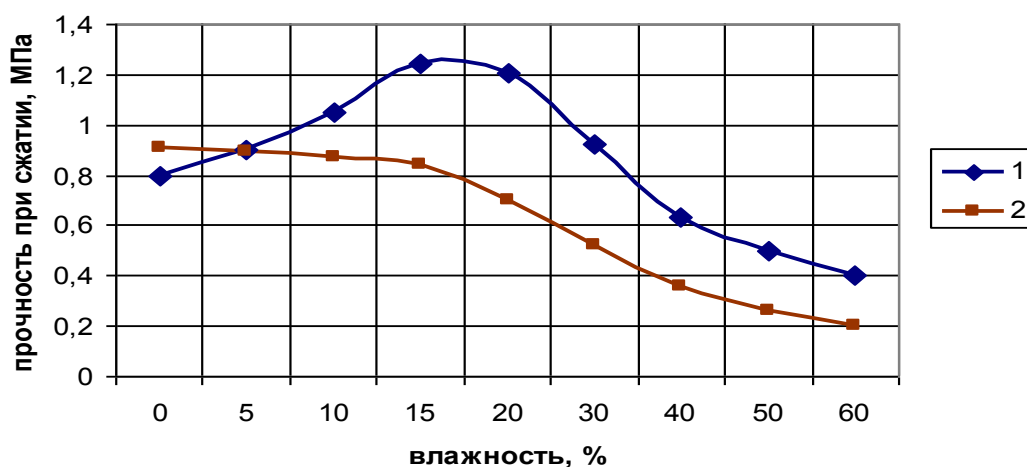


Рисунок 2 - Влияние влажности образцов на прочность при сжатии: 1 – арболит; 2 – костролитовый материал на комплексном связующем

Исследовалась стойкость костролитовых образцов к попеременному увлажнению и высыханию. Критерием стойкости приняты линейные деформации набухания (рис. 3). Испытания проводились по методике, предложенной И.Х. Наназашвили [2].

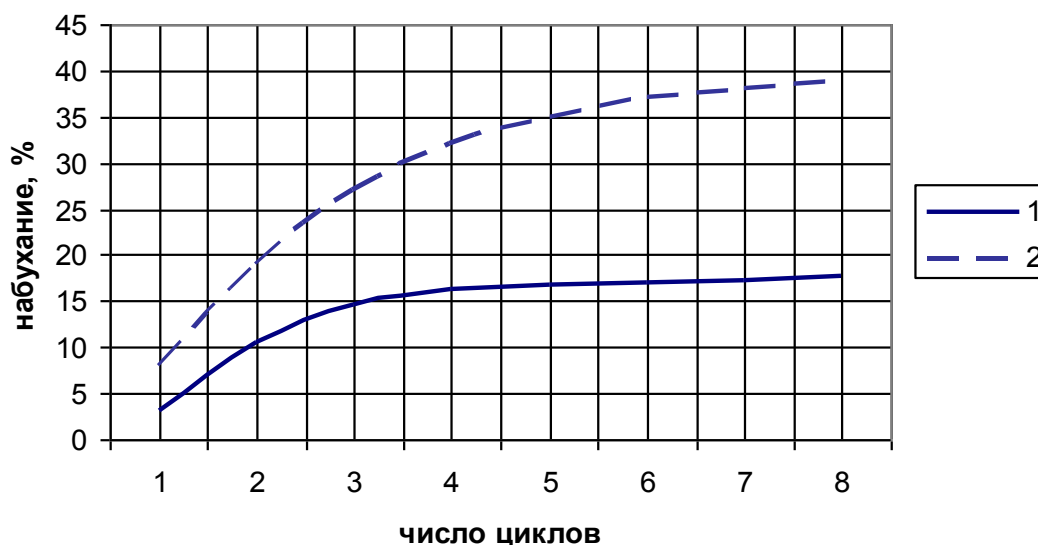


Рисунок 3 - Кинетика развития набухания костролитовых (1) и древесностружечных (2) образцов при циклическом увлажнении и высыхании

Набухание костролитовых образцов происходит наиболее интенсивно в первые 1-3 цикла испытаний, потери при этом сохраняется целостность образцов. После 6-8 циклов испытаний образцы деформируются, что связано с ослаблением адгезионных связей между связующим и органическим наполнителем. По данным испытаний можно сделать вывод о достаточной стойкости материалов на основе костры льна и комплексного связующего к температурно-влажностным воздействиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернацкий А.Ф. Использование отходов льнопереработки для производства теплоизоляционных изделий / А.Ф. Бернацкий, О.Е. Смирнова// Изв. вузов. Строительство. – 2007. – №3. – С.42-46.
2. Наназашвили И.Н. Строительные материалы из древесно-цементной композиции/ И.Н. Наназашвили.- Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ

О.Е.Смирнова, А.П.Пичугин, В.Ф.Хританков

Новосибирск, Россия

Аннотация. Расширение номенклатуры строительных материалов на основе использования местного сырья и отходов производства может быть весьма перспективным. Создание недорогих эффективных материалов, стойких к климатическим и эксплуатационным воздействиям, представляет собой важную научно-техническую проблему для сибирских территорий. Учитывая специфику и особенности природных сырьевых ресурсов для производства индустриальных конструкций, представляется актуальным разработка и классификация растительного сырья и отходов с целью внедрения эффективных технологий для различных конструктивных элементов зданий и сооружений. В основу классификации положены основные химические и физические свойства растительного сырья.

Ключевые слова: растительное сырьё, химический состав, элементный состав, технологически приемлемые переработки, части зданий и сооружений

Новые повышенные требования к теплотехническим и звукоизолирующим показателям ограждающих конструкции привели к необходимости пересмотра качества выпускаемых материалов и поиску путей улучшения их эксплуатационных свойств. Немаловажным фактором успешной работы строительного комплекса является удешевление стоимости строительных материалов и изделий. Эффективным направлением для решения этой задачи является вовлечение в оборот местных ресурсов, одним из которых являются отходы деревообработки и растительное сырьё. При условии соблюдения нормативных показателей за счет совершенствования качества изделий из растительного сырья можно получать эффективные материалы для различных конструктивных элементов зданий.

В настоящее время существуют и четко отработаны десятки различных технологий по вовлечению местных сырьевых ресурсов в производство эффективных и стойких к эксплуатационным воздействиям материалов и изделий. При рациональном подходе использование в качестве улучшающих добавок из местного органического сырья в виде отходов деревообработки, камыша, соломы, коры, торфа и др. будет способствовать не только удешевлению строительства, но и решению важной народнохозяйственной проблемы по утилизации отходов и улучшению экологической обстановки на территориях.

На рисунке 1 представлена общая традиционная классификация растительного сырья с возможными технологическими переделами и получением различных материалов, изделий и конструкций для использования при возведении зданий и сооружений.

В этой связи особого внимания заслуживает применение торфа, соломы, камыша, костры, опилок, станочной стружки, коры и прочих растительных ресурсов, обладающих достаточно высокими теплоизолирующими и формообразующими свойствами. Опыт их практического использования в народном хозяйстве многие десятки и даже сотни лет при возведении различных зданий и сооружений, а также в топливно-энергетическом комплексе показал рациональность и эффективность.

В строительстве растительные отходы и сырьё применяются в качестве теплоизоляционных материалов в виде плитного утеплителя с достаточно высокими теплофизическими характеристиками. Их уникальные свойства, малая плотность ($< 120-250 \text{ кг/м}^3$) и низкая теплопроводность позволили сделать предположение о возможности использования в качестве крупного структурообразующего заполнителя легких бетонов. При определенных технологических режимах и операциях может быть достигнут эффект не только улучшения структуры и снижения коэффициента теплопроводности легкого бетона,

но за счет впитывания воды из бетонной смеси и последующего самоуплотнения при набухании могут быть созданы оптимальные условия твердения цементного камня, что позволит снизить его пористость, повысить прочность и обеспечить минимальный расход вяжущего. Кроме того, применение органического заполнителя ведет к получению экологически чистого материала, что весьма важно в наше время.

Происхож-дение	Деревообработка			Обработка сельхозпродукции			Растительное сырье			Прочие							
Вид	Щепы и кусковые отходы	Опилки	Стружка	Кора	Вершины, ветви	Солома	Костральна	Лузга	Камыш	Торф							
Состояние	Крупноразмерные			Волокнистые		Сыпучие		Полутвердые		Мягкие		Плитные					
Способы переработки	Прямое использование без дополнительной технологической обработки			Механическая подготовка материалов (дробление, фракционирование)		Термическая обработка (сушка, прогрев и т.д.)		Химическая обработка		Агрегатирование (грануляция, брикетирование)		Смешивание с другими веществами и отходами		Модификация полимерами и другими веществами			
Производимые материалы	Арболит	Опилкобетон	Фибролит	Древесно-стружечные плиты (ДСП)	Древесно-волоконные плиты (ДВП)	Древесноплит	Коропласт	Страмит	Костромит	Саман	Камышитовые	Торфяные плиты	Цементно-стружечные ЦСПлиты ()	Ортенко	Древесно шерстные плиты	Ксилолит	Риплит
	Конструкции			Ограждающие конструкции зданий			Теплоизоляционные материалы			Плитные, щитовые и прочие изделия			Заполнители бетонов			Насыпные термоизоляционные материалы	

Рисунок 1- Классификация органического сырья и материалов на его основе

Высокая эффективность применения материалов с добавкой растительных отходов обусловлена целым набором положительных факторов: отсутствие затрат на транспортировку, использование подручных средств и местных материалов, возможность варьировать параметрами получаемых изделий в широком интервале значений: регулирование плотности, механической прочности, теплопроводности, морозостойкости введением различного количества органической составляющей.

Авторами сделано обобщение по эффективным технологическим решениям с точки зрения ценности исходного сырья по химическому и элементному составам. Это может способствовать снижению энергетических затрат и обеспечить повышение качества материалов и изделий на основе и с применением растительного сырья для самого широкого спектра частей зданий и сооружений. В таблице и на рисунке 2 представлены химический и элементный составы растительного сырья и органических отходов.

Так, целлюлоза в большом количестве содержится в костре льна, хлопчатнике и камыше (до 91-98%). В отходах деревообработки её содержание не превышает 50%, а в коре деревьев – от 12 до 19%. Лигнина больше всего в древесной коре, опилках и станочной стружке. Минимальное содержание лигнина отмечено в торфе и хлопчатнике - 3-5% (рис.2). Эта характеристика позволяет рекомендовать отдельные виды растительного сырья для

производства лигнопластов или выпускать гранулированные (брикетированные) материалы для дальнейшего применения в качестве заполнителей для легких бетонов или утеплителя.

Важным показателем, обуславливающим использование того или иного технологического приема переработки растительного сырья, является растворимость его в горячей воде и эфире. По этим свойствам первое место занимает кора деревьев, растворяющаяся в горячей воде почти на пятьдесят процентов. Также хорошая растворимость отмечена для древесной муки и щепы (до 61%). Меньшей растворимостью обладает торф и камыш, а хлопчатник почти совсем не подвержен растворению.

Еще одним из важных факторов изучаемого сырья является его зольность, т.е. наличие минеральных составляющих в растительной массе. Наибольшие показатели зольности имеют торф, лузга и шелуха (до 15-18%); минимальные показатели отмечены у камыша, древесной муки и щепы. Рассматривая состав золы, следует отметить, что только камыш содержит большое количество диоксида кремния (до 85%) и торф (до 8%). В остальных видах сырья эти показатели не превышают 2-4%. По содержанию извести (СаО) первенство за щепой и древесной мукой (до 36%), а также за соломой - 18-20%. Высокое содержание железа отмечено в золе лузги и шелухи (до 38%). В этих же видах растительного сырья отмечено повышенное содержание оксида фосфора (до 9%). Сернистые включения характерны для камыша и костры (до 2%).

По элементному составу можно сделать заключение о примерно одинаковых интервалах показателей содержания в растительном сырье углерода, азота, водорода и кислорода. Так, углерода в растительном сырье содержится в среднем 30-50%; водорода - 5-8%; азота 3-5% и кислорода 20-40%. Исключение составляет хлопчатник в котором все эти перечисленные показатели намного ниже.

40									
38									
33									
29									
27									
22									
20									
15									
10									
7									
3									
0									
	Хлопчатник	Торф	Лузга	Камыш	Солома	Костра	Кора	Щепа	Древесная мука

Рисунок 2. Ранжирование растительного сырья по процентному содержанию лигнина.

Материал	Целлю- лоза	Лигнин	Гемицеллюлоза		Вещест ва, раствор имые в горячей воде	Вещест ва, раствор имые в эфире	Зольность
			Гексоза ны	Пентоза ны			
Древесная кора	12-19	12-38	6-17	5-13	15-48	4-39	1,5-5,3
Торф	20-25	5-20	7,1-17,4		1-5	2-8	2,0-15,1
Лузга	27-35	15-27	3,7-22,4	17-34	2-6	-	1,3-18,0
Солома	23-41	24-29	-	20-26	18-23	12-39	4,1-6,2
Щепа	25-46	19-38	3-16	7-25	20-27	40-61	0,1-0,8
Древесная мука	42-51	20-38	7-16	5-33	4-12	32-57	0,2-1,7
Камыш	40-91	22-27	-	14-23	8-21	14-18	1,5-2,6
Костра	48-97	15-23	15-19	21-26	12-19	4-8	0,5-2,0
Хлопчатник	91-98	3-7	-	18-21	1-3	2-5	4,2-6,5

Таблица 1

Химический состав растительного сырья

Таким образом, обобщая актуальность приведенной классификации для производства строительных материалов из отходов растительного происхождения, можно констатировать следующее..

Обоснована актуальность данной классификации на основании обзора применения растительного сырья и отходов с учетом химического и элементного составов, что может способствовать рациональному выбору и эффективному использованию технологических приемов при переработке растительного сырья для строительных целей. С учетом данной классификации могут быть ранжированы технологические приемы переработки сырьевых ресурсов растительного происхождения в зависимости от массового содержания лигнина и целлюлозы. А это, в свою очередь, позволит экономить энергетические и материальные затраты и повысить качество выпускаемых изделий и конструкций из отходов и местного растительного сырья. Все это будет способствовать рациональному применению материалов и изделий и создаст условия для широкого внедрения новых или традиционных технологий в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е. Строительные материалы из растительного сырья. Монография/ НГАУ, 2020.- 207 с.
2. Пичугин А.П. Роль микроармирования в обеспечении эксплуатационных характеристик крупнопористого легкого бетона /Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г. Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 12. - С.5-15.
3. Пименов Е.Г. Физико-химические исследования процессов снижения открытой пористости крупного заполнителя бетонов / Пименов Е.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С. // Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 10-11. - С.22-31.
4. Пичугин А.П. Трещинообразование в крупнопористом бетоне с интегральным расположением крупного заполнителя//А.П.Пичугин, В.Ф.Хританков, О.Е. Смирнова, Е.Г.Пименов//Эксперт: теория и практика, №4 (7) 2020. – С.47-51.

ИННОВАЦИОННЫЙ ВКЛАД В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.Г. Стенина

*Новосибирский Государственный Архитектурно-Строительный Университет
(Сибстрин), г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Инновационное развитие строительного материаловедения находится в прямой зависимости от понимания природы твердения в системе. C – S – H. Аква-комплекс $[2\text{SiO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{M}^{n+}\text{M}^{m+}\text{O}^4]$, установленный в результате исследования реакций природного минералообразования, является решением этой проблемы. Верификация теории показана на примере бетона и конструировании композитов на его основе.

Ключевые слова: система. C-S-H, аква-комплекс, бетон, композит

Key words: C-S-H system, aqua-complex, concrete, composite

Управление качеством строительного материала и связанные с этим актуальные задачи, такие как разработка продуктов с заданными свойствами, ресурсо- и энергосбережение, снижение стоимости стройматериалов – находятся в прямой зависимости от понимания природы взаимодействия воды с тонкодисперсными минеральными ингредиентами, т.е. процессов гидратации в C–S–H системе. Бетон, базовый строительный монолит, известный более 4-х тыс. лет, образуется в результате процессов схватывания, твердения и упрочнения в этой системе. Своим названием: (C–S–H) она обязана главному компоненту – цементу, искусственно полученному веществу, в состав которого (до 80 масс %) входят соединения Ca с Si (силикаты кальция), обозначаемые соответственно как система C – S. Именно цемент обладает вяжущими свойствами, благодаря которым происходит химическое взаимодействие и твердение (образование монолита) в гетерогенной водно-минеральной системе.

Известными подходами в истории исследования данной проблемы являются кристаллизационная теория твердения А. Ле-Шателье (1887г.) и коллоидная теория В. Михаэлиса (1893). В 1923г. ак. А.А. Байковым на основе этих теорий была выдвинута идея протонирования [1]. Согласно ей, в процессе гидратации происходит миграция протонов (H^+) в объем твердых микрочастиц клинкерных минералов. Поэтому, по сравнению с известными представлениями о роли воды как некоего химического посредника при «сшивке» твердых тонкодисперсных компонентов в водно-минеральной системе, данная идея была принципиально новой.

Природоподобные технологии в последние годы стали объектом особого внимания, что следует из осознания того факта, что природа объективно имеет модельное значение для всех технологических процессов. Особенно это наглядно в случае строительного материаловедения. Литификация имеет неформальную аналогию с процессами схватывания, твердения и упрочнения в C–S–H системе. В природной системе рыхлые осадочные породы (пески, глины, известняки Рис. 1а) преобразуются в сланцы (Рис. 1б), затем в граниты, монолитные скальные породы (Рис. 1в). Данный процесс длится миллионы лет. В технологии, для его ускорения, используют цемент – носитель вяжущих свойств. При этом, как в природе, так и в технологии, вода является неотъемлемым участником минеральных реакций на всех этапах преобразования исходной системы.



Рисунок 1 - Литификация (окаменение) рыхлых осадочных пород в природе:

а – преобразование щебень - песчано - глинистого субстрата в сланцы, б – консолидация и метаморфизм сланцев, в – образование гранитов.

Как показывают цифры (прочность на сжатие в МПа: гранита - 300, базальта - 400, диабазы - 500; высокопрочного бетона марки М450 - М800 – 45-78), результат природного процесса образования монолита (гранит и другие породы) превосходит технологический – примерно на порядок. Следовательно, есть прямой смысл использовать процесс литификации в качестве модели для понимания механизма взаимодействия воды с минеральным веществом при образовании строительного монолита. Несмотря на постоянную актуальность, в геологии эта проблема оставалась также дискуссионной. На основе геологических и экспериментальных данных С.Л. Шварцевым [2] была выдвинута концепция единой водно-минеральной системы, имеющей синергетический характер. Однако, исчерпывающей теории, которая могла бы объяснить природу твердения, как в природных, так и в технологических водно-минеральных системах, до н.в. не существовало.

Аква-комплекс $[2\text{TO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{M}^{n+}\text{M}^{m+}\text{O}_4]$ (где Т-Si и другие 4-х валентные катионы: С, Ti..., M^{n+} – одно- и двухвалентные катионы: Na, Fe^{2+} ..., M^{m+} – многовалентные катионы: Fe^{3+} ..., O^- – О и другие летучие: Cl, S...) (Рис. 2а), установленный в результате многолетних исследований реакций природного минералообразования, является решением этой проблемы. Аква-комплексы впервые были обнаружены на нано-уровне как водно-примесные дефекты в природном кварце с помощью ПЭМ ((Просвечивающей Электронной Микроскопии). Для расшифровки природы этих ранее неизвестных дефектов, кроме ПЭМ, был использован комплекс других физико-химических методами [3, 4]. Впоследствии была установлена фундаментальная роль аква-комплекса как закона эволюции Земного минерального вещества и неформального аналога ДНК, обоснованная всеми био-геологическими данными [5, 6].

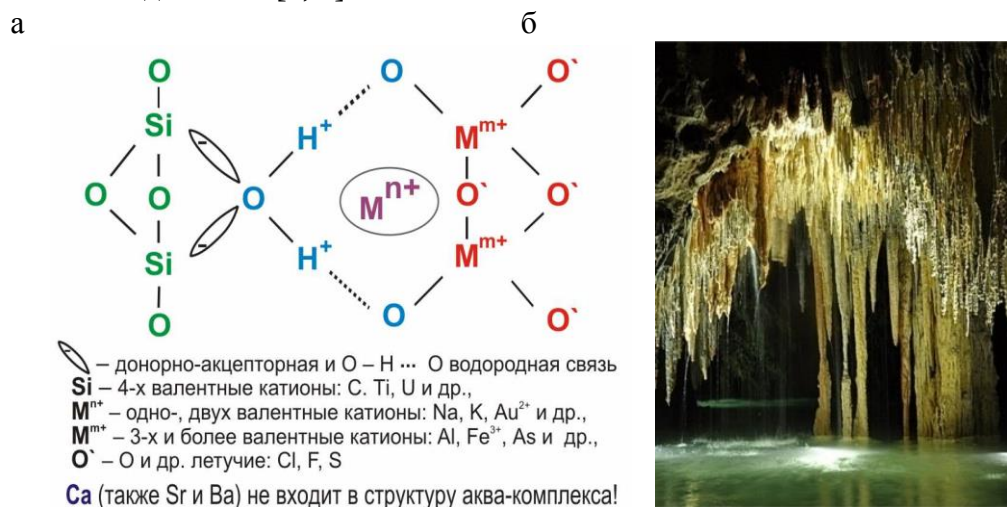


Рисунок 2 - Модель аква-комплекса (а); и карстовая пещера как геологическое доказательство невозможности вхождения Ca в его структуру (б).

Аква-комплекс является универсальной кристаллохимической ячейкой минерального вещества пород, из которой могут быть получены все известные в природе минералы. Аква-комплекс имеет Ox — Red (окислительно-восстановительную) структуру, в которой левые (кислые) и правые (основные) радикалы объединены в единое целое через молекулу воды, являющуюся самым коротким природным окислительно-восстановительным (Redox) мостиком. Благодаря такому строению эта атомная группировка строго отвечает определению аква-комплекса, в соответствии с чем получила свое название.

