

Министерство образования Пензенской области
Управление образования города Пензы
IV открытый региональный конкурс исследовательских и
проектных работ школьников
«Высший пилотаж - Пенза» 2022

Секция «Физика»

Исследовательская работа
«Коррозионностойкие строительные материалы на основе отходов
производства»

Автор работы:
ученик 10 класса
МБОУ СОШ №37 г. Пензы
Малиновский Артем Александрович
Научный руководитель:
Михайлина Светлана Васильевна
к.т.н., учитель физики
МБОУ СОШ №37 г. Пензы

Пенза
2021г.

Оглавление

Введение	3 - 4
Глава 1. Теоретическая часть	
1.1. Конструкция дорожной одежды	4 - 5
1.2. Что такое шлакощелочной бетон?	5 - 6
Глава 2. Практическая часть.	
2.1. Подготовка материалов для исследований	6 – 7
2.2. Методы исследований физико-механических свойств шлакощелочных бетонов и результаты экспериментов	7 - 8
2.3. Техничко-экономическая эффективность шлакощелочных бетонов с добавкой цеолитсодержащей глины	8
Заключение	9
Литература	10
Приложения	11 - 16

Введение.

Проблема долговечности и качества дорог является широко обсуждаемой. Уровень обсуждения чаще всего носит характер расследования и поиска виноватых. Мы убеждены, что проблема требует комплексного подхода в решении, т.е. необходим учет всех сторон взаимодействия: на уровне государственной власти, профессионалов дорожно-строительного бизнеса и на уровне пользователей.

В последние годы дорожники России вплотную столкнулись с интенсивным образованием ям и выбоин, появлением сетки трещин на покрытиях, вызванных низкой несущей способностью дорожных одежд.

Ощутимый след на состоянии дорожного полотна оставляют климатические условия, характерные для России. Зачастую именно погода разрушает дорожное покрытие. В зимнее время года в результате воздействия низких температур, а также транспортной нагрузки на поверхности дорожного полотна образуются микроскопические трещины, после попадания воды они вырастают и превращаются в серьёзные дефекты, требующие ремонта.

Ремонт дорожного покрытия, производимый ямочно-канавочным методом, зарекомендовал себя с отрицательной стороны, поскольку он ещё больше способствует разрушению дороги.

Одним из эффективных направлений в строительной практике на сегодняшний день и в будущем является разработка и применение коррозионностойких бетонов. На предприятиях пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также в транспортных, гидротехнических зданиях и сооружениях значительную роль в разрушениях строительных материалов и изделий играет действие агрессивных сред. Постоянные проливы органических жидкостей, химикатов приводят к разрушению дорожных покрытий, брусчатки, полов и емкостей, изготовленных из бетонов на основе портландцемента.

Подчеркивая вышесказанное, считаем, что с целью повышения долговечности материалов, экономии материальных и энергетических затрат на ремонт и восстановление разрушенных дорожных конструкций, актуальным является использование модифицированных шлакощелочных бетонов, стойких к агрессивному действию окружающей среды.

Сырьевой базой для выпуска шлакощелочных бетонов являются отходы производства, в частности, шлаки металлургической, энергетической промышленности и литейных производств. Применение в качестве активаторов твердения щелочей, силикатов натрия, соды, а также солей щелочных металлов, дающих в результате гидролиза и каустификации в водной среде щелочную реакцию, позволяет расширить диапазон использования шлаков и щелочных отходов в производстве шлакощелочных бетонов. Анализ литературы последних лет свидетельствует о том, что в качестве щелочных активаторов все больше используются щелочные отходы промышленных производств: травления аэрозольных алюминиевых баллонов, автоклавной переработки фосфоритов, производства хитозана, щелочные отходы лекарственного, химического и биологического синтеза медпрепаратов и т.п.

Научный опыт, накопленный за многие годы исследований в области технологии шлакощелочных бетонов, показывает, что в качестве эффективных модификаторов для коррозионно-стойких бетонов применяли добавку каолина и дегидратированную глину. Использование цеолитсодержащих глин для бетонной смеси, и дешевых щелочных модификаторов на основе отходов производства, не изучалось.

