

На правах рукописи

КУЛЬШАРОВ БЕРИКБАЙ БАЛТАБАЕВИЧ

**ШЛАКОЩЕЛОЧНОЙ ЛЕГКИЙ БЕТОН С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ
НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ КУКУРУЗЫ**

2.1.5. Строительные материалы и изделия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново 2023

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
политехнический университет»

- Научный консультант:** Акулова Марина Владимировна,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН
- Официальные оппоненты:** Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»,
заведующий кафедрой «Управление качеством
и технологии строительного производства»
- Сусоева Ирина Вячеславовна,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Костромской государственный университет»,
профессор кафедры «Лесозаготовительных и
древоперерабатывающих производств»
- Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», г. Волгоград

Защита состоится 22 декабря 2023 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.300.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, Шереметевский проспект., д. 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (www.ivgpi.com).

Автореферат разослан «___» ноября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета, к.т.н.



Касьяненко Наталья Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. С развитием национального богатства растет потребность в частном жилищном строительстве, вместе с ней с каждым днем растет потребность в дешевых и эффективных строительных материалах, и изделиях. Поэтому разработка теплоизоляционных и теплоудерживающих строительных материалов на основе различных промышленных отходов и растительного сырья является актуальной задачей для экономики России и Республики Казахстан.

Применение и использование теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных легких бетонов на основе вторичных ресурсов в производстве строительных материалов и строительной отрасли позволяет снизить массу на элементы конструкции здания на 30-35 %, расход портландцемента на 15-20 %, трудозатраты на 20 %, улучшить теплотехнические и эксплуатационные свойства строительных материалов, их долговечность и коррозионную стойкость, а также устойчивость к динамическим и сейсмическим воздействиям и резким изменениям температуры климата.

Легкий бетон из растительных отходов является наиболее распространенным видом бетона в регионах с жарким и сухим континентальным климатом. Он обладает высокими теплоизоляционными свойствами, экологически чист, легок и может содержать сельскохозяйственные отходы, которые в изобилии присутствуют в степных регионах России и Казахстана. В России также имеются значительные запасы сырья в виде большого количества отходов металлургической, нефтехимической, горнодобывающей, топливной и энергетической промышленности. Благодаря своим физико-химическим и строительно-техническим свойствам такой легкий бетон является одним из наиболее подходящих стеновых материалов для малоэтажных зданий. Однако возрастающие требования к качеству легкого бетона с использованием отходов растительности поставили задачу дальнейшего улучшения его строительных, технико-технологических показателей и характеристик.

Использование промышленных отходов в качестве шлакощелочного вяжущего, содержащего высокорреакционные структурные элементы, способствует повышению физико-механических и конструктивно-технических свойств легких бетонных композитов на основе целлюлозоорганических наполнителей.

По результатам исследований предшественников показано, что добавки в составе шлакощелочного бетонного раствора влияют на его долговечность. Однако причины изменения структуры и свойств легких бетонных композитов с органическими заполнителями при использовании добавок не выяснены, а рациональный состав, способы приготовления и производства легкого бетона со щелочным шлаковым раствором на основе кукурузных отходов неизвестны. Установлено, что из кукурузных отходов можно производить рациональные строительные материалы, поэтому для их производства и использования необходимы технологические разработки.

Работа выполнена в соответствии с Законом Республики Казахстан "О бюджете Республики Казахстан на 2015-2017 годы" № 259-V ЗРК от 28 ноября 2014 года, Законом Республики Казахстан "О науке" № 407-IV ЗРК от 18 февраля 2011 года, Постановлением Правительства Республики Казахстан от 11 декабря 2014 года.

Реализуется в соответствии с Постановлением. Постановление № 1300 "О реализации Закона Республики Казахстан "О бюджете Республики Казахстан на 2015-2017 годы", Постановление Правительства Республики Казахстан № 575 "Об утверждении Положения об основополагающем, грантовом, программном и целевом фонде научно-технической деятельности", Постановление Государственного научного совета от 25 мая 2011 года "О рациональном использовании природных ресурсов, переработке сырья и продукции" о грантовой помощи (протокол № 2 от 23 января 2015 года); Приказ Председателя Научного совета № 8 от 2 февраля 2015 года.