В решении главной проблемы строительного материаловедения – природы твердения в гетерогенной C–S–H системе, главными являются следующие свойства аква-комплекса.

1. Молекула воды, имеющая структуру заряженного тетраэдра [$\text{O}^{2-}\text{—}2\text{H}^+$] [7], занимает в комплексе центральное место (Рис. 2а), обеспечивая его целостность. За это отвечают донорно-акцепторные и водородные связи, которые H_2O образует с левой и правой частями аква-комплекса.

2. Водородная связь $\text{O}\text{—}\text{H}^+\text{—}\text{O}$ обладает энергоинформационным потенциалом, т.е. она может конвертировать энергетический дисбаланс в минеральной системе [6, 8]

3. В аква-комплекс могут входить все элементы таблицы Менделеева, кроме Са (также Sr, Ba...). Из-за особенностей электронной структуры эти элементы не могут войти в структуру аква-комплексов, что приводит к появлению свободной воды в породах, богатых Са, например, в карсте (Рис. 2б).

Вяжущие свойства цемента и, как следствие, механизм твердения в системе C–S–H объясняются с т.з. концепции аква-комплекса следующим образом. Кремний (Si) и кальций (Са) являются антагонистами по отношению к связыванию с водой в единой структуре аква-комплекса: Si – его главный структурообразующий элемент, а Са – наоборот. Поэтому в природе мало минералов – силикатов кальция, а их искусственное получение требует огромных энергозатрат: клинкерные минералы цемента получают при $T \geq 1300^\circ\text{C}$. Антагонизм Са и Si по отношению к связыванию с водой в виде аква-комплекса является причиной вяжущих свойств их соединений, минералов цемента.

«Вяжущие свойства» означают процесс физико-химического взаимодействия тонкодисперсных ингредиентов в гетерогенной водно-минеральной системе. В результате этого исходная «паста» (система C – S – H) через стадии «схватывания», «твердения» и «упрочнения» превращается в твердый монолит, аналог скальной породы. Основное при этом, каков механизм, главное – источник энергии, необходимой для структурной реорганизации и химического связывания тонкодисперсных компонентов в исходно неупорядоченной системе? Ведь, как следует из графика (Рис. 3 а), все этапы ее преобразования являются энергоемкими.

Ответ дает рассмотрение процесса гидратации клинкерных минералов (на примере алита, C_3S) с точки зрения концепции аква-комплекса (Рис. 3б, в). При гидратации водород мигрирует в объем алита, концентрируясь вокруг атомов кальция (Рис. 3б). Это происходит потому, что Са не может образовать аква-комплекс, а Н является для него донором необходимых электронов (атом Са имеет 10 электронных вакансий на $3d_0$ -уровне). Поэтому вокруг атомов Са образуется атмосфера из положительно заряженных ионов H^+ – протонов. В этом состоит идея А.А. Байкова [1] о миграции протонов в объем частиц цемента при их гидратации. Водородные связи, образующиеся вокруг кальция, являются источником энергии в системе [6, 8]. Из-за свойств Са, эта энергия не может пойти на образование аква-комплексов и на реорганизацию вещества через них. Поэтому она расходуется “*in situ*”, на структурно-химическое связывание фрагментов исходной пасты. В результате образуется упорядоченная 3D-структура, подобная природному граниту (Рис. 3в). Бетон, поэтому следует определить как «базовый монолит», продукт упорядочения и консолидации компонентов в гетерогенной C–S–H системе.

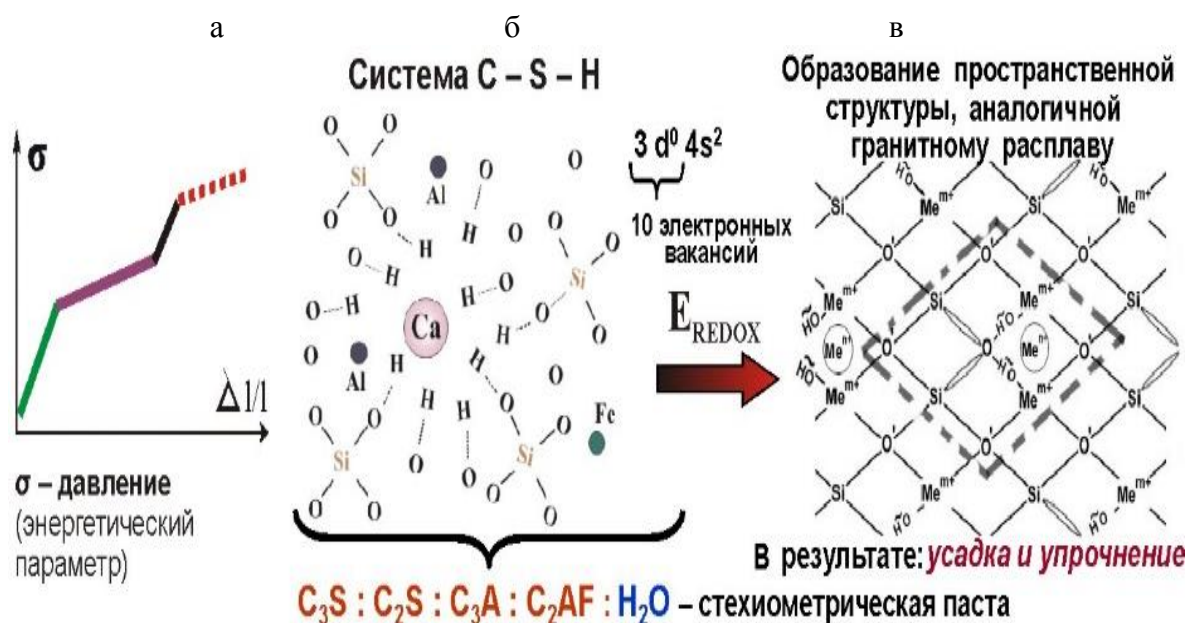


Рисунок 3 - Образование строительного монолита как природоподобная модель литификации: а – реологическая интерпретация процессов в C–S–H системе, б – гидратация алита, в – упорядочение в протонированной структуре алита и образование 3D-структуры, подобной граниту.

Верификацией теории твердения, основанной на концепции аква-комплекса, служат ее практические приложения к строительному материаловедению. Такими приложениями являются разработка композитных материалов на основе бетона, его необычное поведение при эксплуатации крупномасштабных бетонных сооружений.

Строительные композиты являются закономерным этапом развития строительного материаловедения, ответом отрасли на необходимость создания материалов с лучшими, чем у бетона, свойствами при одновременном ресурсоэнергосбережении. В контексте сказанного, бетон является «модельной системой» для целенаправленного конструирования более сложного композитного продукта. Знание процессов в бетоне создает инновационную основу для разработки технологий современных композиционных материалов. Она предполагает переход от эмпирического уровня к целенаправленной разработке материалов с заданными свойствами.

В качестве примера можно привести композитный материал, полученный путем армирования ячеистого бетона тонкодисперсными добавками природных C–S минералов (волластонит – $CaSiO_3$ и диопсид $(Ca, Mg) Si_2O_6$) [9]. Полученный композит обладает большей прочностью, более низкой теплопроводностью и весом по сравнению с исходным образцом. Показано, что это достигается за счет структурообразования в матрице армированного ячеистого бетона (Рис. 4). В результате сокращается число открытых пор, происходит их изометризация (Рис. 4 а, б, вставки), объемное распределение пор становится однородным, увеличивается прочность межпоровых промежутков.

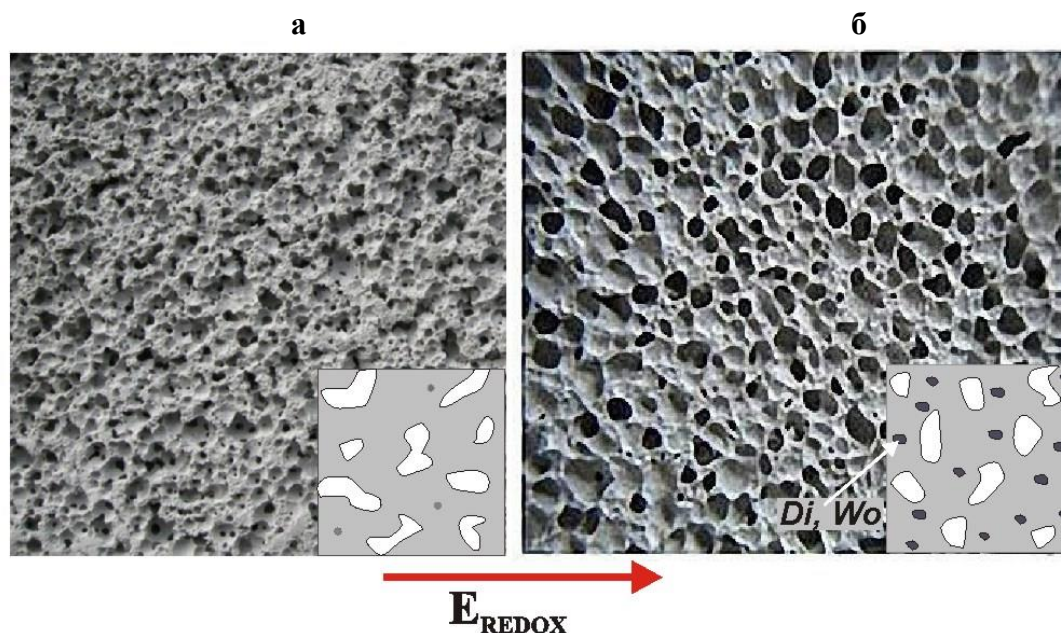


Рисунок 4 - Влияние тонкодисперсных добавок природных С-S минералов (диопсид, волластонит) на пористую структуру пенобетона: Образцы: исходный (а), с модифицирующими добавками (б).

Данные структурные преобразования, особенно повышение прочности матрицы, являются энергоемкими. Поэтому, чтобы объяснить изменение внутреннего строения композита от менее (Рис. 4а) к более (Рис. 4б) упорядоченной пористой структуре, при этом - повышение прочности матрицы, необходимо найти внутренний источник генерации энергии. Концепция аква-комплекса дает основание идентифицировать его как энергию окислительно-восстановительного потенциала (E_{REDOX}). Так же, как и в случае процессов в С-S-H системе (Рис. 3б, в), эта энергия генерируется из водородных связей при гидратации природных С-S минералов (диопсида и волластонита), распределенных в тонкодисперсном виде в матрице ячеистого бетона

Таким образом, концепция аква-комплекса, являясь решением ключевой проблемы строительного материаловедения – физико-химической природы связывания воды в С-S-H системе, служит основой для целенаправленных и, как следствие, кардинально более простых и экономичных, технологий создания строительных композитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Байков А.А. Портландцемент и теория твердения гидравлических цементов // Техн.-экон. Вестник. 1923. Т.3, N 6-7. С. 206 –215
2. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зон гипергенеза. М: Недра, 1978. 278 с.
- 3 Stenina, N.G. Structural state and diffusion of impurities in natural quartz of different genesis // Phys. Chem. Miner. 1984. N 10. P. 180 -187.
- 4 Stenina N.G. Water-related defects in quartz // Bulletin of Geosciences. 2004. V. 79, N4. P. 251–268
- 5 Стенина Н.Г., Дистанова А.Н. Структурно-химические преобразования силикатных минералов как индикатор их генезиса (на примере пород Каахемского плутона, Тува).Новосибирск: Изд-во ОИГГМ и СОРАН.1991. 75с.
- 6 Stenina N.G. Evolution of the Mineral Matter of the Earth: Theory and Implications. Energy paradigm of geological processes. [Scientific electron book: www.steninageo.com] Novosibirsk: Academic Publishing House “GEO”. 2013. 414 p.
- 7 Bernal J.D., Fowler R.H. A theory of water and ionic solutions with particular reference to hydrogen and hydrogen ions // J. Chem. Phys. 1933. V.1, N8. P. 515–548

- 8 Stenina, N.G. REDOX as a link between organic and inorganic matter: its role in mineralization // D.G. Eliopoulos et al. (Eds.) Mineral Exploration and Sustainable Development.–Rotterdam Netherlands: Millpress, 2003. P. 857 – 860.
- 9 Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8. С. 58-68.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СДВИГОВЫХ УСИЛИЙ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ В КЕРАМИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТАХ

А.Ю. Столбоушкин, И.А. Поправка

Новокузнецк, Россия

Аннотация. Обозначены возможные проблемы межфазного взаимодействия компонентов керамоматричных композиционных материалов. Представлена схема установки для исследования сдвиговых усилий на границе раздела фаз в керамических матричных композитах.

Ключевые слова: керамический матричный композит, переходный межфазный слой, сдвиговые усилия, дисперсионная среда, дисперсионная фаза

Масштабная цифровизация всех сфер человеческой деятельности обозначила новые тренды и в строительной области. Быстрая смена технологий, новые строительные процессы, а зачастую, и новая «философия» строительства сегодня диктуют уникальные требования (суперпрочные, супертвердые, супердолговечные и др.) к строительным материалам и подходы для достижения этих требований.

В керамических материалах одним из таких подходов является разработка и создание так называемых керамоматричных композиционных материалов (КМКМ) [1, 2]. Благодаря синергизму за счет комбинации керамической основы (первый компонент) с арматурой (второй компонент) эти материалы обладают выдающимися свойствами. Они способны выдерживать очень высокие температуры, обладают высочайшей прочностью, удельной жесткостью, твердостью и часто используются в технологиях двойного назначения. Во многом эти и другие замечательные свойства композиционных материалов определяются межфазным взаимодействием компонентов, которое зависит от их термодинамической, кинетической и механической совместимости [3].

Обычно «попадание» составляющих композит компонентов в части химической кинетики и термодинамического равновесия фаз происходит и достигается далеко не всегда. В тоже время их «механическое взаимодействие» обеспечивает после обжига целостную (монолитную) структуру композита и стабильность его свойств. Механическая совместимость определяется, прежде всего, соотношением деформационных показателей и коэффициентов термического расширения дисперсионной среды (первый компонент) и дисперсной фазы (второй компонент) композита.

Как правило, КМКМ имеют третий компонент, представляющий собой границу раздела между его керамической основой (матрицей) и агрегированным наполнителем, в нашем случае, в виде ядер сферической формы. В принципе граница раздела может быть двух видов: без переходного слоя или иметь переходный слой [4, 5]. Строительные композиты обычно имеют переходный слой. Механические и физико-химические процессы, происходящие в третьем компоненте, в значительной мере будут определять эксплуатационные свойства будущего композита. Обеспечение «совместной работы»

компонентов фаз граничного слоя является необходимым условием для создания композита со стабильными характеристиками, что в дальнейшем позволит снизить риски его динамического разрушения в процессе эксплуатации.

Целью настоящей работы являлась постановка проблемы получения керамоматричных композиционных материалов со стабильными характеристиками и разработка принципиальной схемы установки для исследования сдвиговых усилий на границе раздела фаз в керамических матричных композитах.

При разработке схемы установки был принят во внимание принцип работы пластометра Д.М. Толстого [6]. Этот прибор с параллельно смещающейся пластиной, позволяет определять деформацию образцов из пластичных глиняных масс и усилие сдвига двух зубчатых параллельных пластин.

Принципиальная схема для определения сдвиговых усилий на границе раздела фаз представлена на рисунке.

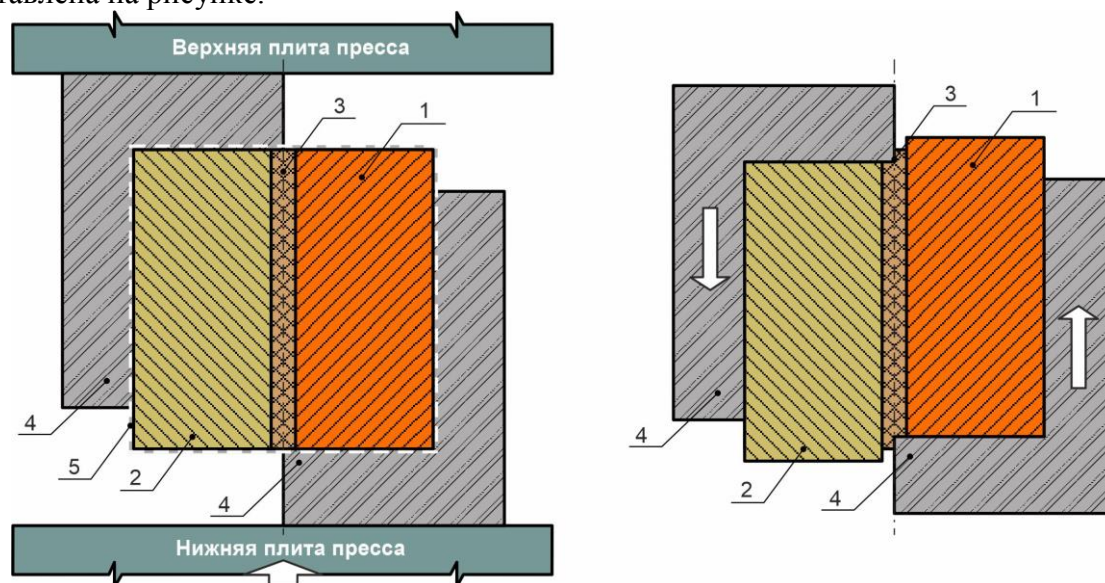


Рисунок – Принципиальная схема установки для определения сдвиговых усилий на границе раздела фаз керамических матричных композитов

За основу при разработке принципиальной схемы было взято макро моделирование граничного слоя между элементом матрицы (поз. 1, рис.) и элементом ядра (поз. 2, рис.). Для этого необходимо изготовить многослойный модельный образец в форме параллелепипеда (поз. 5, рис.). С учетом возможного переходного слоя на границе раздела фаз композита, о чем было отмечено выше, модельный образец может иметь дополнительный слой (поз. 3, рис.), сформированный из компонентов матрицы и ядра.

Для обеспечения сдвигового усилия на границе раздела фаз модельного образца при вертикальном смещении плиты пресса, предусмотрено использование двух стальных уголков элементов (поз. 4, рис.).

Разработанная схема определения сдвиговых усилий позволит найти максимальные напряжения на границе раздела фаз керамических матричных композитов и ориентировочно оценить степень взаимодействия между компонентами матрицы и ядра. Данные исследования помогут выявить зависимость этих взаимодействий от вещественного, и прежде всего, химико-минералогического состава сырьевых материалов, используемых для изготовления компонентов КМКМ.

В перспективе авторами планируется разработка различных вариантов модельного образца в части геометрии формы, размеров и количества переходных слоев на границе раздела фаз, обеспечивающих наибольшую адекватность модели реальным условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пивинский Ю.Е. Кварцевая керамика. ВКВС и керамобетоны. История создания и развития технологий. СПб.: Политехника принт, 2018. 360 с.
2. Исследования и разработки в области керамических материалов. Керамоматричные композиционные материалы (КМКМ) // Военное обозрение. Вооружение. Технологии. <https://topwar.ru/122354-issledovaniya-i-razrabotki-v-oblasti-keramicheskikh-materialov.html> (дата обращения 27.01.2021).
3. Столбоушкин А.Ю. Метод комплексного исследования переходного слоя ядро–оболочка в керамических матричных композитах полусухого прессования / А.Ю. Столбоушкин // Строительные материалы. – 2019. – № 9. – С. 28-35.
4. Тарнопольский Ю.М., Жигун И.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы: справочник. М.: Машиностроение, 1987. 223 с.
5. Хрулев В.М. Состав и структура композиционных материалов / В.М. Хрулев, Ж.Т. Тентиев, В.М. Курдюмова. – Бишкек: Полиглот, 1997. – 124 с.
6. Еркебаев М.Ж., Кулажанов Т.К., Медведков Е.Б. Основы реологии пищевых продуктов. – Алматы, 2006. – С. 145-151.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.Ю. Столбоушкин, Е.В. Истерин
Новокузнецк, Россия

Аннотация. Показана необходимость снижения средней плотности строительных материалов для изготовления однослойных наружных стен. Рассмотрен инновационный подход к получению эффективной стеновой керамики со стеклокерамическим каркасом способом пластического формования изделий.

Ключевые слова: эффективный керамический материал, стеклокристаллический каркас, ячеистая керамика, гранулированное пеностекло.

Быстрые темпы развития современного строительства диктуют необходимость создания новых подходов для получения эффективных стеновых керамических материалов, что особенно актуально в условиях повышения требований к энергосбережению зданий [1]. К сожалению, сегодня при большом разнообразии эффективных строительных материалов, массовое производство эффективного керамического кирпича со средней плотностью черепка 1200 кг/м^3 и менее практически отсутствует [2]. Практически эту нишу в керамической продукции занимают, так называемые, теплые блоки крупного формата порядка 12-14,3 NF. Как правило, такие изделия имеют щелевые пустоты, заполненные в заводских условиях эффективным утеплителем волокнистой или ячеистой структуры [3]. По теплотехническим характеристикам керамические блоки имеют высокие показатели, приведенный коэффициент теплопроводности порядка $0,2-0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, и могут использоваться при устройстве однослойных наружных стен на большей части территории России.

На сегодняшний момент проводятся активные исследования по созданию эффективной ячеистой структуры керамических материалов [4]. Данный вид материала

может применяться в однослойных наружных стенах, его прочностные и теплотехнические характеристики способны составить конкуренцию таким материалам как, пено- и газобетоны, которые широко используются при малоэтажном строительстве.

Целью настоящей работы является проведение испытаний по получению ячеистой керамики со стеклокерамическим каркасом, изготовленной пластическим способом формирования. Для решения поставленной задачи за основу был взят разработанный авторами патент на изобретение стеновых керамических материалов [5].

В качестве сырьевых компонентов использовалось глинистое сырье Ленинск-кузнецкого месторождения и гранулированное пеностекло, изготовленное на предприятии ООО «Баскей керамик» (г. Челябинск). Детальные исследования сырьевых материалов представлены в работе [6].