На основе результатов литературного обзора по вопросу коррозионной стойкости бетонов на основе портландцемента и шлакощелочных бетонов в разных агрессивных средах, была выдвинута **рабочая гипотеза** – образцы шлакощелочного бетона с добавкой

цеолитсодержащей глины более устойчивы к действию агрессивных сред, по сравнению с образцами бетона на портландцементе.

Объект исследования – шлакощелочной бетон с добавкой цеолитсодержащей глины.

Предмет исследования – коррозионная стойкость шлакощелочного бетона с добавкой цеолитсодержащей глины.

Цель работы – экспериментально–теоретическое обоснование применения коррозионностойких шлакощелочных бетонов с добавкой цеолитсодержащей глины для строительства дорожных одежд, как альтернативы использования бетонов на основе портландцемента.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Исследовать кинетические особенности формирования прочности шлакощелочных бетонов, модифицированных цеолитсодержащей глиной, в условиях агрессивных сред.
2. Осуществить анализ коррозионной стойкости и морозостойкости шлакощелочных бетонов с добавкой цеолитсодержащей глины в сравнении с бетонами на портландцементе.
3. Обосновать экономическую эффективность применения модифицированных шлакощелочных бетонов в сравнении с бетонами на основе портландцемента.
4. Сделать выводы по результатам работы.

Методы исследования:

1. Библиографический анализ литературы и материалов Internet.
2. Экспериментальные исследования.
3. Анализ и систематизация данных.

Новизна работы определяется решением проблемы недолговечности и низкой коррозионной стойкости цементных бетонов, путем использования новых строительных материалов на основе отходов металлургического производства.

Практическая значимость работы – изучены энергоемкие, энергосберегающие материалы на основе отходов производств и комплекса добавок; работа может быть использована школьниками для повышения образовательного уровня.

ГЛАВА 1. Теоретическая часть.

1.1 Конструкция дорожной одежды.

Дорожной одеждой называется многослойная конструкция проезжей части дороги, предназначенная для движения автомобильного транспорта и передающая нагрузку от него на земляное полотно. Дорожная одежда (Приложение 1, рис.1) состоит из покрытия, основания, дополнительного слоя основания и земляного полотна.

Покрытие — это верхний, наиболее прочный, слой дорожной одежды. Он воспринимает нагрузки непосредственно от проходящего транспорта и обеспечивает необходимые эксплуатационные качества автомобильной дороги — прочность, ровность покрытия, высокий коэффициент сцепления с шинами и сопротивление изнашиванию.

Основание — это несущая прочная часть дорожной одежды, устраиваемая из каменных материалов или грунта, обработанного вяжущими материалами. Основание распределяет давление от проезжающего транспорта на грунт земляного полотна или нижележащие слои. Основание может состоять из одного или нескольких слоев.

Дополнительный слой основания — это нижний конструктивный слой дорожной одежды, который воспринимает нагрузки от верхнего слоя основания и передает их на грунты земляного полотна. Наряду с передачей нагрузок на земляное полотно, дополнительный слой выполняет

функции морозозащитного или дренажного слоя, предназначенного для отвода избыточной влаги из верхних слоев земляного полотна, и осушения дорожной одежды. [4]

Правильно запроектированная дорожная одежда должна удовлетворять требуемой прочности и долговечности и одновременно быть наиболее экономичной в данных условиях. По характеру деформаций дорожные одежды подразделяются на жесткие и нежесткие. К первым относятся цементно-бетонные покрытия на различных основаниях, ко вторым - все остальные покрытия с использованием разнообразных минеральных материалов (щебня, гравия, песка) и органических вяжущих материалов (битума, дегтя, эмульсий). [4]

Из энциклопедических сведений [1] известно, что любой бетон состоит из нескольких основных компонентов, представленных на схеме (Приложение 1, рис.2)

1.2. Что такое шлакощелочной бетон?