Степень разработанности темы исследования. В данной работе приводится обзор научно-технической литературы по технологии производства легких бетонов с использованием органических заполнителей, режимам механохимической активации их компонентов, видам минералов и пластифицирующим добавкам на основе шлаковой щелочи и промышленных отходов, используемых в составе легкого бетона.

Теоретической основой диссертации является проблема формирования структуры, методы получения и оптимизации состава легких бетонных материалов на основе сельскохозяйственных отходов, системы дисперсионных вяжущих и методы модификации бетона с помощью различных минеральных пластификаторов, а также изучение смесей и их свойств. Большое влияние на развитие науки и технологии получения легких бетонов на основе сельскохозяйственных отходов оказали основополагающие труды Б.Р. Исакулова, П.И. Боженова, Ю.А. Соколовой, А.В. Волженского, М.Д. Джумабаева, В.Д. Глуховского, А.А. Тулаганова, С.В. Федосова, Ю.П. Горлова, К.Э. Горяйнова, К.А. Бисенова, Л.А. Малининой, Г.П. Чеблыкина, Е.Н. Малинского, А.Т. Баранова, Г.П. Сахарова, В.И. Логаниной, К.Д. Некрасова, М.Ф. Чебукова, Г.В. Румына, Н.Я. Спивака, П.П. Будникова, В.Н. Сокова, Ю.М. Баженова, А.М. Сергеева, М.В. Балахнина, Н.А. Попова, А.А. Акчабаева, Г.И. Горчакова, Г.А. Батырбаева, А.Е. Галибина, И.К. Касимова, Б.Н. Виноградов, А.П. Меркина, И.А. Рыбьева, Ю.С. Бурова, Р.Б. Сироткина, В.М. Хрулева, В.И. Савина, А.С. Щербакова, И.Х. Наназашвили и др. Благодаря этим исследованиям промышленные и сельскохозяйственные отходы растительного происхождения широко используются в производстве легких бетонов.

Перед строительной отраслью открываются большие возможности при использовании бетона из промышленных отходов неорганического сырья и органических отходов сельского хозяйства. Это можно заметить, анализируя мировой опыт исследований. Такие бетоны обладают многими положительными физико-механическими и конструктивными свойствами.

В данной работе рассматривается нерешенная проблема повышения качества легких бетонов на основе целлюлозных заполнителей, полученных из различных промышленных и сельскохозяйственных отходов, с использованием теоретических и методических разработок предшественников.

Цель диссертационного исследования: изучение влияния физико-химического состава кукурузных отходов на шлакощелочные вяжущие и разработка составов легких бетонов для использования их в качестве стенового материала несущих и ограждающих конструкций малоэтажных зданий.

Задачи диссертационного исследования:

1. Аналитический обзор теоретических исследований о физико-химическом

составе кукурузных отходов и возможности их использования для производства легких бетонов.

2. Исследование влияния водорастворимых веществ, содержащихся в кукурузных отходах, на свойства камня на основе шлакощелочного вяжущего.

3. Подбор оптимального гранулометрического состава, вида и формы отходов органического заполнителя и разработка рецептуры шлакощелочного легкого бетона на основе измельченных кукурузных отходов.

4. Подбор оборудования и разработка технологической схемы производства шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов.

5. Анализ результатов технико-экономической эффективности исследований.

Научная новизна исследования. Научная новизна данной работы состоит в следующем:

1. На основе теоретических исследований о физико-химическом составе кукурузных отходов определена возможность их использования для производства легких бетонов; выявлены закономерность применения шлакощелочных вяжущих на основе фосфорного шлака, содово-сульфатной смеси портландцемента и высококальциевых добавок золы для улучшения адгезионной способности к кукурузным отходам в легком бетоне.