В отличие от запатентованного способа [5] в технологии использовалось пластическое формование керамических образцов. Для их изготовления была подготовлена двухкомпонентная шихта следующего состава, об. %:

- *глина* 30-70;
- *гранулированное пеностекло* 30-70.

С учетом низкой насыпной плотности гранулированного пеностекла использовалась объемная дозировка компонентов шихты. При изготовлении серии образцов последовательно менялось содержание гранулята с шагом 10 %. Технология приготовления образцов заключалась в следующем: глина высушивалась в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. Далее проводилось её двухстадийное измельчение в лабораторной щековой дробилке и двухкатковых бегунах до прохождения через сито 0,63. Отдозированные компоненты шихты тщательно перемешивались и увлажнялись до образования пластичной глиномассы. Приготовленные смеси выдерживались в эксикаторе для выравнивания влажности в течение 5-6 часов.

Из приготовленных смесей формовались образцы-кубики размером 40×40×40 мм. На первом этапе сушка образцов проводилась во влажных условиях, для этого они помещались в эксикатор. На втором этапе кубики сушились при комнатной температуре 20-22 °С и относительной влажности воздуха 50-60 %. На конечном этапе досушивание осуществлялось в сушильном шкафу при температуре 100-105 °С.

Обжиг образцов проводился по ступенчатому режиму при температуре 850-900 °С.

На рисунке 1 представлено поперечное сечение керамического образца, содержащего 50 % гранулированного пеностекла. Можно отметить выраженную ячеистую структуру материала. При большем увеличении (порядка ×10-12) наблюдается формирование сплошной оболочки (поз. 2, рис.) по внутренней поверхности поровой ячейки (поз. 1, рис.). Поры сферической формы размером 0,5-2,5 мм равномерно распределены по сечению керамического образца (поз. 3, рис.).

При обжиге происходит расплавление гранулы с образованием на ее месте ячейковой поры сопоставимого диаметра. Предположительно, за счет сил парциального давления и поверхностного натяжения образовавшийся расплав выстилает внутреннюю поверхность поры.

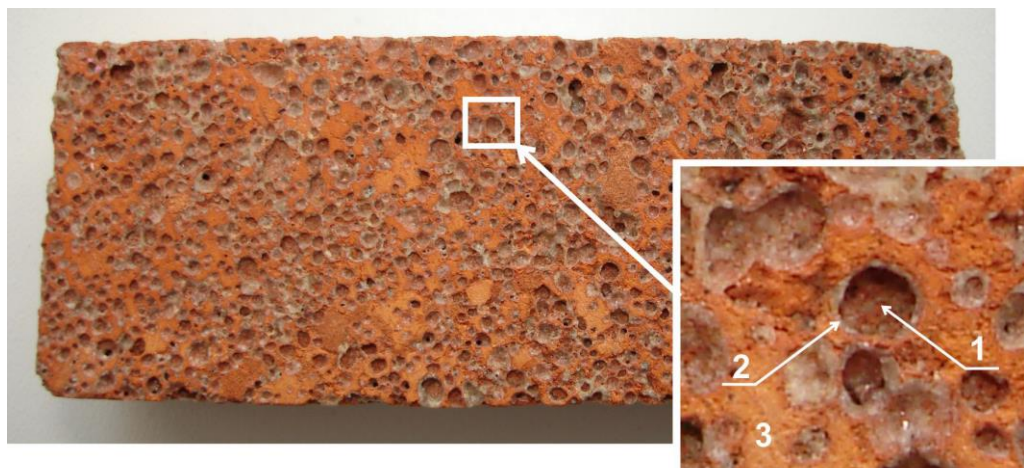


Рисунок 1 - Образец ячеистой керамики со стеклокерамическим каркасом, изготовленной пластическим способом формования: 1 – пора; 2 – стеклокристаллическая оболочка; 3 – керамический черепок

Предварительные лабораторные испытания показали, что применение добавки из пеностекла является перспективным направлением в развитии эффективной керамики. В дальнейшем запланировано проведение исследования по оптимизации состава шихты для обеспечения высоких теплофизических и прочностных показателей керамического материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин, В.Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП “Тепловая защита зданий” / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Жилищное строительство. – 2011. – № 8. – С. 2–6
2. Семенов, А.А. Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития / А.А. Семенов. // Строительные материалы. – 2020. – №12. – С.4-5.
3. Keller: сайт производителя ячеистых строительных материалов: сайт. – Германия, 2021 –. – URL: <https://www.keller.de/ru/ics/oborudovanye-dlja-zapolneniya-keramyczeskoho-kirpicza/#8> (дата обращения: 21.01.2021). – Текст: электронный.
4. Проскуровскис, А. Энергоэффективный стеновой керамзитобетонный блок/ А. Проскуровскис , Л. Г. Назинян, А.А. Тарасова, С.В. Беляева. Текст: электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2019. – №3. – С. 23-33. – URL: <http://web.b.ebscohost.com>(дата обращения: 21.01.2021).
5. Пат. 2593832 РФ. Способ изготовления стеновых керамических изделий / А.И. Иванов, А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко // Бюл. – 2016. – № 22. – С. 9.
6. Столбоушкин А.Ю. Влияние температуры обжига на формирование структуры ячеистой керамики со стеклокристаллическим каркасом / А.Ю. Столбоушкин, О.А. Фомина // Строительные материалы. – 2019. – № 4. – С. 20-26.

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОЙ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПОСЕЛЕНИЯХ

О.С. Субботин

*Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
г.Краснодар, Россия*

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с формированием общественного пространства, в целях создания комфортной среды жизнедеятельности в поселениях. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью изучения влияния общественных пространств на формирование комфортной и в тоже время устойчивой среды в населенных пунктах. Отмечается важность комплексного благоустройства и озеленения рассматриваемых территорий. Особое значение уделено архитектурному и природному наследию при разработке проектов, касающихся общественных пространств. Отмечено, что на формирование и развитие социокультурного пространства влияет влияние экологическое состояние окружающей среды.

Ключевые слова: общественное пространство, структура, площадь, архитектура, поселение, среда жизнедеятельности, территория, инновация.

FORMATION OF PUBLIC SPACE IN THE CONTEXT OF A SUSTAINABLE LIVING ENVIRONMENT IN THE SETTLEMENTS

O.S. Subbotin (Krasnodar, Russia)

The issues related to the formation of public space in order to create a comfortable living environment in settlements are considered. The relevance of this topic is due to the need to study the impact of public spaces on the formation of a comfortable and at the same time sustainable environment in human settlements. The importance of comprehensive landscaping and landscaping of the territories under consideration is noted. Special attention is paid to the architectural and natural heritage in the development of projects related to public spaces. It is noted that the formation and development of socio-cultural space is influenced by the ecological state of the environment.

Keywords: public space, structure, area, architecture, settlement, living environment, territory, settlement.

Характеризуя степень теоретической и практической разработанности, необходимо обозначить, что проблема формирования общественного пространства в системе городских и сельских поселений рассматривалась многими отечественными и зарубежными учеными.

Общественное пространство играет важную роль в нашей повседневной жизни. Во все времена человек стремился обустроить не только свое жилище, но и создать удобное и эстетически привлекательное окружающее пространство. Примечательно, что на протяжении длительного периода градостроительного развития населенных пунктов даже в архитектурно-планировочных структурах небольших поселениях было организовано общественное пространство.

Это была соборная площадь, одновременно выполняющая функцию культурного центра поселения или базарная площадь – торговый центр указанного поселения, которые в большей степени являются «неотъемлемой частью историко-культурного развития [1, с. 18]» населенного места. В основном эти архитектурно- организованные общественные пространства располагались в центре города.

Главным образом исторический центр города демонстрирует собой гармоничное единство объемно-пространственной композиции, редчайшие образцы архитектуры прошлого, архитектурных стилей [2, с. 746, 3] (рис. 1).

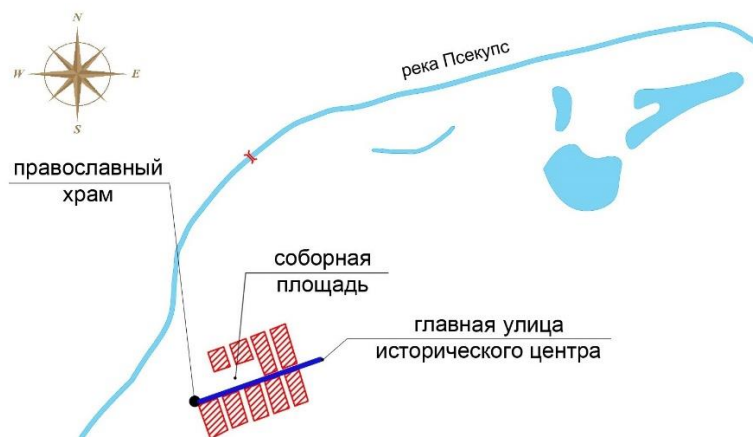


Рисунок 1- Схема исторического ядра г. Горячего Ключа Краснодарского края в период становления войсковых поселений, XIX в. Архитектурная модель О. С. Субботина .

Активное использование указанных территориальных пространств в общественной жизни поселения подтверждает наличие важности данных элементов планировочной структуры в территориальном образовании населенного пункта. Следует отметить также значимую роль правильной и рациональной организации пешеходных улиц, потребность прогуляться пешком в открытых общественных пространствах, а не только в специализированных торговых центрах и комплексах.

В ходе проектирования «должен быть положен принцип признания улиц одновременно и общественными пространствами, и транспортными артериями, поэтому им отведена роль катализатора преобразования городской среды [4, с. 11] (рис. 2).



Рисунок 2 - Исторический объект в общественном пространстве г. Горячего Ключа Краснодарского края. Ванное здание №1. Почтовая открытка, 1917 г. Издание А. Штальберга, тип 1



Рисунок 3 - Концептуальный проектный вариант благоустройства местной поселковой улицы

В современном мире происходит трансформация общественного пространства, создаются специализированные многофункциональные территории тематической направленности с точки зрения социальной и культурной среды поселения, а также для людей разных возрастных групп. Соответственно это во многом содействует формированию устойчивой среды жизнедеятельности в поселениях. Комплексное благоустройство и озеленение территории, посредством различных способов ландшафтного искусства, оригинальные малые архитектурные формы в общественных пространствах организуют привлекательную и в тоже время устойчивую среду жизнедеятельности в указанных поселениях.

Наряду с этим, «необходимо учитывать «совокупность основных наиболее устойчивых элементов планировочной структуры поселения, включая территории системы общегородских центров [5]».

Бережно сохраненные, восстановленные, отреставрированные памятники архитектурного и природного наследия, имеющие историческую значимость, водные объекты и достопримечательные места в условиях современного общественного пространства способствуют формированию общечеловеческих культурно-нравственных ценностей, которые содержат в себе огромный духовный потенциал.

Данные объекты – бесценное историко-культурное достояние нашей страны. «Они играют значительную роль в планировочной структуре города, в его архитектурно-художественном облике. Большая их часть сосредоточена вдоль главных улиц центральной части городов, которые особенно привлекательны для инвесторов [6, с. 35]».

Наряду с этим, качественно выполненные общественные пространства в значительной степени преобразовывают социально разнообразную жизнь в поселениях и заслуженно пользуются особенной популярностью среди населения. Поэтому при решении архитектурных задач в процессе проектировании общественных пространств населенных мест необходимо в первую очередь, создание таких территорий, которые были бы комфортными для людей и одновременно эстетически привлекательными с точки зрения экологического равновесия.

Особенно внимание должно быть уделено формированию общественного пространства в непосредственной близости к водным объектам. Так, например, в основе организации набережной может быть заложена концептуальная идея, своеобразно отражающая поток течения воды – композиционная гармоничность маленьких ручейков, которыми являются отдельные дорожки, вливающиеся в русло данного потока – центральное пешеходное пространство набережной – променад.



Рисунок 4 - Фрагмент устройства пешеходного пространства набережной

Таким образом, в объемно-пространственной и архитектурно-планировочной структуре любого поселения общественные пространства играют значительную роль как инструмент устойчивого развития среды жизнедеятельности [7-9]. В связи с этим при проектировании общественного пространства по разноплановым составляющим необходимо создавать единый архитектурно-художественный образ гармонично взаимосвязанный как с природным ландшафтом, так и с обликом поселения в целом. «При этом ведущая роль отводится инновациям – нововведениям, обладающим высокой эффективностью [10, с.19]». Формирование комфортного современного общественного пространства, предназначенного для различных функциональных процессов, непосредственно содействует комплексному устойчивому развитию среды жизнедеятельности в поселениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Субботин, О.С. История архитектуры православных храмов Черноморского побережья России // Жилищное строительство. 2013. № 10. С. 18-22.
2. Subbotin, O.S. Problems of reconstruction of historical center of the city. Materials Science Forum, 2018, 931 MSF, с. 745–749.
3. Хританков В.Ф., Пичугин А.П., Пчельников А.В., Смирнова О.Е. Реконструкция архитектурного ансамбля курорта «Озеро Карачи» // Жилищное строительство. 2020. № 4-5. С. 33–39.
4. Проектирование городских улиц / Коллектив авторов НАСТО; пер. с англ. 3-е изд. М.: Альпина нон-фикшн, 2018. 192 с.
5. СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования.
6. Субботин О.С. Проблемы сохранения архитектурно-градостроительного наследия в условиях современного города (на примере Краснодара) // Жилищное строительство. 2017. № 7. С. 35-40.
7. Современные общественные пространства как инструмент развития городской среды: материалы межрегион. науч.-практ. конф. 29–30 ноября 2018 года: СПбГАСУ. СПб., 2018. 160 с.
8. Subbotin, O.S. Architectural and planning principles of organization and reconstruction of coastal areas. Materials Science Forum, 2018, 931 MSF, с. 750–753.
9. Пруцын О.И. Рымашевский Б., Борусевич В. Архитектурно-историческая среда / под ред. О.И. Пруцына. Совмест. изд. СССР-ПНР. М.: Стройиздат, 1990. 408 с. : ил.
10. Субботин О.С. Инновационные материалы и технологии в олимпийских стадионах Сочи // Жилищное строительство. 2016. № 8. С. 19-25.

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ И МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.В. Тараканов

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Современное строительное производство немыслимо без новых, высокоэффективных материалов. Вместе с тем важнейшей задачей промышленности строительных материалов является разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий производства, экологически чистых материалов, изготавливаемых по малозатратным, безотходным технологиям с максимальным использованием местного сырья и отходов промышленности. Основными видами перспективных техногенных отходов в России являются золы и шлаки ТЭЦ, цветной и черной металлургии, отходы угледобычи горно – обогатительных комбинатов, переработки горючих сланцев, а также шламы предприятий стекольной и фармацевтической промышленности, химической подготовки воды на предприятиях энергетики.

Однако широкое применение техногенных отходов сдерживается определённой нестабильностью и неоднородностью многих побочных продуктов промышленности, что, в свою очередь, может привести к снижению качества строительной продукции.

На изменчивость свойств отходов промышленности оказывают влияние не только условия их образования, но также химико – минералогический состав, условия и длительность хранения в отвалах и шламонакопителях.

Известно, например, что некоторые минеральные шламы способны к частичному самоотверждению вследствие протекания кристаллизационных процессов, что в свою очередь приводит к изменению химической активности и дисперсности шламов, ухудшающих их потребительские свойства.

Поэтому приоритет в использовании техногенных отходов в строительстве должен отдаваться таким материалам, которые обладают стабильным химическим составом и физическими свойствами, определяющими основные направления их применения.

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о широком использовании гипсовых отделочных материалов в жилищном и гражданском строительстве. Распространение получили гипсовые и комплексные штукатурные растворы, сухие смеси, облицовочные панели и плиты, гипсокартонные материалы, конструкции подвесных потолков и т.д.

Анализ литературы и химического состава отходов промышленности свидетельствует о возможности применения карбонатных, гипсосодержащих и смешанных шламов в производстве строительных материалов на основе цементных, гипсовых, известковых, а также композиционных вяжущих материалов.

К этой группе отходов могут быть отнесены крупнотоннажные, минеральные, гипсосодержащие шламы стекольного производства, карбонатные шламы химической подготовки воды предприятий энергетики, гипсосодержащие и известковые шламы химико – фармацевтической, машиностроительной, химической промышленности и др. Условия нейтрализации кислых стоков на предприятиях стекольной, химико – фармацевтической и машиностроительной промышленности и строгое выдерживание технологических регламентов операций осветления воды и коагуляции осадка на предприятиях энергетики позволяют получать минеральные шламы с низкими показателями изменчивости химического состава и дисперсности. Основными компонентами гипсосодержащих шламов стекольной промышленности являются двухводный гипс, фторид кальция и некоторые растворимые соли натрия и калия. Состав карбонатных шламов предприятий энергетики представлен, главным образом, карбонатом кальция и окислами железа. В составе ряда минеральных шламов химико – фармацевтической и машиностроительной промышленности присутствуют двухводный гипс и растворимые неорганические соединения.

Одним из наиболее перспективных направлений применения гипсосодержащих шламов в строительстве является получение гипсового вяжущего, а также производство гипсовых и гипсоцементных изделий, отделочных и теплоизоляционных материалов.

Ещё с давних времен известна гипсоцементная штукатурка, способствующая очищению воздуха в помещениях и обладающая хорошими биогигиеническими свойствами. Подобные свойства гипсовых материалов обусловлены особенностями поровой структуры гипса. При получении пластичного гипсового теста обычно требуется в 2,5 – 3 раза больше воды, чем необходимо для гидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Остающаяся в массе гипсового камня химически несвязанная вода при испарении образует систему открытых пор между кристаллами гипса. Подобная структура накладывает значительные ограничения на область применения гипсовых изделий для наружной отделки зданий, вследствие возможности увлажнения и снижения физико – механических свойств. Однако для внутренней отделки гипсовые материалы незаменимы.

Широкая область применения и эффективность использования сухих строительных смесей (ССС) способствует стабильному росту их производства в России. Важной задачей при повышении качества ССС является поиск и создание новых функциональных добавок, позволяющих рационально использовать потенциал вяжущих веществ и, в первую очередь, цемента. Одним из направлений научных исследований в области разработки и оптимизации составов ССС является проектирование композиционных вяжущих, на основе которых в дальнейшем может быть разработан целый ряд эффективных материалов. Композиционные вяжущие, в большинстве случаев, представляют собой смеси цементного, известкового или гипсового вяжущего, минеральных наполнителей и химических добавок.

Повышение активности и уровня рационального использования вяжущих веществ может быть достигнуто различными путями: увеличением тонкости помола, химической и механогидрохимической активацией, оптимизацией составов и режимов твердения и т.д. Наиболее эффективным способом является совместный помол вяжущего и наполнителя. Например, совместный помол цемента и активных минеральных добавок позволяет снизить расход вяжущего в композиционной смеси до 30 – 40%.

Применение минеральных шламов в производстве много компонентных вяжущих является перспективным направлением по следующим причинам: во – первых, высокая удельная поверхность шламов позволяет значительно снижать энергетические затраты на помол, во – вторых, стабильный химический состав и низкая стоимость этих шламов значительно снижают себестоимость комплексного вяжущего в целом.

Совместное применение тонкодисперсных карбонатных шламов и подобных добавок в производстве композиционных вяжущих веществ позволяет рационально использовать кристаллохимическую активность карбонатного наполнителя и пуццоланическую активность минеральных добавок. В этом случае, возможно достижение значительных синергетических эффектов. Наилучшие результаты могут быть получены при использовании плотных опок, обладающих малой водопотребностью. Предварительные исследования показали, что совместное использование карбонатного шлама, и плотных опок, и диатомитов Пензенской и Ульяновской областей в качестве наполнителей в цементно – песчаных композициях позволяет повышать прочность составов на 60 – 70%, что обеспечивает возможность снижения вяжущего (при получении равнопрочных материалов) на 20 – 30%.

Следует отметить, что для получения строительных и, особенно отделочных материалов высокого качества, во многих случаях вовсе и не требуется достижение высокой прочности. Поэтому широкое применение композиционных вяжущих с использованием местного сырья и минеральных шламов для получения таких материалов вполне оправдано.

Таким образом, при производстве композиционных штукатурных составов и отделочных материалов, количество вяжущих веществ в комплексных смесях может быть снижено до 20 – 25% от общего количества. В масштабах регионов и страны, в целом, это позволит получать значительные экономические и экологические эффекты.

Применение нейтрализованных шламов, а также гипсовых вяжущих, получаемых на их основе, возможно при изготовлении теплоизоляционных и конструктивно – теплоизоляционных материалов и конструкций. Нами разработан материал «Гипсол», который изготавливается по принципу арболита или ксилобетона, и представляет собой смесь гипсосодержащего нейтрализованного шлама, цемента и гипсового вяжущего. Дозировка шлама определялась в зависимости от вида используемого цемента и составляла в среднем 15 – 20% от массы вяжущего. В качестве наполнителя могут быть использованы как отходы деревообработки, так и костра, дроблённые стебли конопли, льна, солома, камыш и т.д. Получены опытные образцы теплоизоляционного материала плотностью 44 – 800 кг/м³ и прочностью 0,3 – 3 Мпа. Испытания, проведенные в лаборатории ЦНИЛ г. Липецка, показали, что коэффициент теплопроводности образцов в сухом состоянии равен 0,106 – 0,117 Вт/(м*°С). Учитывая низкую стоимость нейтрализованного шлама и продуктов деревообработки, по предварительным расчетам предлагаемый материал в 4 – 6 раз дешевле 1 м³ кирпичной кладки.

Использование самоотверждающихся нейтрализованных шламов и гипсового вяжущего, полученного на его основе в производстве гипсовых и гипсокартонных отделочных материалов, позволяет значительно сократить расход традиционного гипсового вяжущего без снижения прочностных показателей и ухудшения декоративных свойств материалов.

Высокая дисперсность и исключительная белизна нейтрализованного шлама Никольского завода позволяет рекомендовать его в качестве тонкодисперсного наполнителя в производстве водных малярных составов. Водный раствор шлама может быть использован как индивидуально, так и в составе комплексных известковых, меловых, клеевых полимерных и композиционных окрасочных смесей.