Шлакощелочной бетон - искусственный камень, образующийся при твердении смеси шлакощелочного вяжущего, заполнителей и воды. Производство изделий из шлакощелочных бетонов технологически не отличается от производства портландцементных бетонов на аналогичных заполнителях как в части приготовления бетонной смеси, уплотнения изделий, так и в части использования различных методов ускорения их твердения (пропаривание, электропрогрев и др.) [1]

Шлакощелочное вяжущее представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из молотого гранулированного шлака и щелочного компонента. Для изготовления шлакощелочного вяжущего сырьевая база практически не ограничена, так как могут быть использованы шлаки доменные, электротермофосфорные, мартеновские, конверторные, шлаки алюмотермического производства и другие виды шлаков черной и цветной металлургии. В качестве щелочного компонента, обеспечивающего твердение бетона, применяются едкие щелочи (натр едкий технический, гидроксид калия технический), сода кальцинированная техническая, калий, углекислый технический, натрий фтористый, растворимые стекла. Кроме указанных технических продуктов могут быть использованы щелочесодержащие отходы промышленных производств металлообрабатывающей, химической, медицинской, целлюлозно-бумажной промышленности и др. [3]

Особым преимуществом шлакощелочных вяжущих является возможность получения высококачественных бетонов на местных заполнителях, содержащих до 20% пылеватых и 5% глинистых частиц, к которым относятся щебни слабых пород, отходы камнепереработки, отвальные шлаки, мелкие местные пески, что важно для районов с острым дефицитом качественных заполнителей. Это объясняется способностью химического взаимодействия глинистых частиц со щелочным компонентом и активацией поверхности пылеватых частиц, что способствует формированию плотной и прочной структуры бетона. [3]

Свойства шлакощелочных бетонов не уступают свойствам бетонов на портландцементе. Исходя из гарантированных значений прочности, установлены классы шлакощелочных тяжелых бетонов в зависимости от их состава В10, В15, В20, В25 и выше (предел прочности при сжатии от 200 кг/см² и выше). Марки по морозостойкости шлакощелочных бетонов лежат в пределах от 200 до 1000. [2]

Шлакощелочной бетон – это био- и коррозионностойкий материал, который можно использовать в конструкциях, подвергающихся воздействию агрессивных минерализованных вод. [7]

Шлакощелочные бетоны, обладающие высокими прочностными и эксплуатационными свойствами, были разработаны в Киевском инженерно-строительном институте под руководством В.Д. Глуховского. В Пензенском университете архитектуры и строительства на

кафедре «Технология бетонов, керамики и вяжущих» ряд ученых активно занимаются исследованием шлакощелочных бетонов, и особое место здесь занимает научная школа под руководством Заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Калашникова В.И.

ГЛАВА 2. Практическая часть.

2.1. Подготовка материалов для исследований.

В качестве основного сырья для изготовления образцов бетона использовали доменный шлак Новолипецкого металлургического комбината. Шлак применяли в виде молотых порошков с удельной поверхностью 3000-3500 см²/г. Для изготовления шлакощелочных бетонов в качестве мелкого заполнителя использовали Сурский речной песок, а щелочными компонентами являлись жидкое стекло и едкий натр технический в соотношении 1:1,7. В качестве модификатора структуры бетона применяли цеолитсодержащую глину Лягушовского месторождения Пензенской области с 28% содержанием цеолитов (Приложение 2, таблица 1). Цеолит, содержащийся в глине Лягушовского карьера, представлен минералом гепландитом (Ca₄[Al₈Si₂₈O₇₂]24H₂O), имеющим слоистую структуру с зернами размером 3-10 мм. [5] Выбор цеолитсодержащей глины, как структурообразующей добавки не случаен. Известно, что цеолит снижает в окружающем материале деформации и напряжения, а дисперсность частиц позволяет участвовать в организации микроструктуры связующего.