2. Установлены закономерности влияния водорастворимых веществ, содержащихся в кукурузных отходах, на свойства камня шлакощелочного вяжущего и легкого бетона; установлена зависимость, описывающая кинетику твердения шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов в процессе набора прочности;

3. Установлена закономерность влияния неорганических и органических компонентов на формирование микроструктуры и прочностные свойства шлакощелочного вяжущего легкого бетона при производстве легкого бетона для изоляционных и конструктивных применений.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Представлено научно обоснованное техническое решение для получения эффективного шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов, который может быть использован в качестве стенового материала в гражданском строительстве.

Теоретическая значимость данного исследования заключается в применении фундаментальных научных исследований в области строительного проектирования модифицированного композитного легкого бетона на основе шлакощелочных вяжущих и кукурузных отходов.

Данная технология позволяет использовать композиционные активные вяжущие при производстве легких бетонов на основе щелочного шлака из кукурузных отходов, улучшая твердение составов легких бетонов и повышая их прочность на 50–70%. Низкий расход цемента позволяет использовать систему бережливого производства. Предложена классификация сырья и материалов для производства шлакощелочного легкого бетона из кукурузных отходов.

Разработаны гранулометрические составы, виды и формы отходов при измельчении для получения шлакощелочных легких бетонов на основе кукурузных

отходов; разработаны составы и рецептуры шлакощелочного легкого бетона на основе измельченных кукурузных отходов с помощью регрессионного анализа;

В результате разработки новой схемы изменения механизма формирования прочности шлакощелочного легкого бетона и оптимизации его состава были получены легкобетонные композиты с прочностью при сжатии 2,9–4,5 МПа, прочностью сцепления заполнителя с минеральной матрицей 45,7–59,7 МПа и водопоглощением по массе 5,9–9,2%.

На Актюбинском предприятии создана опытная партия теплового и конструкционного шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов. От внедрения в производство экономический эффект составил 679 000 руб.

Технологическая схема производства шлакощелочных легких бетонов на основе кукурузных отходов вошла в проект «Измельченные кукурузные початки для легкого бетона» и СНиП «Указания по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита», утвержденные Государственной комиссией Республики Казахстан по строительству (внедряющие акты № 1 от 10.10.2022, № 2 от 18.08.2022).

Методология и методы диссертационного исследования. Общеметодологической основой данного исследования является направление современной теории и практики по приготовлению и разработке легких бетонов щелочного типа с использованием кукурузных отходов и шлакощелочного композиционного вяжущего. Композиты из легкого бетона производятся с применением современного оборудования для рентгеновской дифракции, термической дифракции, микроскопического анализа и испытаний. Стандартные средства и методы измерений использовались в научных исследованиях для определения физико-механических свойств материалов.

Положения, выносимые на защиту:

- методические и научные основы получения эффективных шлакощелочных легких бетонов на основе кукурузных отходов;
- обоснование получения шлакощелочных вяжущих на основе шлаков, портландцемента, сульфатно-содовых смесей и высококальциевой золы-уноса, повышенной адгезии к кукурузным отходам в составе легких бетонов;
- закономерности влияния водорастворимых веществ, содержащихся в кукурузных отходах, на свойства камня шлакощелочного вяжущего и легкого бетона;
- принципы оптимизации гранулометрического состава, виды и формы отходов при измельчении для получения шлакощелочных легких бетонов на основе кукурузных отходов;
- разработанные составы и рецептуры шлакощелочного легкого бетона на основе измельченных кукурузных отходов методом математического планирования;
- зависимости, характеризующие скорость твердения шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов;
- закономерность влияния органических и неорганических компонентов щелочного легкого шлакобетона на микроструктуру и прочностные свойства теплоизоляционного и конструкционного легкого бетона.

Достоверность результатов и выводов диссертационного исследования подтверждается их сходимостью и согласованностью с известными закономерностями

многочисленных экспериментальных данных, полученных с использованием многих стандартных и информативных методов исследования. Выводы и рекомендации исследования активно апробированы и внедрены в практику строительства.