Применение нейтрализованных шламов в качестве наполнителя при изготовлении шпатлевок, подмазочных и выравнивающих паст, замазок и т.д. позволяет сократить или исключить одну из наиболее энергоёмких операций приготовления композиций – перетирание. Для получения однородного тонкодисперсного состава достаточным становится лишь тщательное перемешивание смеси. Количество нейтрализованного шлама в отделочных составах изменяется в широких пределах и определяется экспериментальным путем на стадии проектирования заданных свойств материалов. Следует отметить, что присутствие в составе шлама Никольского завода фтористого кальция обеспечивает не только белизну, но и высокие антисептические свойства малярных составов, приготовленных на его основе. Побелочные пасты, водоземлюсионные краски, шпатлевки, затирки, подмазочные пасты и т.д. способствуют предотвращению появления плесени на отделанных поверхностях.

В качестве активных минеральных добавок в композиционных вяжущих могут быть использованы не только карбонатные материалы, но и широко распространенные в средней полосе России кремнезёмсодержащие добавки, такие как тонкомолотые опоки, глаукониты и диатомиты.

Были исследованы составы гипсового вяжущего, в которых часть гипса была заменена тонкомолотым с $S_{уд}$ больше 20000 см²/г обожженным диатомитом производства ООО «Диамикс» г. Ульяновск, имеющим товарное название «Биокремнезём». Отличительной особенностью биокремнезёма является ярко – оранжевый цвет. В рассмотренных составах соотношение гипс : биокремнезём составляло 4:1 и 3:2. Для сравнения в качестве контрольного был изготовлен состав из чистого гипса.

Гипс и биокремнезём предварительно смешивались до однородного состояния в сухом виде в заданной пропорции в смесителе типа «пьяная бочка» до полной гомогенизации в течение 10 минут. Количество воды бралось из условия получения одинакового распыла смеси из стандартного вискозиметра Суттарда. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания образцов на основе гипсокремнезёмистого вяжущего

№ п/п	Компоненты смеси	Соотно- шение компо- нентов смеси, %	В/Г	В/Т	Плотность образцов во влажном состоянии, кг/м ³	Плотность образцов в сухом состоянии, кг/м ³	Прочность, Мпа, R _{сж} /R _{изг}
1	Гипс	100	0,67	0,67	1579	1071	2,9/2,1
2	Гипс	80	0,83	0,67	1559	1070	4,4/2,4
	Биокремнезём	20					
3	Гипс	60	1,11	0,67	1556	1069	3,8/2,2
	Биокремнезём	40					

Из таблицы видно, что введение биокремнезёма в состав не повлияло на водопотребность смеси при получении одинакового расплыва. Во всех составах он составил 180 мм, а водопотребность – 67%. Кроме того, введение в состав гипсового вяжущего биокремнезёма позволило увеличить прочность образцов на сжатие на 52% (4,4 МПа) и 31% (3,8 МПа) при содержании биокремнезёма 20% и 40% соответственно. Также следует отметить, что при введении ярко – оранжевого биокремнезёма образцы приобрели аналогичную окраску, интенсивность которой зависит от его содержания.

Таким образом, проведенные исследования разработанных добавок и материалов показали целесообразность применения шламов в строительном производстве. Следует отметить, что разработка строительных материалов на основе вторичного минерального сырья и местных природных ресурсов является перспективным направлением в строительстве, поскольку подобные теплоизоляционные материалы обладают повышенными гигиеническими свойствами по сравнению с синтетическими, полученными на основе пластмасс, органических смол и т.д. Человек чувствует себя гораздо комфортнее в помещении, ограждающие конструкции и отделка которого выполнены из материалов на основе минерального сырья или близких по составу к природным.

В заключении отметим, что применение вторичного сырья в производстве строительных материалов позволяет строительным предприятиям не только получать высокие экономические эффекты за счёт низкой стоимости шлама, экономии цемента и повышения качества строительных растворов, но и в комплексе решать проблему снижения уровня загрязнения окружающей среды региона.

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ И МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.В. Тараканов, Е.А. Белякова

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Современное строительное производство немыслимо без новых, высокоэффективных материалов. Вместе с тем важнейшей задачей промышленности строительных материалов является разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий производства, экологически чистых материалов, изготавливаемых по малозатратным, безотходным технологиям с максимальным использованием местного сырья и отходов промышленности. Основными видами перспективных техногенных отходов в России являются золы и шлаки ТЭЦ, цветной и черной металлургии, отходы угледобычи горно-обогатительных комбинатов, переработки горючих сланцев, а также шламы предприятий стекольной и фармацевтической промышленности, химической подготовки воды на предприятиях энергетики.

Однако широкое применение техногенных отходов сдерживается определённой нестабильностью и неоднородностью многих побочных продуктов промышленности, что, в свою очередь, может привести к снижению качества строительной продукции.

На изменчивость свойств отходов промышленности оказывают влияние не только условия их образования, но также химико-минералогический состав, условия и длительность хранения в отвалах и шламонакопителях.

Известно, например, что некоторые минеральные шламы способны к частичному самоотверждению вследствие протекания кристаллизационных процессов, что в свою очередь приводит к изменению химической активности и дисперсности шламов, ухудшающих их потребительские свойства.

Поэтому приоритет в использовании техногенных отходов в строительстве должен отдаваться таким материалам, которые обладают стабильным химическим составом и физическими свойствами, определяющими основные направления их применения.

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о широком использовании гипсовых отделочных материалов в жилищном и гражданском строительстве. Распространение получили гипсовые и комплексные штукатурные растворы, сухие смеси, облицовочные панели и плиты, гипсокартонные материалы, конструкции подвесных потолков и т.д.

Анализ литературы и химического состава отходов промышленности свидетельствует о возможности применения карбонатных, гипсосодержащих и смешанных шламов в производстве строительных материалов на основе цементных, гипсовых, известковых, а также композиционных вяжущих материалов.

К этой группе отходов могут быть отнесены крупнотоннажные, минеральные, гипсосодержащие шламы стекольного производства, карбонатные шламы химической подготовки воды предприятий энергетики, гипсосодержащие и известковые шламы химико-фармацевтической, машиностроительной, химической промышленности и др. Условия нейтрализации кислых стоков на предприятиях стекольной, химико-фармацевтической и машиностроительной промышленности и строгое выдерживание технологических регламентов операций осветления воды и коагуляции осадка на предприятиях энергетики позволяют получать минеральные шламы с низкими показателями изменчивости химического состава и дисперсности. Основными компонентами гипсосодержащих шламов стекольной промышленности являются двухводный гипс, фторид кальция и некоторые растворимые соли натрия и калия. Состав карбонатных шламов предприятий энергетики представлен, главным образом, карбонатом кальция и окислами железа. В составе ряда минеральных шламов химико-фармацевтической и машиностроительной промышленности присутствуют двухводный гипс и растворимые неорганические соединения.

Одним из наиболее перспективных направлений применения гипсосодержащих шламов в строительстве является получение гипсового вяжущего, а также производство гипсовых и гипсоцементных изделий, отделочных и теплоизоляционных материалов.

Ещё с давних времен известна гипсоцементная штукатурка, способствующая очищению воздуха в помещениях и обладающая хорошими биогигиеническими свойствами. Подобные свойства гипсовых материалов обусловлены особенностями поровой структуры гипса. При получении пластичного гипсового теста обычно требуется в 2,5-3 раза больше воды, чем необходимо для гидратации $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$. Остающаяся в массе гипсового камня химически несвязанная вода при испарении образует систему открытых пор между кристаллами гипса. Подобная структура накладывает значительные ограничения на область применения гипсовых изделий для наружной отделки зданий, вследствие возможности увлажнения и снижения физико – механических свойств. Однако для внутренней отделки гипсовые материалы незаменимы.

Широкая область применения и эффективность использования сухих строительных смесей (ССС) способствует стабильному росту их производства в России. Важной задачей при повышении качества ССС является поиск и создание новых функциональных добавок, позволяющих рационально использовать потенциал вяжущих веществ и, в первую очередь, цемента. Одним из направлений научных исследований в области разработки и оптимизации составов ССС является проектирование композиционных вяжущих, на основе которых в дальнейшем может быть разработан целый ряд эффективных материалов. Композиционные вяжущие, в большинстве случаев, представляют собой смеси цементного, известкового или гипсового вяжущего, минеральных наполнителей и химических добавок.

Повышение активности и уровня рационального использования вяжущих веществ может быть достигнуто различными путями: увеличением тонкости помола, химической и механогидрохимической активацией, оптимизацией составов и режимов твердения и т.д. Наиболее эффективным способом является совместный помол вяжущего и наполнителя. Например, совместный помол цемента и активных минеральных добавок позволяет снизить расход вяжущего в композиционной смеси до 30-40%.

Применение минеральных шламов в производстве много компонентных вяжущих является перспективным направлением по следующим причинам: во-первых, высокая удельная поверхность шламов позволяет значительно снижать энергетические затраты на помол, во-вторых, стабильный химический состав и низкая стоимость этих шламов значительно снижают себестоимость комплексного вяжущего в целом.

Совместное применение тонкодисперсных карбонатных шламов и подобных добавок в производстве композиционных вяжущих веществ позволяет рационально использовать кристаллохимическую активность карбонатного наполнителя и пуццоланическую активность минеральных добавок. В этом случае, возможно достижение значительных синергетических эффектов. Наилучшие результаты могут быть получены при использовании плотных опок, обладающих малой водопотребностью. Предварительные исследования показали, что совместное использование карбонатного шлама, и плотных опок, и диатомитов Пензенской и Ульяновской областей в качестве наполнителей в цементно-песчаных композициях позволяет повышать прочность составов на 60-70%, что обеспечивает возможность снижения вяжущего (при получении равнопрочных материалов) на 20-30%.

Следует отметить, что для получения строительных и, особенно отделочных материалов высокого качества, во многих случаях вовсе и не требуется достижение высокой прочности. Поэтому широкое применение композиционных вяжущих с использованием местного сырья и минеральных шламов для получения таких материалов вполне оправдано.

Таким образом, при производстве композиционных штукатурных составов и отделочных материалов, количество вяжущих веществ в комплексных смесях может быть снижено до 20-25% от общего количества. В масштабах регионов и страны, в целом, это позволит получать значительные экономические и экологические эффекты.

Применение нейтрализованных шламов, а также гипсовых вяжущих, получаемых на их основе, возможно при изготовлении теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов и конструкций. Нами разработан материал «Гипсол», который изготавливается по принципу арболита или ксилобетона, и представляет собой смесь гипсосодержащего нейтрализованного шлама, цемента и гипсового вяжущего. Дозировка шлама определялась в зависимости от вида используемого цемента и составляла в среднем 15-20% от массы вяжущего. В качестве наполнителя могут быть использованы как отходы деревообработки, так и костра, дроблённые стебли конопли, льна, солома, камыш и т.д. Получены опытные образцы теплоизоляционного материала плотностью 44-800 кг/м³ и прочностью 0,3-3 МПа. Испытания, проведенные в лаборатории ЦНИЛ г. Липецка, показали, что коэффициент теплопроводности образцов в сухом состоянии равен 0,106-0,117 Вт/(м·°С). Учитывая низкую стоимость нейтрализованного шлама и продуктов деревообработки, по предварительным расчетам предлагаемый материал в 4-6 раз дешевле 1 м³ кирпичной кладки.

Использование самоотверждающихся нейтрализованных шламов и гипсового вяжущего, полученного на его основе в производстве гипсовых и гипсокартонных отделочных материалов, позволяет значительно сократить расход традиционного гипсового вяжущего без снижения прочностных показателей и ухудшения декоративных свойств материалов.

Высокая дисперсность и исключительная белизна нейтрализованного шлама Никольского завода позволяет рекомендовать его в качестве тонкодисперсного наполнителя в производстве водных малярных составов. Водный раствор шлама может быть использован как индивидуально, так и в составе комплексных известковых, меловых, клеевых полимерных и композиционных окрасочных смесей.

Применение нейтрализованных шламов в качестве наполнителя при изготовлении шпатлевок, подмазочных и выравнивающих паст, замазок и т.д. позволяет сократить или исключить одну из наиболее энергоёмких операций приготовления композиций – перетирание. Для получения однородного тонкодисперсного состава достаточным становится лишь тщательное перемешивание смеси. Количество нейтрализованного шлама в отделочных составах изменяется в широких пределах и определяется экспериментальным путем на стадии проектирования заданных свойств материалов. Следует отметить, что присутствие в составе шлама Никольского завода фтористого кальция обеспечивает не только белизну, но и высокие антисептические свойства малярных составов, приготовленных на его основе. Побелочные пасты, водоземлюльсионные краски, шпатлевки, затирки, подмазочные пасты и т.д. способствуют предотвращению появления плесени на отделанных поверхностях.

В качестве активных минеральных добавок в композиционных вяжущих могут быть использованы не только карбонатные материалы, но и широко распространенные в средней полосе России кремнезёмсодержащие добавки, такие как тонкомолотые опоки, глаукониты и диатомиты.

Были исследованы составы гипсового вяжущего, в которых часть гипса была заменена тонкомолотым с $S_{уд}$ больше 20000 см²/г обожженным диатомитом производства ООО «Диамикс» г. Ульяновск, имеющим товарное название «Биокремнезём». Отличительной особенностью биокремнезёма является ярко – оранжевый цвет. В рассмотренных составах соотношение гипс : биокремнезём составляло 4:1 и 3:2. Для сравнения в качестве контрольного был изготовлен состав из чистого гипса.

Гипс и биокремнезём предварительно смешивались до однородного состояния в сухом виде в заданной пропорции в смесителе типа «пьяная бочка» до полной гомогенизации в течение 10 минут. Количество воды бралось из условия получения одинакового расплыва смеси из стандартного вискозиметра Суттарда. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания образцов на основе гипсокремнезёмистого вяжущего

№	Компоненты смеси	Соотношение компонентов смеси, %	В / Г	В / Т	Плотность образцов во влажном состоянии, кг/м ³	Плотность образцов в сухом состоянии, кг/м ³	Прочность, МПа, R _{сж} /R _{изг}
1	Гипс	100	0,67	0,67	1579	1071	2,9/2,1
2	Гипс	80	0,83	0,83	1559	1070	4,4/2,4
	Биокремнезём	20	3	7			
3	Гипс	60	1,67	0,67	1556	1069	3,8/2,2
	Биокремнезём	40	1	7			

Из таблицы видно, что введение биокремнезёма в состав не повлияло на водопотребность смеси при получении одинакового распыла. Во всех составах он составил 180 мм, а водопотребность – 67%. Кроме того, введение в состав гипсового вяжущего биокремнезёма позволило увеличить прочность образцов на сжатие на 52% (4,4 МПа) и 31% (3,8 МПа) при содержании биокремнезёма 20% и 40% соответственно. Также следует отметить, что при введении ярко – оранжевого биокремнезёма образцы приобрели аналогичную окраску, интенсивность которой зависит от его содержания.

Таким образом, проведенные исследования разработанных добавок и материалов показали целесообразность применения шламов в строительном производстве. Следует отметить, что разработка строительных материалов на основе вторичного минерального сырья и местных природных ресурсов является перспективным направлением в строительстве, поскольку подобные теплоизоляционные материалы обладают повышенными гигиеническими свойствами по сравнению с синтетическими, полученными на основе пластмасс, органических смол и т.д. Человек чувствует себя гораздо комфортнее в помещении, ограждающие конструкции и отделка которого выполнены из материалов на основе минерального сырья или близких по составу к природным.

В заключении отметим, что применение вторичного сырья в производстве строительных материалов позволяет строительным предприятиям не только получать высокие экономические эффекты за счёт низкой стоимости шлама, экономии цемента и повышения качества строительных растворов, но и в комплексе решать проблему снижения уровня загрязнения окружающей среды региона.

ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ ПЛАНИРОВАНИЕМ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина, Л.А. Барышок, Ульянова О.В.

Новосибирск, Россия

Аннотация. Представлены результаты оптимизации прочностных свойств керамических образцов от технологических параметров их получения и состава шихты. Запланирован и выполнен четырехфакторный эксперимент с изменением каждого фактора на двух уровнях: давление прессования, температура обжига, содержание в шихте марганецсодержащего отхода и волластонита. Установлена функциональная зависимость предела прочности при сжатии обожженных образцов от указанных параметров.

Ключевые слова: стеновая керамика, марганецсодержащий отход, волластонит, оптимизация состава, планирование многофакторного эксперимента, прочность черепка.

Annotation. The results of optimization of the strength properties of ceramic samples from the technological parameters of their preparation and the composition of the charge are presented. A four-factor experiment was planned and carried out with a change in each factor at two levels: pressing pressure, firing temperature, content of manganese-containing waste and wollastonite in the charge. The functional dependence of the compressive strength of fired specimens on the specified parameters has been established.

Key words: wall ceramics, manganese-containing waste, wollastonite, composition optimization, planning a multifactor experiment, shard strength.

Керамический кирпич остается основным строительным материалом для жилищного строительства. По данным за 2018 г. структура строительства по видам стеновых материалов выглядит следующим образом (%): кирпичное – 29,5; панельное – 7,9; блочное – 14,4; монолитное – 21,8; деревянное – 9,4; каменное – 2,0; прочее – 15,0 [1].

В России функционирует более 270 предприятий керамического кирпича. Большинство заводов расположено в Европейской части страны и на Урале. Во многих регионах ощущается дефицит глинистых пород, пригодных для выпуска кирпича пластического формования. Рекомендуются развивать производство кирпича полусухого прессования [2].

При использовании для производства кирпича сырья с низким содержанием глинистых частиц, важной задачей является повышение прочности керамического кирпича. Этот вопрос может быть решен за счет использования способов активизации [3, 4], а также введением в шихты различных добавок, в том числе отходов.

В экспериментах использовались: глинистая порода Каменского месторождения – легкий пылеватый суглинок4 добавки – волластонит и отход ферросиликомарганца Западно-Сибирского электро-металлургического завода в г. Новокузнецк, осаждаемый в циклонах. Пылеватый отход имеет сложный минеральный состав. Окрашивающих черепок компонентов два: соединения, содержащие марганец, кальций и браунит (черная окраска), и содержащее магний и оксид марганца – светло-желтая окраска. В комбинации с кирпичной окраской глинистого сырья при обжиге они дают керамическому черепку темно-шоколадный цвет.

Эксперимент был проведен по плану [5], приведенном в таблице 1. Для каждого фактора, исследуемого в данном эксперименте, принят условный нулевой уровень.

Условный нулевой состав: давление прессования – 20 МПа; температура обжига – 1000 °С; количество марганецсодержащей добавки – 3 % мас.; количество волластонита, 6 % мас.

Контрольный состав выполнен при $X_1=25$ МПа, $X_2=1050$ °С, X_3 и X_4 равны 0. В таблице 2 представлены результаты опытов.

Поскольку ГОСТ 530-2012 не предъявляет требования к водопоглощению лицевого кирпича, расчеты произведены только по прочности.

Таблица 1

Значения факторов варьирования

Наименование фактора	Условное обозначение	Уровень варьирования	
		-1	+1
Давление прессования, МПа	X_1	15	25
Температура обжига, °С	X_2	950	1050
Количество марганецсодержащей добавки, % мас.	X_3	1	5
Количество волластонита, % мас	X_4	3	9

По формулам 1-3 выполнен расчет коэффициентов регрессии:

Расчет коэффициентов регрессии проведен по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}_N}{N}, \quad (1)$$

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{iN} \bar{y}_N}{N}, \quad (2)$$

$$b_{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{iN} x_{jN} \bar{y}_N}{N}, \quad i \neq j \quad (3)$$

где $N=2^i$ – число вариантов в матрице планирования, (i – количество факторов, $i=4$)
 $N=16$,

$\bar{y}_N$ – значения среднего выхода процесса в N -ом варианте (среднее из 5 образцов),

x_i^N – значения данного фактора в N -ом варианте.

Влажность пресс-порошка во всех экспериментах составляла 12 мас. %.

Дисперсия воспроизводимости определялась по формуле:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (y - \bar{y})}{N(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}, \quad (4)$$

Для предела прочности при сжатии $S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (y - \bar{y})}{N(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} = 19,988$. Из уравнений регрессии исключались факторы, слабо влияющие на значение отклика. Доверительный интервал коэффициентов регрессии Δb_i имеет вид:

$$\Delta b_i = \pm \frac{t_{\alpha} S_{\{y\}}}{\sqrt{N}} \quad (5).$$

где t_{α} – коэффициента Стьюдента.

$t_{\alpha} = 2,13$ при доверительном интервале 0,95.

Результаты испытаний образцов

№ сос- тава	Значения факторов варьирования				Свойства образцов	
	Давление прессова- ния, МПа	Температура обжига, °С	Кол-во марга- нецсодержащей добавки, % мас.	Кол-во волластони та, % мас.	прочность при сжатии, МПа	водопоглоще ние, мас. %,
0	20	1000	3	6	35,6	14,8
1	15	950	1	3	32,7	14,6
2	25	950	1	3	34,5	14,5
3	15	1050	1	3	33,8	13,1
4	25	1050	1	3	35,6	12,4
5	15	950	5	3	32,9	13,9
6	25	950	5	3	34,6	14,1
7	15	1050	5	3	42,9	13,6
8	25	1050	5	3	43,6	13,7
9	15	950	1	9	33,6	13,1
10	25	950	1	9	35,2	15,4
11	15	1050	1	9	33,9	14,1
12	25	1050	1	9	36,9	15,2
13	15	950	5	9	33,8	15,2
14	25	950	5	9	34,9	14,9
15	15	1050	5	9	44,9	14,1
16	25	1050	5	9	45,5	14,0
К	25	1050	-	-	39,0	13,5

Коэффициент b_i модели считается значимым, если его абсолютная величина больше доверительного интервала, т.е. $|b_i| > |\Delta b_i|$. Незначимые коэффициенты исключались. В конечном виде уравнение имеет вид:

- для прочности при сжатии

$$R_{сж} = 39,1 + 2,806 \cdot X_2 + 2,306 \cdot X_3 + 2,281 \cdot X_2 X_3, \quad (6).$$

Из уравнения регрессии (6) видно, что наибольшее влияние на предел прочности при сжатии оказывает температура обжига, в меньшей степени – количество марганецсодержащей добавки, примерно такое же значение имеет двойное взаимодействие между этими факторами. Пользуясь уравнением (6) можно рассчитать максимальную прочность керамического черепка при количестве марганецсодержащего отхода 5 мас. % и температуре обжига 1050 °С. $R_{сж \max 46,49} = 46,49$ МПа.