Для структуры цеолитов характерен кремнекислородный каркас, который пронизывает всю кристаллическую решетку минерала, отсюда его относительная легкость (плотность равна 2,1-2,2 г/см³). Молекулы воды слабо связаны с каркасом и катионами цеолита и могут свободно удаляться по каналам без разрушения ионных связей. Таким образом, цеолиты выступают в качестве «молекулярных сит», отделяя малые молекулы от более крупных, тем самым избирательно адсорбируя некоторые вещества.[6]

Для проведения физико-механических испытаний изготавливались образцы (Приложение 3, фото1) бетонов размером (4x4x16)см в соответствии с рекомендациями по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе [10].

Процесс помол шлаков, минеральных пород производили с использованием лабораторной шаровой мельницы типа МЛ с керамическими мелющими телами и съемными камерами объемом 10 и 20 л. Дисперсность продуктов помола оценивали по величине удельной поверхности, которая определялась на приборе ПСХ-2. Взвешивание проводили на лабораторных технических весах типа Т-1000 с точностью до 0,02г.

Приготовленную бетонную смесь укладывали в тройчатки размером (4x4x16)см. (Приложение 3, фото3)

Формование образцов осуществляли на виброплощадке ВС-1 (Приложение 3, фото 2) с частотой 3000 кол/мин, амплитудой 0,35мм. Время уплотнения составляло 2 минуты.

Образцы шлакощелочного бетона подвергались тепло-влажностной обработке (ТВО) по режиму 3+6+3 часа, с предварительной выдержкой 4 часа. Пропаривание изделий проводилось в лабораторной камере с автоматическим регулятором режима ТВО, при котором температура изотермической выдержки составляла 85-90⁰С. (Приложение 3, фото 4) Твердели образцы в естественных условиях.

Для сравнения основных показателей шлакощелочных композиций с аналогичными показателями традиционного цементного вяжущего использовали цемент Вольский марки М400 Д0 (без добавок).

Практическая часть исследовательской работы проводилась в лабораториях кафедры «Технология бетонов керамики и вяжущих» Пензенского университета архитектуры и строительства.

2.2. Методы исследований физико-механических свойств шлакощелочных бетонов и результаты экспериментов.

В своей работе мы использовали основные методики испытаний бетонов по ГОСТ.

Морозостойкость бетона исследовали на образцах размером 70,7x70,7x70,7мм по ускоренной методике в солевом 50% растворе NaCl при температуре -50⁰С. Под морозостойкостью бетона понимают его способность в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание. Результаты испытаний приведены в таблице 2 (Приложение 2)

Вывод: Выявлена более высокая стойкость шлакощелочного бетона с добавкой цеолитсодержащей глины к низкотемпературным воздействиям, по сравнению с бетоном на портландцементе. Это обусловлено, мы убеждены, прежде всего, оптимальной структурой шлакощелочного бетона. Продукты, образовавшиеся в процессе твердения шлакощелочного бетона, выступают в качестве демпферов, которые воспринимают внутренние напряжения от попеременного замораживания и оттаивания. Над этим вопросом нам предстоит еще работать и провести дополнительные исследования.

Исследование коррозионной стойкости шлакощелочных бетонов с добавкой цеолитсодержащей глины проводили при длительном выдерживании образцов в водопроводной воде, дизельном топливе, машинном масле и в хлориде натрия. Одновременно изготавливали аналогичные образцы бетона на основе портландцемента, которые также подвергались указанным испытаниям. Затем у образцов определяли прочность при сжатии и прочность при изгибе, используя пресс-установку (Приложение 3, фото5,6,7). Результаты испытаний приведены в таблице 3 (Приложение 2)

Выводы: Результаты исследований показали, что шлакощелочные бетоны с добавкой ЦГ имеют высокую коррозионную стойкость к агрессивному действию некоторых органических и неорганических веществ, по сравнению с бетонами на ПЦ. Попытка объяснить полученные результаты сводится к тому, что введение в состав шлакощелочного бетона тонкоизмельченной цеолитсодержащей глины может способствовать созданию фильтрационного барьера на пути проникновения жидкой агрессивной среды в бетон.