Внедрение результатов исследований. Результаты исследования нашли практическое применение на предприятиях по производству строительных материалов ТОО "А.Е.Н.Д.", ТОО "Актюбинский региональный индустриальный технопарк" и ТОО "Стройдеталь" (Казахстан). Теоретические положения данной работы и результаты экспериментальных исследований были использованы в учебном процессе при изучении дисциплин по направлению «Строительство» для бакалавриата и магистратуры в Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова (АРГУ) г. Актобе.

Апробация результатов. Основное содержание и результаты диссертации автора представлены и обсуждены на следующих международных научно-практических конференциях: II международной научно-практической конференции Казахско-русского международного университета (Актобе, 2015); «Актуальные проблемы архитектуры и строительства» (Благовещенск, 2014); XVIII международном научно-практическом форуме «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX-2015) (Иваново, 2015); международной научно-практической конференции (Белгород, 2018), международной научно-практической конференции «Инновации в производстве и подготовке технических кадров» АРУ им. К.Жубанова (Актобе, 2020), II международной научно-практической конференции Каракалпакского государственного университета (Нукус, 2021).

Публикации. По теме диссертации опубликована 21 научная статья общим объемом 114 страниц, авторский вклад – 35 стр., в том числе 2 статьи в рецензируемых научных журналах ВАК РФ, 3 - в изданиях в списках Scopus и Web of Science, публикаций в научных журналах и материалах конференций – 9, 1 монография.

Объем и структура диссертации. Данное исследование состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Текст содержит 151 страницу, 33 рисунка и 33 таблицы. Список литературы содержит 173 наименования.

Диссертация выполнена на кафедре «Архитектура и строительные материалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» по направлению 2.1.5 «Строительные материалы и изделия»:

п.1 Разработка и развитие теоретических и методологических основ получения строительных материалов неорганической и органической природы с заданным комплексом эксплуатационных свойств, в том числе специальных и экологически чистых.

п.9 Разработка составов и совершенствование технологий изготовления эффективных строительных материалов и изделий с использованием местного сырья и отходов промышленности, в том числе повторного использования материалов от разборки зданий и сооружений.

Автор выражает искреннюю благодарность доктору технических наук Б.Р. Исакулову за помощь и научные консультации при написании данной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, цели и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

Первая глава посвящена аналитическому обзору теоретических исследований в области производства легких бетонов с использованием различных отходов целлюлозно-органических заполнителей и технологий их производства.

Во второй главе показаны характеристики исходного сырья, материалов, методы и методики исследования шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов. В экспериментальных исследованиях в качестве целлюлозного органического заполнителя использовались растительные отходы сельского хозяйства – измельченные початки кукурузы. Размеры измельченной початки кукурузы представлены в рисунках 1 и 2. Влажностные характеристики целлюлозного органического материала в виде кукурузных отходов на момент проведения экспериментальных работ составляли 3–5%.

В третьей главе рассмотрены структурообразование и технологические особенности изготовления шлакощелочных легких бетонов на основе кукурузных отходов. Сходство в строении и химическом составе стеблей кукурузы и древесины в

Рисунок 1 – Вид измельченных отходов кукурузы, используемых в исследованиях

Рисунок 2 – Размеры по длине и ширине измельченных отходов кукурузы, используемых в исследованиях

стру

той структурой. Это позволяет есины и семян кукурузы – их ов. Кукурузные початки на 45%



Рисунок 1 - Размеры по длине измельченных отходов кукурузы используемых в исследованиях

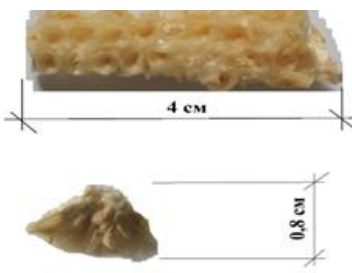


Рисунок 2 - Размеры по длине и ширине измельченных отходов кукурузы используемых в исследованиях

В

что содержание целлюлозы в кукурузных отходах несколько ниже, чем в обычной древесине, но общее содержание углеводов сопоставимо из-за более высокого содержания гемицеллюлозы, в основном пентозана, и более низкого содержания лигнина в кукурузных отходах.