Таким образом математическое планирование экспериментов позволяет при максимальном сокращении объема исследовательских работ получить необходимые зависимости отклики от изучаемых технологических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзорная статья по обзору российского рынка [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.marketcenter.ru/content/doc-2-12692/html>.
2. Гуров Н.Г. Заводы керамических стеновых материалов III поколения как современная база жилищного строительства в Российской провинции // Строит. материалы. 2011. №4. С. 6-8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16692026>.

3. Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Филин Н.С. Технологические принципы повышения качества керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного сырья // Известия вузов. Строительство. 2019. № 7. С. 35- 48. Materials // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284, pp. 910–915. DOI:10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48.
4. Акст Д.В., Столбоушкин А.Ю. определение оптимального состава шихты для получения декоративного керамического кирпича с марганецсодержащими отходами // сборник научных трудов «Эффективные материалы и технологии для транспортного и сельскохозяйственного строительства», по материалам научно-технической конференции с международным участием. 2020. Новосибирск. С. 6-10.
5. Мухачёв, В.А. Планирование и обработка результатов: учебное пособие / В.А. Мухачев. - Томск – 2007. – 218 с.

УДК 693.5

УЧЕТ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МНОГОПУСТОТНОЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА

В.И.Трофимов, В.А.Ясюкович

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Аннотация. В статье рассматривается вопрос повышения эффективности формования облегченных бетонных изделий с учетом физического состояния смеси. Рассмотрены способы получения облегченных бетонных изделий (плит перекрытия, блоков и др.). Выполнены исследования по учету оптимального реологического состояния модельной мелкозернистой бетонной смеси при формировании многопустотной структуры бетонного стенового блока по новой технологии.

Ключевые слова: бетон, облегченные бетонные изделия, пустотность, физическое состояние, пустотелые элементы.

В современном строительстве широкое распространение получили изделия из облегченного бетона, которые применяют при возведении стен, например, бетонные пустотные блоки, или при устройстве перекрытий, например, многопустотные плиты [1].

Поэтому одной из важных задач на сегодняшний день является вопрос снижения массы конструкции и конструктивных элементов зданий, что позволит решать сложные архитектурные задачи и расширит область применения конструкционных легких бетонов при строительстве многоэтажных и высотных зданий, возведении большепролетных сооружений с учетом обеспечения экономической эффективности [1,2].

В настоящее время существуют, в основном, три способа производства облегченных бетонных изделий: за счет применения керамических и стеклянных микросфер [3-5], легких заполнителей [6], а также за счет использования извлекаемых пустотообразователей или применения неизвлекаемых пустотелых вкладышей [6-8].

Микросферы отличаются тремя важными свойствами: высокой прочностью при объемном сжатии, высокой температурой плавления и высокой стойкостью к агрессивной среде, что позволяет существенно улучшить качество бетона с учетом условий его применения и при этом значительно снизить массу [3,4].

Однако широкое применение микросфер (стеклянных или керамических) сдерживается из-за их достаточно высокой стоимости, обусловленной сложной технологией получения [3,4].

Известно, что на физическое состояние дисперсной системы, в частности, на удобоукладываемость влияет крупность или удельная поверхность частиц. При уменьшении размеров частиц подвижность бетонной смеси снижается. Поэтому влияние этого фактора необходимо учитывать при включении микросфер в состав бетонной смеси. При этом надо

также учитывать, что необоснованное увеличение содержания микросфер в бетонной смеси, при ее твердении может приводить к развитию процесса трещинообразования. Поэтому для снижения действия эффекта деструкции бетона при включении в него микросфер следует использовать соответствующие добавки, что, однако, приводит к повышению стоимости изделий [4].

Другим известным современным способом получения облегченных изделий и конструкций является применение неизвлекаемых пустотелых вкладышей (макросфер, коробок и др.) [7].

В настоящее время наибольшее применение пустотелых вкладышей нашло в технологиях Airdeck, BubbleDeck, Cobiax и Daliform Group (рис. 1) [7,8]. Использование бетонных изделий с включением пустотелых вкладышей позволяет заметно уменьшить расход применяемых материалов и за счет этого уменьшить нагрузку на фундамент сооружения.

В условиях завода согласно разработанным технологиям пустотообразователи укладываются в ячейки арматурных изделий (сеток, каркасов), после чего идет отправка собранной конструкции на стройплощадку для укладки в опалубку и заполнения бетоном [7,8].

Однако все рассмотренные технологии с использованием пустотелых элементов, например, макросфер должны быть согласованы с размерами отверстий в арматурных элементах, что снижает эффективность использования таких технологий. [7,8]. При этом пустотелые элементы распределены в одной плоскости – плоскости арматурных элементов, а не в объеме, что снижает эффективность работы арматурных элементов и ослабляет эту зону конструкции.

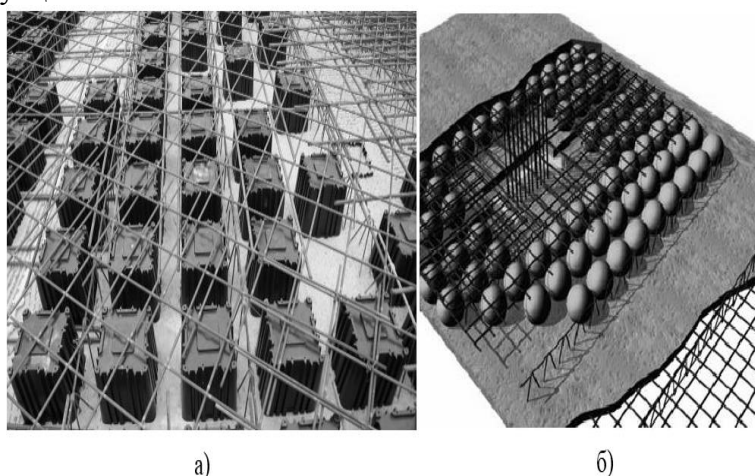


Рисунок 1 - Примеры облегченных конструкций с использованием пустотелых вкладышей Airdeck - а); макросфер BubbleDeck - б)

Кроме этого, для рассмотренных технологий с использованием пустотелых вкладышей необходимо учитывать физическое состояние смеси, чтобы обеспечить равномерное ее распределение и плотность во всем объеме изделия (конструкции), особенно в труднодоступных зонах контактирования пустотелых вкладышей с арматурными элементами.

Учитывая отмеченные недостатки в производстве облегченных конструкций, связанные с вынужденной привязкой пустотелых элементов к размерам арматурных изделий, была предложена новая технология их установки, не зависимо от размеров и расположения арматурных элементов (рис. 2) [9].

В такой конструкции панели пустотелые элементы выполнены в виде пакетов, состоящие из сетчатого полимерного чехла, заполненного пластиковыми пустотелыми шарами, которые уложены в несколько ниток по длине панели и скреплены с напряженной арматурой или сеткой.

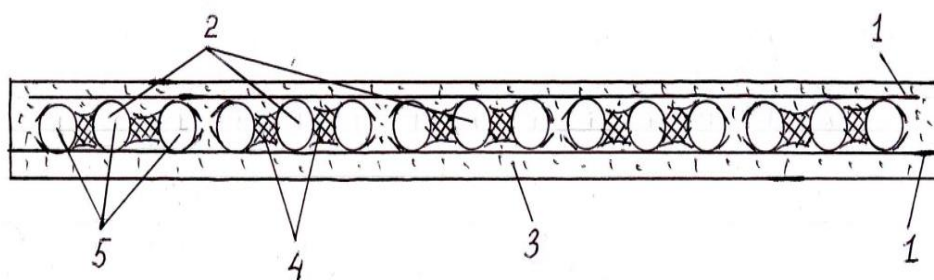


Рисунок 2 - Конструктивная схема многопустотной панели перекрытия с непрерывным расположением сетчатых пакетов, заполненные полимерными пустотелыми шарами.

1 – сетка (каркас); 2 – пакеты; 3 – бетонная матрица; 4 – сетчатый чехол; 5 – пластиковые пустотелые шары

В случае изготовления пустотелых стеновых блоков из тяжелого бетона или керамзитобетона предлагается другое техническое решение.

В отличие от технологии BubbleDeck макросферы могут быть различного диаметра и устанавливаются свободно во всем объеме изделия. Для этого используется специальный шаблон с отверстиями под макросферы. Через эти отверстия на стадии формования производится послойное погружение макросфер в бетонную смесь. Это позволяет значительно упростить технологию изготовления многопустотной плиты [10].

Эффективность применения такого технического решения обеспечивается возможностью организации в бетонной матрице строго равномерного распределения дискретных пустот. Это приводит к образованию непрерывных структурных связей между пустотами и, соответственно, повышает прочность плиты на изгиб.

Однако для оценки работоспособности предложенного способа изготовления многопустотных стеновых блоков с равномерным распределением пустот в его объеме необходимо определение критического усилия вдавливания вкладышей в (модельную цементно-песчаную) бетонную смесь с учетом ее реологического состояния и прочности на сжатие вкладышей – пустотообразователей.

Условие погружения пустотообразователей – полимерных вкладышей в бетонную смесь с учетом ее реологического состояния имеет вид:

$$R > P_{\text{мак}}, \quad (1)$$

где R – прочность на сжатие вкладыша, МПа, $P_{\text{мак}}$ – предел текучести, МПа. В свою очередь $R = F_{\text{разр}}/S$, где S – площадь сечения стенок полимерных вкладышей - $1,81 \text{ см}^2$ (при толщине стенки 3,5 мм и длине (диаметре) 20 мм); $F_{\text{разр}}$ – разрушающее усилие на вкладыши, определенное на прессе ПРГ-1-50, кН.

Предел текучести рассчитывается по формуле Ребиндера П.А.:

$$P_{\text{мак}} = k P / h^2, \quad (2)$$

где P – усилие погружения конуса (в нашем случае вес балансирного конуса Васильева - 76 г.); k – постоянная конуса (для угла конуса 30° $k = 0,959$); h – глубина погружения конуса в смесь, см.

Испытание по определению предела текучести проводилось на свежеприготовленной смеси заданного состояния путем погружения конуса по методике П.А. Ребиндера с расчетом предельного напряжения сдвига $P_{\text{мак}}$.

По результатам испытаний вкладышей и реологического состояния смеси, была оценена возможность их свободного погружения в модельную цементно-песчаную смесь с $B/C = 0,5$. Были получены средние значения: $R = 165,74 \text{ кг/см}^2$ (16,574 МПа), $P_{\text{мак}} = 0,149 \text{ кг/см}^2$ (0,0149 МПа). Из них видно, что прочность используемых вкладышей R значительно больше структурной прочности смеси $P_{\text{мак}}$ заданного реологического состояния. Значит, условие работоспособности пустотелых вкладышей соблюдено и можно рекомендовать

технологии формования многопустотных стеновых блоков без применения специальных устройств или сложных форм.

В заключение можно сказать, что на основе выполненного анализа известных источников, были рассмотрены современные способы получения облегченных бетонных изделий (плит перекрытия, блоки и др.) и был предложен метод повышения пустотности бетонных изделий, в основе которого заложен принцип снижения массы при сохранении достаточной прочности за счет равномерного распределения пустот в объеме изделия. С учетом выявленных недостатков предложены две более эффективные технологии изготовления облегченных плит перекрытия и стеновых блоков. При этом в отличие от существующих технологий производства облегченных панелей и блоков на основе использования пустотелых вкладышей предлагается упрощенная технология их формования, которая отличается свободной установкой пустотелых вкладышей в объеме изделия с учетом физического состояния смеси, что доказано результатами испытаний. Усовершенствованная технология формования многопустотных стеновых блоков позволит также упростить процесс контроля режимов технологических операций и качества изготовленных изделий.

В целом, использование предложенных технических решений позволит повысить эффективность производства многопустотных изделий и конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Динамика развития высокопрочных лёгких бетонов. Анализ мировых достижений / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Международный научно-исследовательский журнал: Research journal of international studies, 2013. – №12-1 (19). – С. 87-94.
2. Максименко А.Т., Митропольская А.С., Жаров М.А. Опыт применения конструкций из легкого бетона в современном строительстве / А.Т. Максименко, А.С. Митропольская, М.А. Жаров // Фундаментальные и прикладные научные исследования: Актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей VIII Международной научно-практической конференции: в 4 ч. Пенза. 2017. - С.111-114.
3. Гринь О.В. Применение ячеистых бетонов с полыми керамическими микросферами // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. №7. - С. 111-114.
4. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Деформации высокопрочных легких бетонов на полых микросферах и способ их снижения / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Строительные материалы. 2015. №9. - С. 23-30.
5. Кудерин М.К., Бабиев К.Д. Алюмосиликатная микросфера в решении задач энергосбережения и повышения эффективности зданий и сооружений / М.К. Кудерин, К.Д. Бабиев // Журн. Наука и техника Казахстана. 2019. №1. - С. 94-101.
6. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник для вузов - М.: АСВ, 2007. - 524 с.
7. Аралов Р.С., Римшин В.И. Анализ использования облегченных конструкций монолитных плит в российской и зарубежной практике / Р.С. Аралов, В.И. Римшин // Проблемы науки. 2017. №7. - С. 24-29.
8. Топчий Д.В., Болотова А.С., Васильева Ю.А. Технологический процесс устройства монолитных железобетонных перекрытий с вкладышами-пустотообразователями на примере технологии "Cobiax" / Д.В. Топчий, А.С. Болотова, Ю.А. Васильева // Перспективы науки. 2019. №2. - С. 61-67.
9. Патент РФ № 2720593 МПК E04B 5/00 . Многопустотная панель перекрытия / Трофимов В.И.; заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет; опубл. 2020. Бюл. № 14. – 8 с.
10. Патент РФ 2422269. МПК E01C 13/00. Способ изготовления дорожной плиты / Трофимов В.И., Белов В.В., Степанов Е.А.; заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет; опубл. 2011. Бюл. № 18. – 8 с.

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ ДЕВЕЛОПЕРСКИХ ПРОЕКТОВ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

Е.В. Улитко, В.В. Герасимов, А.В. Иконникова, А.А. Дружинин

Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследований и разработок по формированию методических основ оценки и выбора параметров системы ресурсосбережения объектов в рамках девелоперских проектов на основе использования методов системотехнического анализа и синтеза решений, что позволяет повысить эффективность решений проектов, планов, организационных структур управления.

Ключевые слова: ресурсосбережение, система, девелопмент, проекты.

Эффективность решений девелоперских проектов (ДП) определяется инженерными решениями с параметрами, которые формирует потенциал проекта и проектного управления. Использование ресурсов этого потенциала определяется конструкцией, архитектурой, объединяющей взаимосвязи и динамику их движения [1].

Анализ показывает, что сложность взаимодействия параметров предопределяет необходимость рассмотрения множества ресурсов как сложной динамической и стохастической системотехнической системы.

Система включает следующие характеристики:

- структуру проекта по этапам - исследование, проектирование, строительство, эксплуатация объекта;
- взаимодействия, основанные на прямых и обратных связях параметров;
- ресурсные модули, в которых целевым параметром является результирующие параметры;
- изменение ресурсов каждого типа обусловлено необходимостью перепроектирования мощности потенциала проекта;
- группировку параметров в трех состояниях проекта: краткосрочном, с определенностью решений, среднесрочном - решений риска, долгосрочном - неопределенностью решений. Эти положения учтены при проектировании системотехнической системы (СТС) девелоперского проекта (ДП).

Особенностью модели является структуры системы, которая включает схему с цел образующим атрибутом в качестве РС со структурным, динамическим, стохастическим, инновационным и финансовым блоками.

Модельный комплекс системотехнической системы имеет вид, приведенный ниже [2].

- структурная статическая инфомодель системы отображает координатную схему структуры проекта в отношении РС как целеобразующего атрибута системы и имеет вид:

$$M_{днс} = UЖЦi*(UPOj) \quad (1)$$

где

$M_{днс}$ - структурная статическая инфомодель системы; $ЖЦ$ - жизненный цикл системы, включающий исследование, проектирование, строительство, эксплуатация; i - индекс этапа жизненный цикл системы; PO - ресурсообеспечение, включающее параметры материалоемкости, трудоемкости, механизации, информатизации; j - индекс типа PO ; * - знак связевых отношений элементов системы.

- динамическая инфомодель отображает систему параметров во времени этапов жизненного цикла проекта и имеет вид:

$$M_{онт} = (ЖЦi*(UPOj))t \quad (2)$$

где

t- код периода жизненного цикла проекта.

- динамическая стохастическая инфомодель отображает систему параметров по этапам жизненного цикла проекта с учетом вероятностей случайных факторов и имеет вид:

$$M_{днсх} = (ЖЦ_i * (UPO_j))_{тсх} \quad (3)$$

где

$M_{днсх}$ - динамическая стохастическая модель; p_k - риск; no - неопределенность.

- инновационная динамическая стохастическая инфомодель отображает систему параметров и инвестиций в динамике этапов жизненного цикла проекта и имеет вид:

$$M_{дпин} = (ЖЦ_i * (UPO_j))_{ин} \quad (4)$$

где

$M_{дпин}$ - инновационная динамическая стохастическая модель.

- финансовая динамическая стохастическая инфомодель отображает систему параметров и денежных потоков в динамике этапов жизненного цикла проекта и имеет вид:

$$M_{чдф} = (ЖЦ_i * (UPO_j))_{фн} \quad (5)$$

где

$M_{чдф}$ - финансовая динамическая стохастическая инфомодель.

Системные оценки инфомодели ДП имеют вид:

- баланс объемов и ресурсов проекта

$$(O_o / P_o^*) \Rightarrow I \quad (6)$$

где

O_o – объем объекта; P_o^* - минимизированные ресурсы проекта.

- оптимизация затрат и времени ресурсов проекта

$$\{Z(P)_{\min} * T_{\min}\}, \text{ при } <P_c> \quad (7)$$

где

$Z(P)$ - затраты производства ; T - продолжительность расчетного периода объекта проекта, P_c -ресурсы.

- Эффективность ресурсов проекта

$$\mathcal{E} = \{Z(P_c) + \mathcal{E}\mathcal{E}\} / Z(P_c) \Rightarrow \max \quad (8)$$

где

$\mathcal{E}$ - эффективность по ресурсам проекта; $Z(P_c)$ -затраты по ресурсам проекта; $\mathcal{E}\mathcal{E}$ -экономический эффект от снижения ресурсоемкости проекта.

- Безопасность эффективности ресурсообеспечения ДП имеет вид

$$OБ1 = f(P, Z_{ур}), \text{ при } P > 0 \quad (9)$$

$$OБ1 = f(P, Z_{ур}), \text{ при } P = 0 \quad (10)$$

$$OБ1 = f(P, Z_{ур}), \text{ при } P < 0 \quad (11)$$

где

$OБ1$ -область безопасности первой зоны; $OБ2$ –критическая зона; $OБ3$ -опасная зона; P -прибыль ; $Z_{ур}$ -затраты на управление риском и неопределенностью.

Алгоритм использование моделей для анализа и синтеза преобразований ресурсов включает:

1.формирование системотехнической модели проекта (1), в которой отображаются базовые решения- блоки системы, параметры системы ,этапы жизненного цикла проекта, факторы неопределенности и риска;

2. формирование поэтапной модели жизненного цикла проекта (2), в которой отображаются преобразования ресурсов проекта;

3. формирование стохастической модели проекта(3), в которой отображается поэтапные области определенности, неопределенности и риска ДП при преобразованиях ресурсов;

4. формирование экономической модели (4), в которой отображаются затраты и чистые доходы на преобразование ресурсов;
5. формирование финансовой модели(5), в которой отображается динамика денежных потоков на преобразование ресурсов;
8. оценка эффективности и безопасности решений(6-11) по преобразованию ресурсов.

Стратегии и мероприятия управления ресурсами объекта выбираются в соответствии с принятой концепцией ресурсосбережения объекта, на основе которой устанавливаются организационная схема программы РС проекта. Матрица планирования параметров ресурсосбережения проекта приведена в табл.

Таблица 1

Матрица организации обеспечения ресурсосбережения ДП

Области приложения	Параметры управления	Эффект РС
Проектирование	$(N-PE)i$	Ξi
Планирование	$(\Sigma PE)j$	$\Sigma \Xi j$
Управление	$(\Sigma Kц)дп$	$\Sigma \Xi дп$

Примечания: Ξi – интегрированный эффект оценки.

Экономический эффект от ресурсной трансформации определяется за счет получения возможности многоаспектной оценки использования стратегии преобразования ресурсов [3]:

$$\Xi i = \Xi_{оп} + \Xi_{кс} + \Xi_{ор} + \Xi_{тх} \quad (12)$$

где

$\Xi_{оп}$ -эффект от корректировки объемно-планировочных решений; $\Xi_{кс}$ - эффект от корректировки конструктивных решений; $\Xi_{ор}$ - эффект от корректировки организационных решений; $\Xi_{тх}$ -эффект от корректировки технологических решений.

Проведенными расчетами установлено, что методический подход обеспечивает достаточный уровень достоверности оценок изменения ресурсов за счет системного взаимодействия инженерных, экономических, финансовых и внешних факторов при разработки стратегии ресурсосбережения проектов.