Следует отметить, что приведенная в работе технология изготовления образцов бетона осуществима в лабораторных условиях. Однако на сегодняшний день существуют современные запатентованные технологии холодного ресайклинга с использованием шлакощелочного вяжущего. Разработка технологии холодного ресайклинга принадлежит кандидату технических наук доценту, заведующему кафедрой МИАП ПГУАС Романенко И. И. (Приложение 3, фото8). Непосредственно в городе Пенза по данной технологии были построены дороги, ведущие в спортивный комплекс «Дизель-Арена», в Ленинский лесхоз и в поселок Грабово.

Технология холодного ресайклинга с использованием шлакощелочного вяжущего это:

1. самый быстрый способ строительства дорог;
2. сокращение затрат по сравнению с традиционными методами не менее чем 20%;
3. отсутствие загрязнений окружающей среды в процессе выполнения производственных операций.

2.3 Техничко-экономическая эффективность применения шлакощелочных бетонов с добавкой цеолитсодержащей глины в дорожном строительстве.

Промышленность строительных материалов является отраслью, для которой вопросы ресурсосбережения и энергосбережения особенно актуальны. Доля затрат на сырье и энергию в себестоимости годовой продукции составляет 30-40%. [8] В этих условиях привлечение в качестве сырья для производства строительных материалов промышленных отходов может принести значительный экономический эффект.

Отечественная и зарубежная практика использования отходов однозначно свидетельствует о высокой экономической эффективности производства строительных материалов с применением отходов. Как правило, сырьевые материалы из отходов в 2-3 раза дешевле, чем специально изготовленное сырье. Так стоимость 1м² изделия из шлакощелочного вяжущего толщиной 25см составляет 600 рублей, а изделия на основе цемента 800-900 рублей.

Расход топлива при использовании отдельных видов отходов снижается на 10-40%, а капиталовложения – на 30-35%. Экономический эффект, получаемый от утилизации отходов в производстве строительных материалов, складывается из многих факторов, специфических для того или иного вида отходов. [8]

Огромная эффективность применения металлургических и химических шлаков в производстве строительных материалов доказана многочисленными научными исследованиями и практическим опытом. [2,7,8,11]

Экономическая эффективность и техническая значимость технологии производства шлакощелочного бетона обусловлены рядом факторов:

1. возможностью увеличения срока службы за счет повышения стойкости к коррозионным воздействиям;
2. применяемое гидравлическое вяжущее, производится из побочных продуктов;
3. низкие производственные расходы;
4. низкие расходы по содержанию дороги;
5. основания дорог на новом вяжущем имеют повышенную несущую способность;
6. экономия обычных строительных материалов до 30-60%;
7. экономия на транспортировке материалов до 60%.

Заключение

В своей работе мы показали актуальность проблемы, связанной с повышением долговечности дорожных покрытий, необходимость и путь ее решения. Выдвинутая рабочая гипотеза, о том, что образцы шлакощелочного бетона с добавкой цеолитсодержащей глины более устойчивы к действию агрессивных сред, по сравнению с образцами бетона на портландцементе, экспериментально доказана и теоретически обоснована. Дальнейшие наши исследования направлены на повышение коррозионной стойкости шлакощелочных бетонов за счет введения в их состав отработанного минерального машинного масла. Известно, что в городе на автобазах и крупных предприятиях за год образуется до 20 т отходного масла, которое требует утилизации. При использовании его в качестве модификатора шлакощелочных бетонов, отход, на утилизацию которого требуются дополнительные средства, становится ценным компонентом.

Считаем, что цель проведенного нами исследования достигнута. Мы нацелены на проведение дальнейших исследований бетонов на основе отходов производства, так как считаем, что это актуальное и перспективное направление в современном строительстве.

Литература:

- [1] Большая энциклопедия нефти и газа. Шлакощелочные бетоны.//www.ngpedia.ru/id197226p1.html.
- [2] Глуховский В.Д., Яковец Н.М. Результаты испытаний конструкций из шлакощелочных бетонов // Цемент. – 1990. - №6. – с.23-24.
- [3] Глуховский В.Д. Щелочные вяжущие системы // Цемент. – 1990. - №6. – с. 3-4, 19-20.
- [4] Дорожные одежды – Стройтехника //www. stroy – technics.ru
- [5] Михайлина С.В. Повышение коррозионной стойкости шлакощелочных бетонов, модифицированных органоминеральными добавками: Автореферат дис... канд.техн.наук. – Пенза, 2006. – 7с.
- [6] Михайлина С.В., Романенко И.И., Фокин Г.А. Модификация шлакощелочных бетонов цеолитсодержащими породами //Актуальные проблемы современного строительства: сб. научн.работ. – Пенза: Изд-во Пензенского гос. ун-та арх. и стр-ва, 2005. – с.213-215.
- [7] Опыт применения и особенности эксплуатации конструкций из шлакощелочных бетонов – Строительный архив // www. stroi – archive.ru
- [8] Пахомов В.А. Применение отходов производства и местных материалов в сельском хозяйстве /Повышение эффективности и качества сельскохозяйственного строительства: Научн.-техн. конф. – Саратов, 1982, - с.20-21.
- [9] Попов К.Н., Шмурнов И.К. Физико-механические испытания строительных материалов. – М.: Высшая школа, 1989. – 239с.
- [10] Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе /НИИЖБ Госстроя СССР. – М., 1986. – с.25
- [11] Романенко И.И., Михайлина С.В., Фокин Г.А. Исследование коррозионной стойкости шлакощелочных бетонов в агрессивных средах //Проблемы строительного материаловедения. Первые Соломатовские чтения. Материалы Всеросс. науч.-технич. конф. – Саранск, 2002.-с.296

Приложение 1 (Рис.1 – 2)

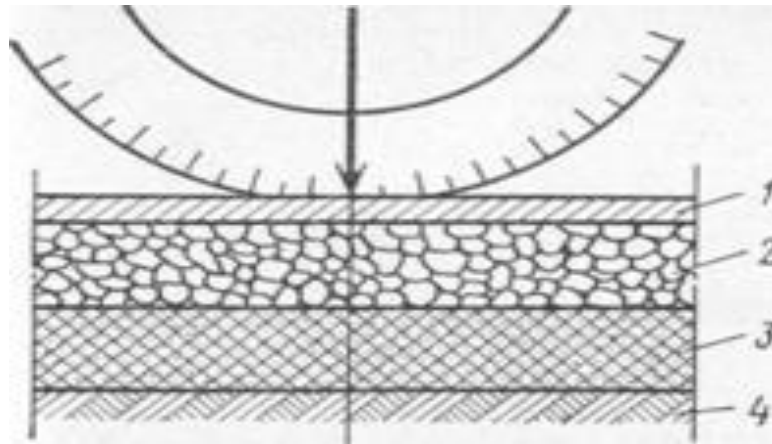


Рис.1 Конструктивные слои дорожной одежды:
1 — покрытие, 2 — основание, 3 — дополнительный слой основания,
4 — грунт земляного полотна.

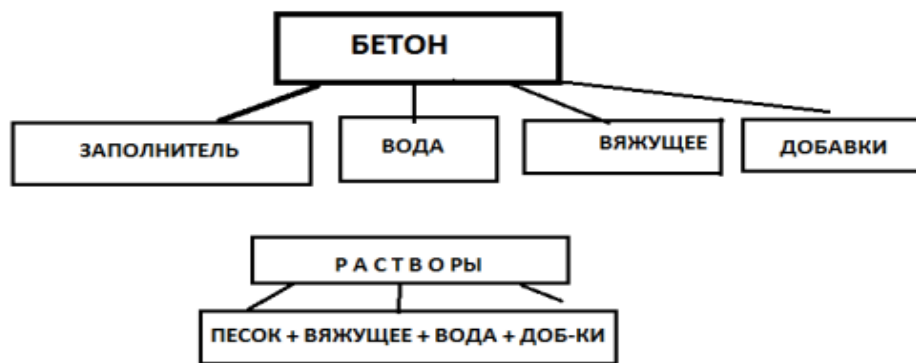


Рис.2 Основные компоненты бетонной смеси (бетона)