Выводы

1. Системотехническое решение ДП определяется как ресурсоемкость решений в матрице «этапы жизненного цикла – типы ресурсов» с оценкой получением ресурсного и финансового результата ДП, что определяет конкурентность проекта.
2. Приведенный модельный комплекс обеспечивает возможность многостороннего диагностирования ресурсоемкости для целей корректировки параметров ресурсов на стадиях девелоперского проекта, плана строительной организации и управления.
3. Эффективность стратегии преобразования ресурсоемкости позволяет осуществлять контроль изменений параметров с учетом факторов определенности, неопределенности и риска.
4. Информационные модели могут быть представлены в виде аналитических моделей и в последующем использованы при разработке АСУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов В.В. Исследование технологии планирования комплексных строительных процессов в условиях неопределенности [Текст] / В.В. Герасимов, А.В. Иконникова, Н.В. Светышев, А.К. Исаков // Изв. вузов. Строительство. 2018. №3 (699).с.52-61.
2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. - М. : Гострой РФ, 1999. — 623 с.
3. Сафарян Г. Б. Герасимов В. В. Надежность программирования

УДК 331.101.7

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЕВЕЛОПЕРСКИХ ПРОЕКТОВ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

Е.В.Улитко, В.В.Герасимов, А.В.Иконникова, А.А.Дружинин

Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследований и разработок по формированию методических основ оценки эффективности решений ресурсосбережения на всех этапах жизненного цикла девелоперского проекта на основе использования технико-экономических и финансово-экономических методов анализа, что позволяет повысить достоверность прогнозных оценок в условиях неопределенности и риска.

Ключевые слова: оценка, эффективность, жизненный цикл, проекты.

Ресурсосбережение(РС) девелоперских проектов(ДП) является актуальной задачей, поскольку способствует снижению ресурсоемкости и повышению экономической эффективности строительной продукции. Решения по РС в области строительного блока жилищной системы формируют стоимость объекта строительства и в области эксплуатации-стоимость недвижимости объекта. Эффективность в первом случае предполагает получение прибыли в строительном блоке, во втором- прибыли в процессе эксплуатации объекта недвижимости.

Механизм трансформаций использования ресурсов имеет целью постоянный процесс инициирования новаций в местах изменений структуры объемов работ и ресурсов. При этом в процессе реализации этапов проекта осуществляется кумулятивный процесс ресурсосбережения, который повышает конкурентность продукции и в целом эффективность проекта.

Использование множества оценок в координатной системе проекта предполагает учет следующих положений:

- учет продолжительного срока ДП, что снижает достоверность параметров и оценок решений,
- необходимость классификации объектов оценок: проект, блоки проекта, типы работ, виды работ, объемно - конструктивные решения;
- определения трендов ресурсоемкости решений объекта;
- расчета параметров и нормативов эффективности комплекса решений;
- разработки бизнес карт эффективных решений РС.

Классификация объектов предназначена для решения задач организации модулей РЕ объекта в пространстве и времени проекта.

Тренды РЕ объектов отображают потоковую схему исходных РЕ и их актуализацию по этапам жизненного цикла проекта.

Расчетная база оценивания основана на использовании марковских сетей в качестве инструмента проектирования траектории продвижения наиболее эффективных трендов «объект-ресурс - оценка».

Бизнес карты предназначены для формирования базы данных типовых паспортов ресурсоэффективных решений и последующего использования при перепроектировании объектов и работ.

Анализ показывает, что проблемой является недостаточная разработанность методик по учету различных факторов в существующих локальных оценках эффективности инновационных решений РС. Эта задача может быть решена в рамках методологии инвестиционного анализа, обеспечивающего постоянную и непрерывную трансформацию базовых компонентов – материальных ресурсов проекта. Предложенный подход проектных оценок включает следующие положения[1].

Тренд управления жизненным циклом ДП жилых объектов включает временные этапы обновлений РС по сфере строительства: этапы исследования, проектирования, строительства и по сфере эксплуатации - исследования, проектирования, эксплуатации объекта(табл.1.).

Таблица 1

Параметры блоков ДП в рамках полного жизненного цикла ДП

Блок строительства ДП	Блок эксплуатации ДП
ССс(Зив,Зис, Зпр,Зср, Дс)t,T	ССэ (Зив, Зис, Зпр, Зрр, Ам, Дэ)t,T

Примечания: ССс строительная сметная стоимость объекта; Зив-затраты по инвестициям; Зис-затраты исследований; ССэ-эксплуатационная стоимость объекта; Зпр-затраты проектирования; Зср-затраты строительства; Дс-доход в сфере строительства; t-период времени этапа; T-полный период времени объекта; Зрр-затраты ремонтных работ; Ам – амортизация объекта.

Параметры определяются следующими характеристиками:

- ССэ включает чистый доход, который формирует цену продажи услуг объекта;
- амортизация объекта является базой для формирования бюджетного фонда по проведению ремонтно-строительных работ;
- технические решения РС определяются в периодах капитальных и текущих ремонтов инструментами бизнес- планирования.

Модельный комплекс интегрированной оценки эффективности ДП формируется в трех блоках - нормализации, оптимизации, актуализации и имеет вид[2].

- блок нормализации

$$Чдс^* = Вдс - \sum Зс(Зив + Зм + Зт + Зф + Зи\phi) \quad (1)$$

$$\mathcal{E}с^* = (Вдс / \sum Зс) > 1, \text{ при } РЕс = Npe \quad (2)$$

$$Чдэ^* = Вдэ - \sum Зэ(Зив + Зм + Зтс + Зфс + Зис + Зрк) \quad (3)$$

$$\mathcal{E}э^* = (Вдэ / \sum Зэ) > 1, \text{ при } РЕэ = Npe \quad (4)$$

$$\mathcal{E}дп = (\mathcal{E}с + \mathcal{E}э) > 1 \quad (5)$$

где

Чдс-чистый доход в строительстве;

Вдс-валовый доход в строительстве ;

$\sum Зс$ - суммарные затраты в строительстве;

Зив-затраты по инвестициям;

Зм-затраты материалов;

Зт- затраты труда;

Зф-затраты фондов;

Зис-затраты информации;

Эс-эффективность строительства;

РЕс-ресурсоемкость строительства;
 Нре-норматив ресурсоемкости;
 Чдэ-чистый доход эксплуатации проекта;
 Вдэ-валовой проект эксплуатации проекта;
 Зэ-затраты эксплуатации проекта;
 Ээ-эффективность эксплуатации проекта;
 Эдп-эффективность проекта; Эс-эффективность строительства;
 Ээ-эффективность эксплуатации проекта.

Нормированная РЕ определяется проектировкой ресурсов в соответствии с установленными нормативами инвестиционной емкости.

Логический тренд РЕ определяет последовательные операций норматива и имеет вид:

$$РЕн=f(O (Кр(З(Ив)))) \quad (6)$$

где

РЕн – нормализованная ресурсоемкость; О - объем объекта; Кр-конструктивные решения; З-затраты объекта; Ив-инвестиции; *-этап нормализации параметров проекта.

- блок оптимизации

$$Чдс^{**}= Вдс-\sum(Зс+ Зрк) \quad (7)$$

$$Эс^{**}=(Вдс/\sum Зс)>1, \text{ при } РЕс=Нре(рк) \quad (8)$$

$$Чдэ^{**}= Вдэ-\sum(Зэ+ Зрк) \quad (9)$$

$$Ээ^{**}=(Вдэ/\sum Зэ)>1, \text{ при } РЕэ=Нре(рк) \quad (10)$$

$$Эдп=Эс + Ээ)>1 \quad (11)$$

где

Зрк – затраты на управление риском; ** - этап нормализации.

Оптимальная РЕ определяется технологией оптимизации ресурсов в соответствии с установленными нормативами страховой емкости управления риском.

Логический тренд РЕ определяет последовательные операции и связи и имеет вид:

$$РЕо=f(O(Kp(Z(Iv(Pk)))) \quad (12)$$

где

РЕо – оптимизированная ресурсоемкость; ** - этап оптимизации.

- блок актуализации

$$Чдс^{***}= Вдс-\sum Зс+ \Delta З^{*}+(Зис+ Зрк) \quad (13)$$

$$Эс^{***}=(Вдс/\sum Зс)>1, \text{ при } РЕс=Нре \quad (14)$$

$$Чдэ^{***}= Вдэ-\sum Зэ+ \Delta З(Зив+ Зрк) \quad (15)$$

$$Ээ^{***}=(Вдэ/-\Delta(З\sum Зэ)>1, \text{ при } РЕэ=Нре \quad (16)$$

$$Эдп=Эс + Ээ)>1 \quad (17)$$

где

$\Delta З^{*}$ - трансформируемый объем дополнительных затрат проекта.

Актуализированное РЕ определяется технологией проектирования изменения ресурсов в соответствии с установленными нормативами управления изменений.

Логический тренд РЕ определяет последовательные операции и имеет вид:

$$РЕа=f(O(Kp(Z(Iv(Pk(\Delta З^{*})))) \quad (18)$$

где

РЕа – актуализированная ресурсоемкость

$$РЕдп=f(РЕн, РЕо, РЕа) \quad (19)$$

где

РЕдп-ресурсоемкость ДП

Уравнениями (1-6) формируются информационные модели бизнеса с оценкой инвестиционных характеристик РЕ проектных решений и эффективностей их реализации. В рамках безопасности паспорт решения принимает РЕ с эффективностью более 1; (7-12) – формируются информационные модели бизнеса с оценкой риска РЕ проектных решений и

эффективностей их реализации. В рамках безопасности паспорт решения принимает РЕ с эффективности более 1; (13-18) – формируются информационные модели бизнеса с инновационной оценкой РЕ проектных решений и эффективностей их реализации. В рамках безопасности паспорт решения принимает РЕ с эффективности более 1; (19)-интегрированная оценка РЕ проекта, позволяющая управлять эффективностью технико-экономических решений ДП в целом[2].

Экономический эффект от интеграции мероприятий по областям управления РС имеет вид[3]:

$$\text{Эи} = (\text{Эс} + \text{Ээ})t > 1 \quad (20)$$

где

Эи – интегрированный эффект; Эс – эффект этапа строительства; Ээ – эффект эксплуатационного этапа.

Проведенными расчетами установлено, что методический подход обеспечивает достаточный уровень достоверности оценок на всех этапах жизненного цикла проектов – инженерном, бизнес-обосновании и эксплуатационном за счет управления эффективностью инновационных решений РС.

Выводы

1. Интегрированная оценка управления РС позволяет оценить системный эффект в разных этапах разработки и реализации проекта.
2. Оценка эффективности мероприятий РС должна определяться на этапах нормализации, оптимизации, актуализации, в которых учитываются влияющие факторы – инвестирование, страхование реинжиниринг решений ДП.
3. Эффект перехода от локальных к интегрированному оцениванию повышает уровень достоверности прогноза эффективности мероприятий РС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов В.В. Исследование технологии планирования комплексных строительных процессов в условиях неопределенности [Текст] / В.В. Герасимов, А.В. Иконникова, Н.В. Светышев, А.К. Исаков // Изв. вузов. Строительство. 2018. №3 (699) с.52-61.
2. Топузов Н.К. Формирование механизма управления ресурсосбережением в системе инновационного развития предприятия / Н. К. Топузов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. антикризис. упр.-Челябинск, ЮУрГУ. Кн. 1 : Теория и методология управления ресурсосбережением по организационным и инновационным факторам развития предприятия. - 2012. – 177с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — М. : Гострой РФ, 1999. — 623 с

ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ДИСПЕРСНЫМИ И ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ**В.Ф.Хританков, С.А.Виноградов, М.А.Пичугин***Новосибирск, Россия*

Аннотация. Изучена взаимосвязь диэлектрических характеристик с прочностными свойствами для цементных мелкозернистых бетонов, эксплуатируемых в реальных условиях. Определены показатели коэффициента линейного температурного расширения материала с использованием отходов хризотилцементного производства (ОХЦП) и полимерных композиций. Такие добавки позволили использовать мелкозернистые бетоны при устройстве покрытий полов в животноводческих помещениях. Отмечена хорошая сопротивляемость коррозионным и эксплуатационным воздействиям. Получены результаты, подтверждающие зависимость материала от его диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости.

Ключевые слова: *мелкозернистый бетон; микроармирующие добавки, гидратационное взаимодействие цемента; диэлектрические потери; измеритель добротности, диэлектрическая проницаемость*

DIELKOMETRICHESKY RESEARCHES OF FINE-GRAINED CONCRETE WITH DISPERSED ADDITIVES

V. F. Khritankov, S. A. Vinogradov, M. A. Pichugin

Novosibirsk, Russia

The relationship of dielectric characteristics with strength properties for fine-grained cement concretes used in real conditions is studied. The parameters of the coefficient of linear temperature expansion of the material using chrysotile cement production waste (OCC) and polymer compositions were determined. Such additives allowed the use of fine-grained concrete in the construction of floor coverings in livestock premises. Good resistance to corrosion and operational influences is noted. The results confirming the dependence of the material on its dielectric losses and permittivity are obtained.

Keywords: *fine-grained concrete; micro-reinforcing additives, cement hydration interaction; dielectric losses; Q-factor, permittivity*

Для бетонов на мелком песчаном заполнителе основным связующим фрагментом является цементная матрица, поэтому требуется введение волокнистого микронаполнителя в цементное тесто, способного оказать существенное влияние на величину ее усадки. Наряду с физико-механическими свойствами от фазового состава, структурных особенностей материала зависят его диэлектрические параметры, такие как диэлектрические потери и диэлектрическая проницаемость [1-3].

Усадка мелкозернистых бетонов на цементной основе общеизвестный факт. В то же время использование микроармирования уменьшают усадочные деформации, так как создается эффект «разрядки» цементного камня. Наибольший эффект в цементнобетонных композиционных материалах проявляется в присутствии большого количества фибры или волокнистых микроармирующих частиц. При малых количествах этот процесс выравнивается. В фиброцементных композициях с содержанием армирующих волокон в достаточно большом количестве наблюдается хаотичное армирование, что способствует снижению усадочных деформаций во всех направлениях. Для легких мелкозернистых бетонов основным связующим фрагментом является цементная или цементно-песчаная матрица, поэтому введение волокнистого микронаполнителя в цементное тесто может оказать существенное влияние на величину ее усадки [1, 3].

Ранее нами был детально изучен этот вопрос, поэтому в данной работе мы приводим результаты дальнейших комплексных исследований по определению показателей высокочастотной диэлектрического анализа отражает существенные изменения структуры при гидратации портландцемента, а также усадки и трещиностойкости цементной матрицы с добавкой в качестве микроармирующего компонента отходов хризотилцементного производства (ОХЦП) [1-3].

Предварительно были определены оптимальные составы мелкозернистого бетона. В работе использованы мелкие пески Обского и Криводановского месторождений с модулем крупности 1,27-1,56 насыпной плотностью 1279-1363 кг/м³ при суммарном содержании глинистых, илистых и пылевидных частиц 2,8-4,3%. В соответствии с ГОСТ 8736-93 (с изм. 1 1998) «Песок для строительных работ. Технические условия», используемый песок относится к очень мелким. Кроме речного песка в качестве эталона при определении активности цемента и некоторых составов был использован эталонный чистый кварцевый песок Вольского месторождения. Зерновой состав песков свидетельствует о не вполне кондиционных свойствах, что выражается в низких значениях модуля крупности (Мк) - 1,1-1,6.

Для обеспечения положительных свойств мелкозернистого бетона осуществлялся рассев на более крупные и мелкие фракции, однако наличие таких гранул было незначительно 0 менее 10%. Поэтому было принято введение фракции щебня диаметром 3-7 мм в количестве до 30% от массы песка, что позволило улучшить гранулометрический состав заполнителя, и снизить расход цемента и водопотребность бетонной смеси.

С целью снижения усадки и ползучести мелкозернистого бетона, отличающегося повышенным содержанием цементного камня, в его состав вводились отходы хризотилцементного производства. Кроме того, для сокращения расхода цемента использованы пластифицирующие и активные минеральные добавки, а также осуществлялись различные методы уплотнения смеси. Прочность при сжатии мелкозернистого цементно-песчаного бетона, как и обычного, зависит от активности цемента и водоцементного отношения. В таблице 2 приведены средние составы мелкозернистого бетона.

Таблица 1

Состав мелкозернистого бетона

Компоненты сухой смеси	Расход материалов на м ³	
	кг	%
Мелкая фракция песка	840-950	41,5-46,7
Крупная фракция песка	460-540	23,4-25,8
Цемент	280-320	13,9-16,4
Отходы ХЦП	60-90	3,7-4,3
Дегидрол	2,0-2,6	0,1-0,2
Полимерная добавка	1,7-2,3	0,08-1,14
Вода	260-320	13,5-15,7

Важной характеристикой цементных композитов являются установленные взаимосвязи физико-механических и эксплуатационных свойств с диэлектрическими потерями и другими параметрами веществ. Диэлектрические потери могут быть обусловлены процессами, сопровождающими поляризацию диэлектрика. Определение диэлектрических свойств концентрированных цементных суспензий (цементного теста) и цементного камня проведено на измерителе добротности Tesla BM-560 (рис.1), с помощью которого определялись добротность и ёмкость контура [4].

Добротность является величиной безразмерной и характеризует качество колебательной системы; чем выше добротность, тем меньше потери энергии системы. Ёмкость - характеристика конденсатора, показывающая его способность накапливать ток. Диэлектрическая проницаемость – характеристика вещества, которая соответствует увеличению электрической ёмкости конденсатора, заполненного данным веществом по сравнению с ёмкостью пустого конденсатора. Диэлектрические потери представляют собой часть энергии поля, необратимо преобразующуюся в теплоту в диэлектрике (например, работа микроволновой печи, в которой нагрев происходит за счёт диэлектрических потерь) [1-3].



Рисунок 1 - Измеритель добротности Tesla BM-560.

Диэлектрические потери (т.е. электрическая энергия, рассматриваемая в диэлектрике и вызывающая его нагрев) могут быть рассчитаны по формуле (1):

$$P = u^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

где C – ёмкость диэлектрика, u – напряжение приложенного поля, ω – круговая частота, δ – угол диэлектрических потерь.

Исследования диэлектрических свойств цементных суспензий (цементного теста) и цементного камня проведены на измерителе добротности на частоте 1,5 МГц при температуре 20 °С.

В частотном диапазоне от 10^6 до 10^8 Гц информативные результаты при исследовании кристаллических веществ, содержащих полярные молекулы воды (гипс, тальк), соответствуют частотам 10^6 - 10^7 Гц. В данной работе исследования проведены на частотах 1,3-1,7 МГц при температуре 20° С.

При измерениях на данном приборе определяется добротность колебательного контура с незаполненной измерительной ячейкой Q_1 и его ёмкость C_1 , а также добротность Q_2 и ёмкость C_2 контура с ячейкой, заполненной исследуемым материалом. Разность значений добротности $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ характеризует диэлектрические потери в исследуемом материале. Расчёт тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) производится по формуле [1-4]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_1}{Q_1} \frac{\Delta Q}{Q_2 \Delta C} \quad (2)$$

Расчёт диэлектрической проницаемости ε по величине электрической ёмкости C в простейшем случае (плоский конденсатор), производится по соотношению [1]:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{1} \quad (3)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Концентрированные цементные суспензии обладают большой сквозной электрической проводимостью, что делает невозможным их исследование на измерителях добротности. Для исключения сквозной проводимости необходимо цементную суспензию помещать в ячейку из диэлектрического материала [1-3].

Измерительная ячейка с исследуемым материалом представляет собой последовательно соединённые конденсаторы, ёмкость которых соответственно равна C_1 ; C_2 и C_3 и т.д. Поэтому для значения её ёмкости справедлива формула:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (4)$$

Использование данной методики измерений упрощает вопрос расчёта. При вычитании значений, соответствующих ячейкам с испытуемым материалом, величин, относящихся к пустой ячейке, получим значения добротности и ёмкости, соответствующие испытуемому материалу.

Вместе с тем прямой расчёт значений диэлектрической проницаемости неочевиден, так как на границе сильно полярной среды (воды, цементного теста) и стенок ячейки возможно установление дополнительной поляризации, не учтённой в формуле (4).

Для измерения диэлектрических характеристик водно-цементных суспензий разработана специальная измерительная ячейка (рис.2), представляющая собой полиэтиленовый стакан со съёмной крышкой и двумя металлическими электродами. Конструкция ячейки позволяет исключить влияние сквозной проводимости цементного теста.

Исследованные концентрированные суспензии имели консистенцию, соответствующую принятому в технологии цементных материалов понятию «теста нормальной густоты». Для системы «цемент-вода» отношение жидкость/твёрдое тело (Ж/Т) составляло при этом 0,28-0,33. Измерения диэлектрических характеристик начальной стадии взаимодействия цемента с водой проводились в течение 7 часов.

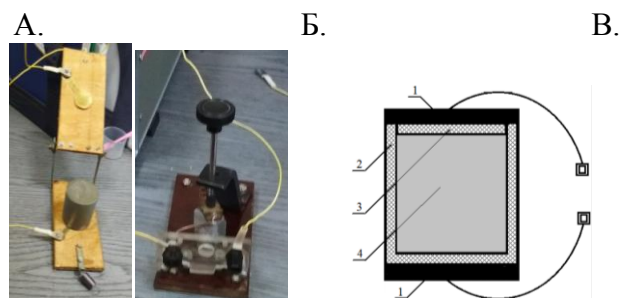


Рисунок 2. Внешний вид устройств и схема измерительной ячейки:

А - устройство для испытания цементных суспензий;

Б - измерительная ячейка;

В - устройство для испытания твердых образцов (кубиков);

1 – электроды;

2 – полиэтиленовая измерительная ячейка;

3 – крышка полиэтиленовой измерительной ячейки;

4 – исследуемый материал

Наиболее активное взаимодействие в системе «цемент-вода» происходит в начальный период (до 60-120 минут) затворения смеси с последующим монотонным ходом протекающих процессов гидратации во времени, что обнаруживается по характерной зависимости диэлектрических потерь цементно-водной суспензии. В начальный период после затворения системы диэлектрические потери заметно уменьшаются, добротность

(величина, обратную тангенсу угла диэлектрических потерь) увеличивается на 30 % (рис. 2), а в дальнейшем с увеличением времени их изменение практически отсутствует

При диэлькометрическом исследовании мелкозернистого бетона из него вырезали заготовки диаметром 50 мм, из которых получали образцы толщиной 15-30 мм. На образцы наносили графитовые электроды. При анализе графической зависимости результаты экспериментов обрабатывались по специальной компьютерной программе.