Приложение 2 (таблицы 1 – 3)

Таблица 1

Характеристики цеолитсодержащей глины Лягушовского месторождения Пензенской области

Карьерная влажность, %	Гранулометрический состав, %					
	Глинистые		Песчаные		Пылеватые	
20-24	11,9-15,8		30 - 35		49 - 59	
Массовая доля оксидов, %						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	прочие
65,5	9,54	3,24	7,72	0,76	0,06	1,78

Примечание к таблице 1. Массовая доля цеолита в глине Лягушовского месторождения составляет 28%.

Таблица 2

**Морозостойкость шлакощелочных бетонов с добавкой
цеолитсодержащей глины (ЦГ)**

Составы бетонных образцов	Прочность бетонных образцов на сжатие в возрасте 28 суток, МПа		Число циклов при -50 ⁰ С	Прочность на сжатие после испытаний, МПа	Марка по морозостойко сти
	до насыщения	в насыщен- ном состоянии			
ШЩБ с добавкой ЦГ	76,2	77,87	9	74,8	330
Бетон на ПЦ	61.6	58.44	6	56,0	150

Таблица 3

**Показатели прочности шлакощелочных бетонов (ШЩБ)
с добавкой цеолитсодержащей глины (ЦГ)**

Агрессивные среды и время хранения образцов в средах	Вода 28 сут/ 270 сут		Дизельное топливо 28 сут/ 270 сут		Машинное масло 28 сут/ 270 сут		10%-й раствор NaCl 90 сут/ 270 сут
	R _{сж} , МПа	R _{изг} , МПа	R _{сж} , МПа	R _{изг} , МПа	R _{сж} , МПа	R _{изг} , МПа	
ШЩБ с ЦГ	60,5/ 78,2	5,09/ 5,97	58,2/ 60,4	4,63/ 5,91	61,1/ 66,1	4,75/ 6,06	4,76/ 6,08
Бетон на ПЦ	40,1/ 52,2	3,28/ 5,84	39,9/ 48,9	3,11/ 4,51	40,7/ 45,6	3,12/ 4,4	5,58/ 5,04

Примечание к таблице 3. В состав шлакощелочного бетона вводили добавку цеолитсодержащей глины, в количестве 24% в пересчете на сухие вещества.

Приложение 3 (фото 1 - 8)