У образцов, твердевших в нормальных условиях, значительное увеличение прочности (с 14,7 до 22,3 МПа) происходит в интервале от 3 до 7 суток твердения. Вместе с тем, диэлектрические свойства цементного камня изменяются менее существенно из-за энергетического состояния молекул воды и их способности к ориентации в высокочастотном поле. В этот период протекают физические процессы по срачиванию кристаллов, перекристаллизации новообразований и др., приводящие к повышению прочности [1-4].

Таблица 3

Взаимосвязь диэлектрических свойств и предела прочности
при сжатии образцов мелкозернистого бетона

Свойства	Время твердения, сут			
	3	7	14	28
Прочность при сжатии, МПа	14,7	22,3	27,2	32,3
Диэлектрическая проницаемость (ϵ)	36,2	35,7	29,8	26,4
Тангенс угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$)	0,716	0,722	0,728	0,691
Добротность (Q)	23	25	32	36

При твердении в течение 7 до 14 суток в нормальных условиях происходит увеличение прочности образцов с 22,3 до 27,2 МПа. При этом одновременно существенно уменьшается диэлектрическая проницаемость и увеличивается добротность образцов, что является следствием снижения диэлектрических потерь. То есть процесс упрочнения образца сопровождается усилением энергетической связи молекул воды в структуре цементного камня.

При последующем увеличении времени твердения до 28 суток происходит дальнейшее повышение прочности. При этом диэлектрическая проницаемость снижается, а добротность повышается, хотя значительно меньше, чем в интервале от 7 до 14 суток твердения.

Таким образом, при твердении цементного камня в течение 28 суток при нормальных условиях возрастание прочности подчиняется двухстадийному логарифмическому закону с максимальной скоростью на первой стадии (до 8 суток). Эта закономерность набора прочности соответствует сохранению диэлектрических параметров на первой стадии с последующим линейным увеличением добротности (снижением диэлектрических потерь) и уменьшением диэлектрической проницаемости на второй стадии. Наблюдаемый ход набора прочности цементного камня и характер изменения диэлектрических характеристик материала во времени связаны с процессами кристаллизации гидросиликатов кальция и постепенным переходом высокоосновных форм образующихся соединений в низкоосновные, что находит отражение на механических и диэлектрических свойствах твердеющего цемента.

Получены обобщенные результаты установленной взаимосвязи диэлектрических свойств с характеристиками цементного камня. Результаты исследований показывают, что минимальные значения диэлектрических свойств соответствуют оптимальным параметрам материала. Наряду с исследованиями водно-цементных суспензий, цементных композиций с различными добавками и твердевших при различных тепло-влажностных условиях, была изучена взаимосвязь диэлектрических характеристик с прочностными свойствами для цементных бетонов, эксплуатируемых в реальных условиях.

На основе полученных результатов исследований разработаны и утверждены нормативные материалы: инструкции по определению оптимального количества добавок к цементному мелкозернистому бетону и по определению возраста бетона диэлькометрическим методом.

Высокочастотный диэлькометрический анализ отражает существенные изменения структуры при гидратации портландцемента. Наряду с исследованиями водно-цементных суспензий, цементных композиций с различными добавками и твердевших при различных тепло-влажностных условиях, была изучена взаимосвязь диэлектрических характеристик с прочностными свойствами для цементных мелкозернистых бетонов, эксплуатируемых в реальных условиях [1,2].

Поскольку диэлектрические характеристики заполнителя из плотных горных пород со временем службы бетона остаются практически неизменными, то эти параметры бетона определяются, в основном, свойствами цементного камня, поэтому по полученной градуировочной кривой в координатах «возраст бетона - добротность» устанавливается срок службы бетонных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердов Г.И. Диэлькометрический анализ влияния раствора электролита на свойства цементных материалов / Г.И. Бердов, С.А. Виноградов, А.Н. Машкин, В.Ф. Хританков // Известия ВУЗов. Строительство, 2015. - № 8. - С. 21-24.
2. Машкин Н.А. Диэлькометрический анализ процесса гидратационного твердения цементного камня / А.Н. Машкин, Г.И. Бердов, С.А. Виноградов, В.Ф. Хританков // Известия ВУЗов. Строительство, 2015. - № 2. - С. 27-30.
3. Бердов Г.И. Диэлькометрический анализ процесса гидратационного твердения цементного камня / Г.И. Бердов, А.Н. Машкин, С.А. Виноградов // Строительные материалы, 2016. - № 1-2. - С. 107-109.
4. Бердов Г.И., Хританков В.Ф., Виноградов С.А., Пичугин М.А. Определение качественных характеристик и прогнозирование долговечности мелкозернистых бетонов // Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов, Международный сборник научных трудов. - Новосибирск: НГАУ, РАЕН, РАПК, 2019. - С.60-63.

УДК 691.33, 624.131

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Р.А.Чесноков, И.К.Языков, А.П.Пичугин, Е.В.Евдокимов

Новосибирск, Россия

Аннотация. Рассмотрены виды грунтов и способы их укрепления. Для глинистых грунтов, являющихся коллоидными системами, приведены математические зависимости, характеризующие критическое расстояние между частицами, при котором система начинает разрушаться. С учетом методов подобию и размерности для глинистых оснований могут быть использованы принципы физико-химической механики, позволяющие рассчитать критические значения прочности и других показателей, что позволяет рекомендовать тот или иной состав для укрепления основания откосов. Наиболее доступным способом может быть укрепление откосов продольным кротованием с одновременной цементацией или силикатизацией.

Ключевые слова: грунт, гранулометрический состав, укрепление глинистых грунтов, коллоидные системы, цементация, силикатизация, кротование.

На территории Западной Сибири преобладают связные грунты: суглинки и глины, реже супеси. Несвязные грунты (песчаные и гравелистые) встречаются на относительно

небольших площадях. В южной части Западно-Сибирской низменности распространены засоленные грунты (солончаки и солонцы) с суммарным содержанием легкорастворимых солей 2-3%, в отдельных местах до 9%. По генетическим особенностям выделяют следующие основные типы грунтов: лессовые, озёрные, озёрно-аллювиальные, флювиогляциальные и морённые, аллювиальные и элювиально-делювиальные [1].

Лессовые грунты представлены в основном суглинками и глинами и характеризуются высоким содержанием пылеватых частиц (до 50-60%) и наличия карбонатов. Благодаря наличию в них карбоната кальция глинисто-коллоидная часть лессовых грунтов находится в коагулированном состоянии, что благоприятно сказывается при укреплении их вяжущими.

Средний химический состав большинства грунтов следующий: оксид кремния (60-70%), оксид кальция (до 3-8%) и оксид алюминия (20-25%), оксиды магния (1-2%) и фосфора (до 0,3%). Среда нейтральная или слабощелочная ($pH=7-8$). Лессовые грунты, например, особенно лёгкие их разновидности (суглинки лёгкие, суглинки пылеватые) при укреплении их цементом образуют агрегаты (цементогрунты) с высокой прочностью и высокой морозостойкостью. Озёрные и озёрно-аллювиальные отложения расположены в центральной части Западной Сибири и представлены тяжёлыми суглинками и глинами, часто с прослойкой торфа, сапропеля.

В химическом составе этих грунтов преобладают оксиды кремния (80-85%), до 15% оксидов алюминия. Содержание кальция значительно ниже по сравнению с лессовыми грунтами и не превышают 1%. Среда кислая и слабокислая ($pH=4-6$). Кислая среда и наличие в составе глинисто-коллоидной части озёрных и озёрно-аллювиальных отложений гидрофильного минерала монтмориллонита отрицательно влияют на процесс формирования структуры укрепленного грунта. Укреплять такие грунты следует с использованием добавок химических веществ, улучшающих условия формирования структуры и обеспечивающих её морозостойчивость.

Флювиогляциальные отложения занимают большие площади к северу от озёрных и озёрно-аллювиальных грунтов до побережья Карского моря. Южная граница проходит севернее Ханты-Мансийска, Сургута, Нижневартовска. К ним относятся продукты выноса талых ледниковых вод. Представлены разнотекстурными песками и песчано-гравийными отложениями и создают прочные структуры при соединении с цементами. Аллювиальные отложения представлены комплексом перемежающихся песков, супесей, суглинков, глин. Химико-минеральный состав этих грунтов разнообразный. Среда – от кислой до щелочной ($pH=5-8$). Отсюда и дифференцированный подход к их использованию. Наиболее пригодны грунты лёгкого гранулометрического состава (пески, песчано-гравийные смеси, супеси, суглинки лёгкие) со щелочной или нейтральной средой.

Элювиально-делювиальные отложения в предгорьях и горных районах Западной Сибири представляют собой продукты разрушения скальных пород оставшихся на месте или снесённых по склонам. Представлены отложения дресвой и щебнем, часто сцементированными глинистыми материалами. Такое разнообразное сочетание дресвы, щебня, глинистых частиц делает возможным их всестороннее использование в строительных целях при условии тщательных лабораторных исследований и аргументированных рекомендаций.

Большую группу составляют поверхностные слои грунтов, затронутые в той или иной степени процессами почвообразования и являющиеся основаниями фундаментов зданий и сооружений. Отрицательными сторонами таких грунтов является наличие гумуса, влияющего не только на качество самого грунта.

Но и на находящиеся в сопряжении с ним бетонными, железобетонными и стальными элементами зданий и сооружений. Ещё более неудовлетворительными свойствами с позиций строительных требований обладают засоленные и солонцеватые грунты, распространённые в равнинной части Западно-Сибирской низменности. При их использовании должен быть проведён тщательный лабораторный анализ и выданы чёткие рекомендации по

нейтрализации солей или устройства надёжной защиты подземных конструкций и частей зданий от коррозионного разрушения.

Таким образом, анализируя качественные характеристики различных видов грунтов, расположенных на территории Западно-Сибирского региона, можно сделать вывод о большом разнообразии типов грунтов по составу, происхождению, степени насыщения вредными примесями и химическими соединениям и другим свойствам, что обуславливает необходимость проведения специальных исследований для выбора рациональных направлений использования в строительных целях.

Таблица 1.

Разновидности глинистых грунтов

Наименование грунта	Разновидности глинистых грунтов	Показатели	
		Число пластичности	Содержание песчаных частиц в сухом грунте, %
Супесь	Лёгкая крупная	1 – 7	50%
	Лёгкая	1 – 7	50%
	Пылеватая	1 – 7	20 – 50%
	Тяжелая пылеватая	1 – 7	20%
Суглинок	Лёгкий	7 – 12	40%
	Лёгкий пылеватый	7 – 12	40%
	Тяжёлый	12 – 17	40%
	Тяжёлый пылеватый	12 – 17	40%
Глина	Песчанистая	17 – 27	40%
	Пылеватая (полужирная)	17 – 27	Не нормируется
	Жирная	27	Не нормируется

Кроме вышеприведённых видов грунта, которые в той или иной степени используются для строительных целей как сырьё или компоненты материалов или частей зданий и сооружений, при возведении зернотоков. Сельских дорог, силосных траншей и других объектов часто используется верхний слой грунта – почвенный слой. В почвенном слое под воздействием климата, растительности и жизнедеятельности микроорганизмов грунт приобретает некоторые отличительные особенности характерные для данного географического или климатического региона.

Под укреплением грунтов принято понимать комплекс мероприятий по повышению их механической прочности и водоустойчивости. Грунты обрабатывают различными вяжущими с добавками активных веществ, при этом в результате сложных химических, физико-химических и физических процессов все компоненты смеси необратимо утрачивают свою дисперсность и грунтовая смесь превращается в прочный водо- и морозостойкий монолит [1].

По методу укрепления грунты подразделяют на:

- укрепленные неорганическими вяжущими материалами или неорганическими отходами промышленности;
- укрепленные органическими вяжущими или органическими отходами промышленности;
- комплексно укрепленные, т.е. неорганическими вяжущими в сочетании с органическими, или неорганическими вяжущими в сочетании с различными добавками, или органическими вяжущими также в сочетании с различными добавками, или органическими либо неорганическими отходами промышленности в сочетании с добавками различных химических веществ.

Теоретические основы технической мелиорации были сформулированы ее основоположниками проф. М.М. Филатовым и проф. С.С. Морозовым в 1925-1935 гг., когда в инженерной геологии возникло новое направление - дорожное грунтоведение. Успешному развитию технической мелиорации способствовало учение К.К. Гедройца о поглотительной способности почв.. Изучение дисперсности, химико-минералогического состава, структуры, характера и форм воды в грунтах позволило разработать способы укрепления глинистых грунтов битумными эмульсиями, укрепления грунтов введением в него неорганических коллоидов - жидкого силикатного натрия, гидроокиси железа, гидравлической извести. Позднее получили развитие теории кольтматации песчаных грунтов и цементации дисперсных грунтов, разработаны способы силикатизации лессовых грунтов, методы укрепления грунтов синтетическими смолами и рецептуры тампонажных цементно-глинистых растворов.

Новым направлением в технической мелиорации грунтов явилось изучение механизма твердения различных вяжущих, химико-минералогических и структурных особенностей, а также деформационных свойств укрепленных грунтов. При укреплении грунтов неорганическими вяжущими широкое распространение получили цементы и известь. Цемент обеспечивает существенное изменение природных свойств обрабатываемого грунта, и глинистые частицы грунта утрачивают отрицательные свойства - способность к набуханию и размоканию в воде, пластичность и липкость. Основными факторами, влияющими на прочность цементогрунта, являются содержание в нем цемента и гранулометрический состав грунта. Пригодными для укрепления грунтов считаются пески, супеси и суглинки с числом пластичности до 17. Тяжелые суглинки и пылеватые глины малопригодны для укрепления цементом. Поскольку известь в виде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ всегда образуется в процессе гидратации портландцемента, то взаимодействие минералов извести и глины оказывают влияние на процесс взаимодействия между глиной и цементом в целом. Цементирующий материал в смесях извести и глины образовывается в результате карбонизации и химических реакций между компонентами глины и извести. Карбонат кальция цементирует частицы грунта и повышает их прочность.

Минералы, входящие в состав глин, обладают свойствами, которые обычно присущи пуццолановым добавкам. Образование извести в процессе гидратации цемента вызывает резкое повышение рН поровой воды вследствие растворения и диссоциации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что в свою очередь повышает реактивную способность поверхности частиц, в состав которых входит двуокись кремния и глинозем. Ионы кальция соединяются с реактивной водной двуокисью кальция и глиноземом и образуют постепенно твердеющий цементирующий материал. Ионы кальция, образующиеся при гидратации цемента, насыщают глину кальцием и стремятся интенсифицировать коагуляцию, вызванную повышением общего содержания электролита, сопровождающим добавку цемента. Гидроокись кальция вызывает взаимодействие частиц глины и аморфных компонентов. Растворившиеся двуокись кремния и глинозем вступают во взаимодействие с ионами кальция, в результате чего образуется дополнительный цементирующий материал.

Наиболее пригодными для цементации являются грунты, в минеральном составе тонкодисперсной части которых преобладают кварц, каолинит, а гидрослюда содержится в небольшом количестве. Наличие в грунтах карбонатов кальция является положительным фактором, способствующим увеличению прочности цементогрунта. Наличие в грунте кислых гумусовых веществ отрицательно влияет на процесс структурообразования цементогрунта. Гумусовые вещества, обволакивая продукты гидролиза цемента, препятствуют процессу необратимых реакций, обуславливающих формирование кристаллизационных структур. Расход цемента при укреплении супесей принимают в пределах 3...8%, для супесей - 4...12%; суглинков - 8...14%, для песчаных или пылеватых глин - 10...15%.

Во многих случаях для укрепления грунтов применяется известь в виде известинки или молотой негашеной извести, тем более что известь является более доступным

материалом, чем цемент. При обработке глинистых грунтов известь вступает в химическое и химико-физическое взаимодействие с тонкодисперсной частью грунта и под их воздействием превращается в гидравлическое вяжущее. Процессы твердения извести протекают крайне медленно. Достаточная прочность и водостойкость обеспечивается при твердении образцов в атмосфере, насыщенной водяными парами, а не на воздухе. При взаимодействии извести с глинистым грунтом, играющим роль гидравлической добавки, на поверхности тонкодисперсных частиц или их микроагрегатов в водной среде самопроизвольно синтезируются гидросиликаты кальция, то есть известь проявляет себя как гидравлическое вяжущее. Следовательно, тонко дисперсная часть грунта является резервом, обеспечивающим набор прочности со временем.

Наличие в супесях, суглинках и глинах тонкодисперсных частиц алюмосиликатного состава, а также активного кварца, в условиях щелочной среды, вызванной наличием гидрата оксида кальция, приводит к образованию гидросиликатов - эти соединения обладают более высокими цементирующими свойствами, чем Ca(OH)_2 . Одним из существенных недостатков извести является низкая морозостойкость укрепленных грунтов. Расход извести при укреплении супесей принимают 4...8%, для суглинков - 7... 12%, песчаных или пылеватых глин - 6.. .10%.

В целях снижения расхода основных неорганических вяжущих (цемента и извести), а также расширения видов грунтов для укрепления целесообразно применять комплексные методы, суть которых состоит в том, что при укреплении грунтов наряду с основным вяжущим реагентом дополнительно вводят добавки активных и поверхностно-активных веществ, которые способствуют активизации физико-химического взаимодействия вяжущего с грунтом и в конечном итоге повышают эффективность укрепления грунта. Введение активных добавок позволяет регулировать процессы структурообразования и во многих случаях дает возможность уменьшить расход дефицитных вяжущих реагентов.

В комплексных методах укрепления грунтов в дорожном строительстве широко применяются следующие вяжущие и добавки:

- портландцемент и различные электролиты, гидрофобные полимеры, битумные эмульсии;

- битум и известь;
- известь и различные электролиты или жидкое стекло;
- мочевино-фурфурол-формальдегидная смола и битумные эмульсии;
- фосфатные вяжущие и электролиты;
- жидкое стекло, полимеры и т.п.

Из других известных добавок при укреплении грунтов цементом или известью большой интерес представляют золы уноса и золошлаковые смеси.

Механическое удерживание земляных масс на склонах может быть обеспечено устройством контрфорсных сооружений: подпорных стен, свайных рядов, инъекционных преград и упорных призм из грунта. Подпорные стенки проектируют чаще всего для удержания неглубоких слоев, смещающихся по четко определенной поверхности скольжения. В зонах с ответственными сооружениями подпорными стенками удерживают и более мощные слои, потенциальные поверхности скольжения которых известны. Подпорные стенки значительной высоты проектируют на участках автомобильных дорог, где с их помощью стабилизируют естественные и искусственные склоны.

Подпорные стенки делают из каменной кладки, бетона и бутобетона, железобетона, массивными или облегченными на свайном основании. В некоторых случаях при проектировании автомобильных дорог на склонах прибегают к устройству массивных стенок из армированного грунта или анкерных креплений. Сооружения врезают основанием в несмещающийся слой грунта и защищают от подземных и поверхностных вод. Однако, все вышеперечисленные способы укрепления откосов транспортных сооружений являются весьма затратными. На наш взгляд, проще и экономичнее осуществлять укрепление грунтового основания пропиткой полимерными, силикатными, цементными и прочими

составами. При этом грунт может быть в природном сложившемся уплотненном состоянии, что снижает затраты на его разработку и последующее уплотнение.

Известно, что глинистые грунты относятся к полидисперсным коллоидным структурам, состоящим из твердых фаз (отдельных минералов), жидкой фазы (воды, раствора) и газовой фазы в порах. Резкое понижение прочности структур при уменьшении степени заполнения твердой фазы свидетельствует о том, что равновесие сил взаимодействия между частицами возникает на дальнем расстоянии $xh_0 > 2$ (l/k — дебаевская толщина ионной оболочки; h_0 — равновесное расстояние между частицами) [1,2].

Эта система подразделяется на два рода. К первому роду относятся коагуляционные структуры с расположением частиц на расстоянии равновесия xh_0 , а ко второму — более рыхлые коагуляционные структуры с крупными регулярными порами между агрегатами, являющимися системами первого рода. В качестве модели элементарного агрегата принимается совокупность одинаковых шаров, расположенных на вершинах октаэдра. Конфигурация элементарного агрегата не оказывает существенного влияния на последующие вычисления, так как условие $d \gg h_0$ (d — диаметр частиц) позволяет ограничиться учетом сил взаимодействия лишь близлежащих частиц с расстоянием между их центрами $d+h_0$.

В основу вывода деформационных и прочностных характеристик принятой модели глинистого грунта положена формула Дерягина [2] о силах взаимодействия между твердыми частицами в жидкой среде

$$N = c_2 e^{-xh} - \frac{c_1}{(xh)^2} \quad s_1 = \frac{1}{24} d A x^2, \quad c_2 = \frac{\pi d}{2x} \rho_0$$

$$x^2 = \frac{8\pi c n}{\epsilon k T} e^2 z^2, \quad \rho_0 = 64 n c k T \quad (1)$$

где

d — диаметр частиц;

A — постоянная Ван-дер-Ваальса;

c — концентрация раствора в молях на см^3 ;

n — число анионов или катионов в грамм-молекуле электролита;

e — электрический заряд ионов;

z — электровалентность;

s — диэлектрическая постоянная;

k — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура.

Как известно [2], применимость формулы (1) ограничена условиями, при которых потенциал поверхностей частиц $\psi \gg 100$ мВ и концентрация раствора изменяется в интервале $5 < c < 70$ ммоль/л. В частности, эти условия соблюдаются и для глинистых частиц, имеющих размеры, $d = 10^{-5} \div 10^{-6}$ см. Последующие расчеты выполняются из предположения указанных выше ограничений.