Фото 1. Приготовление бетонной смеси



Фото 2. Формование образцов бетона смеси

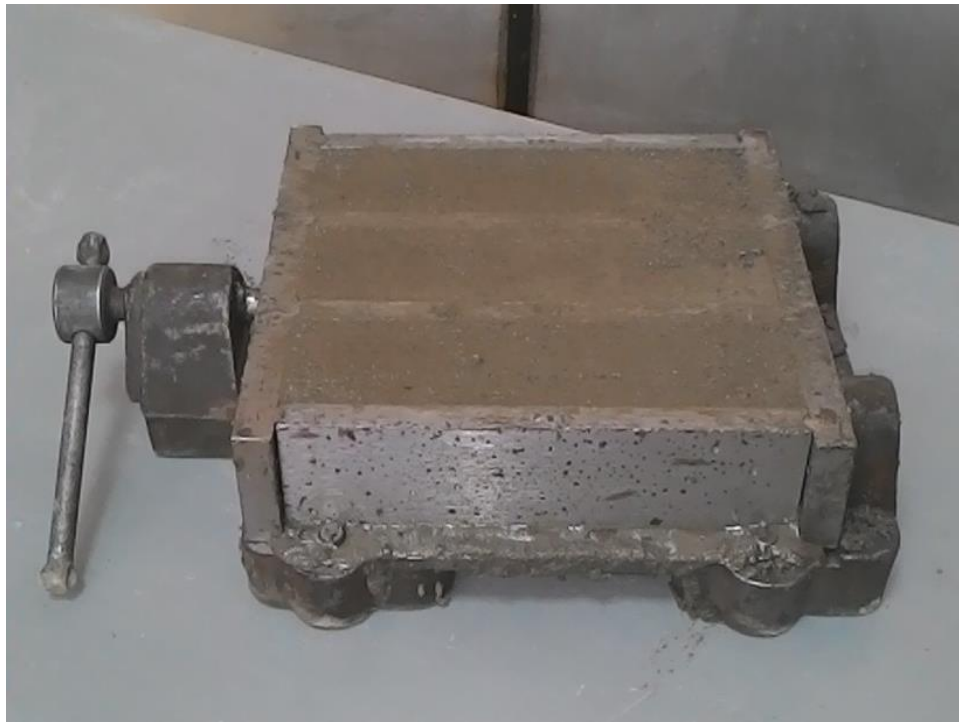


Фото 3. Форма для изготовления образцов бетона



Фото 4. Пропарочная камера



Фото 5. Определение прочности бетона при изгибе



Фото 6. Определение прочности бетона при сжатии на пресс-установке



Фото 7. Вид образца, находящегося под давлением прессы.



Фото 8. Консультации специалиста – к.т.н., доцента заведующего кафедрой МИАП ПГУАС Романенко И.И.

Рецензия

на научно-исследовательскую работу по теме:

«Коррозионностойкие строительные материалы на основе отходов производства»

Название номинации: «Техника и инженерные науки»

Автор работы: Малиновский Артем Александрович, учащийся 10 класса МБОУ СОШ №37 г. Пензы

Рецензируемый материал является актуальным, поскольку в нем автор предлагает решение проблемы недолговечности и низкой коррозионной стойкости цементных бетонов, путем использования новых строительных материалов на основе отходов металлургического производства. Автор подчеркивает, что использование коррозионностойких модифицированных шлакощелочных бетонов является чрезвычайно актуальным направлением в дорожном строительстве.

Цель работы сформулирована и обоснована. Четко поставлены задачи и показана практическая значимость работы, так как изучены коррозионностойкие, энергоемкие, энергосберегающие материалы на основе отходов производств и комплекса добавок.

В теоретической части работы автор проводит анализ научных сведений по данной проблеме, что свидетельствует о глубине интереса автора к данной проблеме, его эрудиции, серьезном подходе к рассматриваемой теме.

Практическая часть содержит основные этапы проведения исследования. Обобщив полученные результаты, автор подтверждает актуальность выдвинутой проблемы.

Логичность, убедительное изложение материала с использованием данных экспериментальных исследований, позволяет признать аргументированность исследования.

Автор достаточно полно описывает методики, используемые в практической части исследований. Систематизируя и анализируя результаты экспериментов, показывает новизну работы, которая определяется решением проблемы недолговечности и низкой коррозионной стойкости цементных бетонов, путем использования новых строительных материалов на основе отходов металлургического производства.

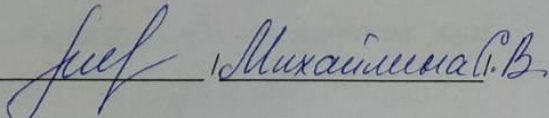
Работа написана грамотным научным языком, оформлена в соответствии требованиями, предъявляемыми к исследовательской работе.

В заключение работы автор показывает, что представленный материал, ввиду его актуальности в современных условиях, может быть использован школьниками для повышения образовательного уровня, а также и в профориентационной деятельности.

Работа обучающегося (автора) Малиновского А.А. соответствует требованиям, предъявляемым к работам такого рода, и заслуживает высокой оценки.

Рецензент: Михайлина С.В., к.т.н., учитель физики МБОУ СОШ №37 г. Пензы.

«11» декабря 2021г.

 Михайлина С.В.