В настоящее время существуют достаточно объективные научно обоснованные теории укрепления грунтов в зависимости от тех или иных конкретных климатических и геолого-минералогических условий, которые позволяют достаточно четко определить рецептурно-технологические особенности и спрогнозировать сроки службы укрепленных грунтовых оснований транспортных сооружений. Для различных глинистых грунтов как коллоидных систем, получены зависимости, характеризующие критическое расстояние между частицами, при котором система начинает разрушаться; деформации и пределы прочности на растяжение, сжатие и сдвиг; модуль деформации и коэффициент бокового расширения; условия разрушения и уплотнения пор; критерий устойчивости системы.

Полученные результаты с применением методов подобия и размерности могут быть использованы для исследования свойств глинистых оснований с позиции физико-химической механики. Рассчитав объем пор в глинистом грунте и определив его кислотность, можно рекомендовать тот или иной состав для укрепления основания откосов.

Наиболее доступным способом может быть укрепление откосов продольным кротованием с одновременной цементацией или силикатизацией, что позволяет обеспечить достаточную устойчивость сооружения к внешним нагрузкам при минимальном нарушении целостности уплотненного грунта в естественном состоянии [3].

Реализация теоретических выкладок по установлению взаимосвязь структуры и свойств укрепляемого грунта с вводимыми минеральными составами позволяет обоснованно осуществить выбор рецептуры грунтобетона в соответствии с эксплуатационными требованиями при минимизации материальных и энергетических затрат. Важным условием для успешной реализации предлагаемого способа укрепления откосов является природная или естественная влажность укрепляемого грунта. Не рекомендуется выполнять работы на переувлажненных грунтах. В то же время при минимальной влажности грунтового массива будет происходить повышение расхода цементного раствора или полимерного связующего. Отработка экспериментальной модели в лабораторных условиях подтвердила целесообразность введения в укрепляемую грунтовую массу минерального вяжущего или полимерного связующего. Их введение в состав грунтовой смеси при кротовании способствует сокращению расхода цемента и обеспечивает упрочнение ранее ненарушенной естественной структуры грунтового массива, повышая механическую прочность и водостойкость за счет гидратационного твердения. Изучение микроструктуры образцов укрепленного грунта с минеральными вяжущими отличается упорядоченностью и равномерностью по сравнению с неукрепленными материалами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пичугин А.П., Языков И.К., Гришина В.А., Батина Н.А. Материалы на основе укрепленных и армированных грунтов в сельском строительстве. Монография. Новосибирск, НГАУ, 2018. – 120 с.
2. А. Ф. Полак, Твердение мономинеральных вяжущих веществ, Стройиздат, М., 1966. стр. 126.
3. Чесноков Р.А Выбор устройства для укрепления откосов транспортных сооружений// Эффективные материалы и технологии для транспортного и сельскохозяйственного строительства.// Сб.н.тр. Междун. Научн.конфер. Новосибирск, НГАУ, СГУПС, РАЕН. – 2020. – С.278-280.

THE BASICS OF OBTAINING OF BUILDING COMPOSITES ON A SILICATE MATRIX WITH USING NANOTECHNOLOGICAL TECHNIQUES

Olena Shynkevych, Yevgen Lutskin, Oleksiy Surkov, Azzam Salim

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine*

Introduction

The progress in the construction industry is connected with the development and implementation of nanotechnology, reducing the material and energy intensity of production, as well as the cost of the construction. One of the urgent tasks of Materials Science in the framework of nanotechnology development is the description of the mechanisms of the known hydration processes of various types of binders at the nanoscale.

Fundamentals of the production of building composites on silicate matrix of non-autoclaved hardening

The authors have developed nanotechnological techniques for producing building composites on silicate matrix of thermo-moisture hardening. The transition from expensive autoclaving with "hard" activation modes to thermo-moisture hardening under energy-saving modes is ensured by implementing complex activation of the silicate-concrete mixture [1]. The obtained results can be explained by the description of the mechanisms of action of the known hydration processes of lime-silica binder at the nanoscale.

Experimental and theoretical results of studies have shown that for activated lime-silica composites the presence or absence of a particular mineral is not an exceptional prerequisite to obtain the required specific physical and mechanical properties. Perhaps the most significant factor is the size of the neoplasms and the nature of the relationship between them.

In this study, the nanotechnological methods of quartz activation and the structure formation of nanoscale are implemented through the development and implementation of complex activation of the raw mix, which made it possible to go from hydrothermal synthesis of calcium hydrosilicates (HSC) in autoclaves to thermo-moisture hardening [2]. To obtain a multicomponent lime-silica binder, quicklime, lime, crushed with quartz sand accordingly to related ratio are used; separately, the rocks of amorphous structure, specifically tripoli, are crushed to related specific surface area. To produce the concretes based on a three-component binder, the raw quartz sand was used as a fine-grained aggregate.

Complex activation includes a sequential cycle of various types and methods of activation: mechanochemical activation of crystalline quartz in aqueous environment of a mixer-activator, chemical one – due to the introduction of amorphous silica, chemoactivation one – due to elevated pH values of the medium, thermoactivation one – due to the exothermal of quicklime.

The activation of quartz consists of converting the crystal surface structure of the quartz grain layer to the amorphous state, however, it can be assumed that the mechanism of the processes under the influence of activation's various types is different. Primarily the differences are dependent to the nature and type of dislocations, taking into account the degree and duration of exposure.

Nanotechnological aspects of complex activation

Mechanochemical activation occurs due to the special properties of newly formed surfaces, particularly due to the change (predominantly local) of chemical and phase composition of solids, as well as their aggregate state under the action of high-intensity mechanical effects [3].

As a nanotechnological method, the mechanochemical activation of crystalline quartz is carried out in an aqueous medium of industrial mixer-activators. It allows to reduce the viscosity of the lime-silica binder by an order [4]. This effect of viscosity reducing is used to compensate the increased water demand of the mixture due to the introduction of a porous mineral additive and the binder activation together with fine-grained aggregate.

For mechanochemical activation, the change of the chemical, physical, and aggregative state is connected with linear, spatial, deep-seated, and especially edge dislocations, depending on the force of action. The type of dislocations will be determined by the trajectory of the quartz grain movement at the moment of impact with the blades of the mixer-activator: direct, tangential or tangential ones.

As a result of mechanical action, the stress field is created in the local areas of solid particles. Relaxation of the local stress fields can occur through the formation of new edge dislocations and point defects in the crystals and the formation of new surfaces, which contributes to the initiation of solid-phase chemical reactions.

Unlike the mechanical dispersion, the main purpose of mechanochemical activation is the initiation of chemical reactions in the solid phase, moreover, both on the surface of ground quartz sand (as a binder component) and the surface of non-ground quartz sand (aggregate).

Chemical activation is carried out by introducing of the mineral additive, containing amorphous (active) silica. Chemical activation increases the soluble silica content in the mixture. Grinding in the process of tripoli dispersing to the size of chalcedony balls determines the possibility of regulating the processes of structure formation at the nanoscale. In addition, the presence of tripoli in the dispersed system contributes to increase the chemical activity of the

system due to its amorphous structure and causes the formation of nanoscale *HSC* in the pores of tripoli. A small proportion of nanoparticles are entered to the concrete mixture during fine grinding (dispersion, as a nanotechnological method of activation) of the silica components of the binder: quartz sand and tripoli of amorphous-crystalline structure with a porosity more than 60%. Dispersed highly porous tripoli can serve as a "nano-reactor", its walls limit the growth of tumors in the space.

During the contact with water, the grains of tripoli almost instantly absorb it under the action of capillary forces. As a result, the dissolution and hydration reactions occur on a strongly developed surface under the conditions of high concentrations of ions SiO_2^{4+} inside the tripoli particles. They are the source of nutritive for the crystallization of *HSC*, growing in the direction from the surface to the center of the tripoli particle. The neoplasms formed in the pores, in particular the tobermorite-like gel *SCH(II)*, hillebrandite $\text{C}_2\text{SH(B)}$ and $\text{C}_2\text{SH(C)}$ are characterized by nanoscale. The resulting *C-S-H* can be considered as a gel, but not necessarily amorphous. And its crystal structure is evidenced by defractograms, which are observed in the cases when *C-S-H* is obtained from an aqueous suspension in the CaO-SiO_2 system. Approximately all *C-S-H* particles are nanoscale. The presence of a tripoli particle in the binder can regulate the speed and kinetics of hydration reactions.

Thermal and chemical activation (at the stage of preconditioning) are carried out due to exotherm of quicklime and elevated pH values of the medium, whereby the additional sources of dislocations appear on the surface of crystalline quartz.

The use of quicklime and thermo-moisture hardening (*TMH*) provide additional soft and less energy-intensive thermoactivation modes. Under the conditions of *TMH* at $T=85^\circ\text{C}$, the contradiction, associated with an increasing of the quartz solubility, but with decreasing of lime solubility, is annulled, under the conditions of accelerating process of its dissolution [5]. In addition, increasing of *pH* system leads to the creation of favorable conditions for durability and deformation resistance of *HSC* neoplasms at the operation stage ($11.5 \leq \text{pH} \leq 12.5$). Due to the above activation methods, the conditions are provided for creating the necessary physicochemical activity of silica and the formation of calcium hydrosilicates at the required amount at $T=85^\circ\text{C}$.

Experimental-statistical modeling of experimental results

It is known that with the same water content of expanding and conventional concretes, the relative values of shrinkage are the same. Therefore, in lime-silica mixtures, which are capable of expanding, the destruction processes of shrinkage, which are characteristic of ordinary concrete, also occur, but in the increased volume of the mixture. The optimization of the binder compositions and mixtures was carried out based on the analysis of the possibility of directional control of swelling deformations and shrinkage in the activated lime-silica composites [16]. The minimum shrinkage value $\varepsilon=0.02$ mm/m corresponds to the compositions with the maximum value of volume expansion $z=0.1\%$, in this area the residual deformations (the difference between the values of expansion and shrinkage) $\Delta\varepsilon \rightarrow 0$.

In research using experimental and statistical modeling it is studied below factors and their influence on the structure and properties: specific surface area of tripoli as a component of binder S_1, S_2, S_3 (v_1, v_2, v_3), duration of a preliminary ageing in standard conditions $\tau_{p.a.}$ (x_4), the duration of a thermo-moisture treatment τ_{TMT} when $T = 85^\circ\text{C}$ (x_5) and content of gypsum supplements C_g (x_6).

In research it is calculated two comparable complex of six factors experimental-statistical models describing the dependency of the "structure – technology – properties" what allowed to study the dependency "characteristics of the structure – property".

Analyzed the influence of composition and conditions of curing more than ten properties, including compressive strength (R_b), tensile bending (R_{btb}), frost- (F), water- (k_r) and crack-resistant's (k_{lc}), microhardness (H), heat conductivity (λ), modulus of elasticity (E) and more than ten characteristics of the structure, including the relative average size of capillary pores (d_k), total porosity (P), the ratio of open to the general (k_{sat}), and content in the composites of mineral and phase compositions.

Nanotechnological techniques allow not only significantly to reduce the energy consumption of the production, but also to obtain competitive composite wall materials with significantly higher quality indicators compared with the silicate pressed autoclaved products such as thermal conductivity, density, water and crack resistance, corrosion resistance, and elastic modulus.

Summary

Complex activation, implemented as a sequential cycle of elementary nanotechnological techniques, contributes to the development and reduction to building practice of the resource-saving injection molding nanotechnologies for the production of effective non-autoclaved hardening silicate wall products.

According to ES-models, the properties of materials can be regulated within wide limits: the compressive strength from 4.9 till 22.5MPa, the coefficient of heat conductivity from 0.46 till 0.99 Wt/m·K, the frost-resistance from 15 till 35 cycles. The analysis of the connection of "composition – technology – structure – property" allows to manage the properties of silicate materials.

Using the results of ES-modeling the rational compositions and the of hardening conditions are recommended for the receipt of articles of a different functional purpose:

- the stones of the walling facial classes B10 and B15 with the frost-resistance F35, the coefficient of heat conductivity less than 0.7 Wt/m·K, the coefficient of softening more than 0.85 and the density 1550-1650 kg/m³;
- the stones of walling ordinary classes B5 and B7.5 with the frost-resistance F15 and F25, the factor of heat conductivity less than 0.56 WT/m·K and the density 1450-1550 kg/m³;
- the hollow blocks of walling ordinary classes B7.5 with the frost-resistance F_{≥15}, the factor of heat conductivity less than 0.56 WT/m·K and the density 1100-1200 kg/m³.

[1] O. Shynkevych, Y. Lutskin, O. Koichev, G. Bondarenko, A. Tertychnyi, I. Myronenko, Nanotechnological and Energysaving Methods of Production of Building Composites, MATEC Web of Conference, 116 (2017), 01015 (10).

[2] Y. Lutskin, O. Shynkevych, Lutskin, A. Aniskin, Multiple influence of silicacontaining component of the chemobiogenic origin on the structure and properties of composites on silicate matrix, Technical J. Tehnički glasnik, 11-4 (2017) 160-165.

[3] Y.M. Butt, M.M. Sychev, V.V. Timashev, Chemical technology of binders, High school, Moscow, 1980.

[4] Y. Lutskin, O. Shynkevych, I. Myronenko, S. Zakabluk, O. Surkov, The influence of the content on structure and properties of geopolymer composites on silicate matrix, In: MATEC Web of Conferences, 230 (2018), 03011.

[5] I. Shtark, B. Viht, Durability of concrete, Translated from German A. Tulaganova, Under edition P.V. Krivenko, Kiev, 2004.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Абдикадиров П.У. ПРИМЕНЕНИЕ ВСПЕНЕННЫХ БИТУМОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РЕСПУБЛИКЕ КАРАКАЛПАКСТАН.	5
Батин М.О., Грохотов В.И. ПРИНЦИПЫ РАСЧЁТА ДЕРЕВЯННЫХ МОСТОВЫХ ОПОР...	8
Батин М.О., Пичугин А.П., Митина Л.А., Алешкевич М.Г., Дзю И.М. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ	11
Бернацкий А.Ф. СВОЙСТВА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА, ТВЕРДЕВШЕГО В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ.....	14
Божко Ю.А., Овдун Д.А. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЦЕНКИ ЭСТЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИЦЕВОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА.....	18
Бурученко А.Е., Харук Г.Н. ОЦЕНКА ФОРМИРОВАНИЯ ЖИДКОЙ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗ В КЕРАМИЧЕСКИХ МАССАХ ПРИ ОБЖИГЕ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ.....	23
Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Булдыжова Е.Н., Морозов И.В. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИМЕСЕЙ, ИМЕЮЩИХСЯ В ГИПСОВОМ И АНГИДРИТОВОМ КАМНЯХ, НА СВОЙСТВА ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА	27
Власов В.А., Клопотов А.А., Безухов К.А., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е., Голобоков Н.Н., Шеховцов В.В. ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СИНТЕЗА МУЛЛИТА, ПРОВЕДЕННОГО ПРИ ПОМОЩИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ В СРЕДЕ АЗОТА НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ КАОЛИНА И МАРШАЛИТА	31
Гайшун Е.С., Явруян Х.С., Гайшун А.С. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ УГОЛЬНОГО РЯДА.....	36
Гебру Б.К., Котляр В.Д., Курилова С.Н. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КИРПИЧА НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ЭФИОПИЯ.....	39
Гулян Д.О. МАТЕРИАЛ В РЕСТАВРАЦИИ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	44
Гусев К.П., Ларичкин В.В., Арынгазин К.Ш. РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ.....	47
Игнатова О.А., Дятчина А.А. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГРУНТОВ И СПОСОБЫ ИХ МОДИФИКАЦИИ	53
Козлова В.К., Божок Е.В., Маноха А.Н., Кашицкий А.А., Лотов В.А., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П. О МЕХАНИЗМЕ ВЛИЯНИЯ КАРБОНАТНЫХ ДОБАВОК НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ БЕТОНОВ.....	58
Котляр А.В., Яценко Р.А. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДОРОЖНОГО КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА	61
Котляр В.Д., Терёхина Ю.В. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД	66

Кудяков А.И., Стешенко А.Б., Рябцева Н.Е. ВЛИЯНИЕ НАНОДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ	72
Кузнецов С.С., Охотная А.С. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	74
Куликова А.А., Демьяненко О.В., Копаница Н.О. РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ.....	77
Кучеренко А.А. ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ЧТО ЭТО?	82
Лазарева Я.В., Орлова М.Е., Дьяченко Н.Е. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИНКЕРНОЙ ЧЕРЕПИЦЫ.....	86
Лшенко Т.В. МЕТОДОЛОГИИ ЭС-МОДЕЛИРОВАНИЯ И РТ-ПОЛЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТОК ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	91
Лыткина, В. С. Смирнов Е.В. ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ-УНОСА НА СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ.....	95
Мазгалева А.В., Пичугин А.П. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГКОБЕТОННЫХ ПОЛОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ.....	97
Машкин Н.А., Громов С.А., Шкряба В.И. ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ШАХТНОЙ КРЕПИ	99
Мишин А.Г., Хританков В.Ф., Пичугин А.П. К ВОПРОСУ О ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕМБРАННЫХ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СИБИРСКОГО КЛИМАТА.....	103
Моргун Л.В., Моргун В.Н., Богатина А.Ю. О ЗАВИСИМОСТИ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ОТ РАСХОДА ПАВ.....	105
Охотная А.С., Лапунова К.А. ОБЗОР РЫНКА СТРОИТЕЛЬНОЙ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО САЙДИНГА В РОССИИ	109
Пичугин А.П., Бобыльская В.А., Лещенко С.И., Мазгалева А.В. ГРУНТОБЕТОН С ДОБАВКАМИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕЛЬСКИХ ДОРОГ И СООРУЖЕНИЙ	113
Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г., Смирнова О.Е. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРУПНОПОРИСТОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА С ИНТЕГРАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ.....	117
Пичугин А.П., Пчельников А.В., Волобой Е.А., Луцик Р.В. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОСФЕРИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ МАШИН РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР	122
Пичугин А.П., Пчельников А.В., Луцик Р.В. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА	125
Пичугин А.П., Пчельников А.В., Ромашев Д.В. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОГНЕСТОЙКИХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМИ РИСКАМИ К ВОЗГОРАНИЮ.....	132

Пичугин М.А., Хританков С.Н, Хританков В.Ф, Пичугин А.П. РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ ПОЛА ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ДЕМПИРУЮЩИМ ЭФФЕКТОМ.....	138
Пчельников А.В., Волобой Е.А., Пичугин А.П., Банул В.В. РОЛЬ НАНОДОБАВОК В ПОВЫШЕНИИ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	142
Пчельников А.В., Пичугин, А.П., Волобой Е.А. К ВОПРОСУ О СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОЗГОРАНИИ	144
Раков М.А., Корнева Л.Н., Корнев М.И., Севостьянова С., Разуванова К., Шомин А., Захаров А. ПРОБКОВОЕ ПОКРЫТИЕ СВОИМИ РУКАМИ	148
Румянцева В.Е., Красильников И.В., Строкин К.Б., Гундин С.А., Красильникова И.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МАССООТДАЧИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЖИДКОСТНОЙ КОРРОЗИИ БЕТОНОВ ПЕРВОГО ВИДА	153
Свинцицкая В.С., Лапунова К.А. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА ВИТРАЖНЫХ ПАННО ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	156
Селяев В.П., Лияскин О.В., Кечуткина Е.Л. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИНТЕЗА ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ	159
Скрипкюнас Г., Е.А. Карпова РЕОЛОГИЯ И ВОДООТДЕЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ.....	163
Скрипникова Н.К., Семеновых М.А, Шеховцов В.В., Кунц О.А. ПОЛУЧЕНИЕ АНОРТИТОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОНДИЦИОННОГО ВИДОВ СЫРЬЯ	168
Смирнова О.Е., Пирогов А.В., Дуйнхэржав Я. ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН	172
Смирнова О.Е., Пичугин А.П. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КОСТРЫ ЛЬНА	175
Смирнова О.Е., Пичугин А.П., Хританков В.Ф. НОВЫЕ ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ	178
Стенина Н.Г. ИННОВАЦИОННЫЙ ВКЛАД В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	182
Столбоушкин А.Ю., Поправка И.А. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СДВИГОВЫХ УСИЛИЙ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ В КЕРАМИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТАХ.....	187
Столбоушкин Н.Ю., Истерин Е.В. НОВЫЕ ПОДХОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	189
Субботин О.С. ФОРМИРОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОЙ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПОСЕЛЕНИЯХ	192
Тараканов О.В. ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ И МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	196

Тараканов О.В., Белякова Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ И МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	200
Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Барышок Л.А., Ульянова О.В. ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ ПЛАНИРОВАНИЕМ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	204
Трофимов В.И., Ясюкович В.А. УЧЕТ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МНОГОПУСТОТНОЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА	207
Улитко Е.В., Герасимов В.В., Иконникова А.В., Дружинин А.А. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ ДЕВЕЛОПЕРСКИХ ПРОЕКТОВ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ.....	211
Улитко Е.В., Герасимов В.В., Иконникова А.В., Дружинин А.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ ДЕВЕЛОПЕРСКИХ ПРОЕКТОВ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ.....	214
Хританков В.Ф., Виноградов С.А., Пичугин М.А. ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ДИСПЕРСНЫМИ И ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ.....	218
Чесноков Р.А., Языков И.К., Пичугин А.П., Евдокимов Е.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	223
Shynkevych Olena, Lutskin Yevgen, Surkov Oleksiy, Salim Azzam. THE BASICS OF OBTAINING OF BUILDING COMPOSITES ON A SILICATE MATRIX WITH USING NANOTECHNOLOGICAL TECHNIQUES	229

**ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Отв. редактор д.т.н., проф. Пичугин А.П.

Технический редактор Онищенко Н.В

Издательский центр НГАУ

Подписано к печати 4.02.2021

Формат 60×84¹/₁₆ Объем 27,8 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. Изд. № 2617

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»

Новосибирский государственный аграрный университет

630039, Новосибирск, ул.Добролюбова, 160, кааб.106

Тел.(383) 267-09-10.