В результате экстракции в раствор переходят крахмал, пектин, неорганические соли, некоторые полисахариды, циклические спирты, пигменты, дубильные вещества и низкомолекулярные фракции гемицеллюлозы и целлюлозы.

Исследования показали, что кукурузные отходы содержат вещества, которые легко гидролизуются и легко экстрагируются - «цементные яды». Это губительно для цементосодержащих вяжущих композиций и замедляет набор прочности исследуемых материалов. Исследования также подтвердили, что прочность легкобетонных композитов может быть повышена с 12% до 17% за счет удаления гидролизуемых веществ из состава органических заполнителей.

Таблица 1. Химический состав анатомических частей кукурузных початков

Составные части отхода кукурузного сырья	Содержание компонентов сухого отхода кукурузы, %				
	общая зола/ нерастворимая зола	целлюлоза	Гемиллю- лоза	лигнин	Экстраги- рованные вещества
Древесное кольцо	1,68/0,39	34,35	39,41	16,73	7,83
Грубые части	2,12/ 1,58	36,05	34,18	16,25	11,4
Седцевина	1,56/0,16	43,27	39,22	14,69	1,26
Общая масса, г	5,36/2,13	113,67	112,81	47,67	20,49



Рисунок 3 – Технология получения обработанных щелочным раствором кукурузных отходов

Технологическая схема получения органического заполнителя, обработанного щелочным раствором, приведена в рисунке 3.

Физико-механические свойства легкого бетона на основе кукурузных отходов с добавлением щелочного раствора превышают значения аналогичных параметров легкого бетона без добавок соответствующего возраста. Водопотребность раствора щелочного вяжущего снижается, а скорость процессов гидратации значительно ускоряется, что повышает прочность состава легкого бетона. Показано, что легкие бетоны на основе кукурузных отходов и шлакощелочного вяжущего с комплексной добавкой ССФШЗУП (содосульфатная смесь, фосфорный шлак, зола-унос и портландцементный клинкер) имеют повышенную прочность. Таким образом, полученный предел прочности при сжатии

составила 2,9 МПа и 2,0 МПа, соответственно, через 56 дней после твердения (рисунок 4). Степень гидратации минералов в составе вяжущего с добавкой ССФШЗУП в шлакощелочном легком бетоне высокая.

Экспериментальные данные по скорости увеличения прочности щелочного легкого шлакобетона на основе кукурузных отходов показывают, что при введении в состав бетона композиционных добавок ССФШЗУП (состоящих из содосульфатной смеси, фосфорного шлака, золы-уноса и портландцементного клинкера) его прочность повышается в 10-15 раз и достигает от 2,7 до 3,0 МПа (рисунок 5).

1 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов и портландцементного клинкера с добавками золы-уноса;

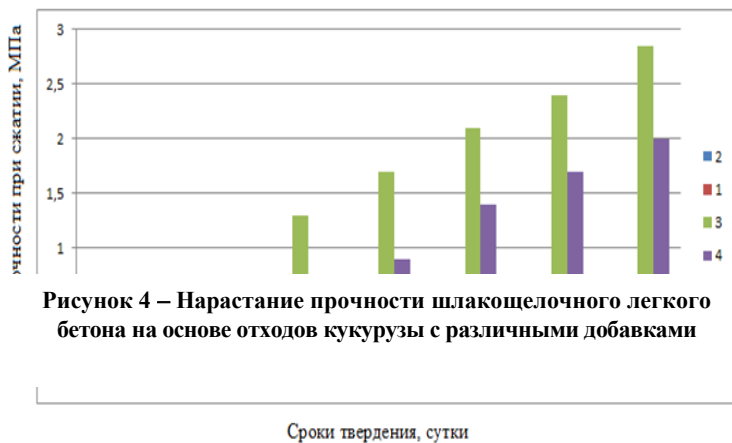


Рисунок 4 – Нарастание прочности шлакощелочного легкого бетона на основе отходов кукурузы с различными добавками

Рисунок 4. - Нарастание прочности шлакощелочного легкого бетона на основе отходов кукурузы и с различными добавками

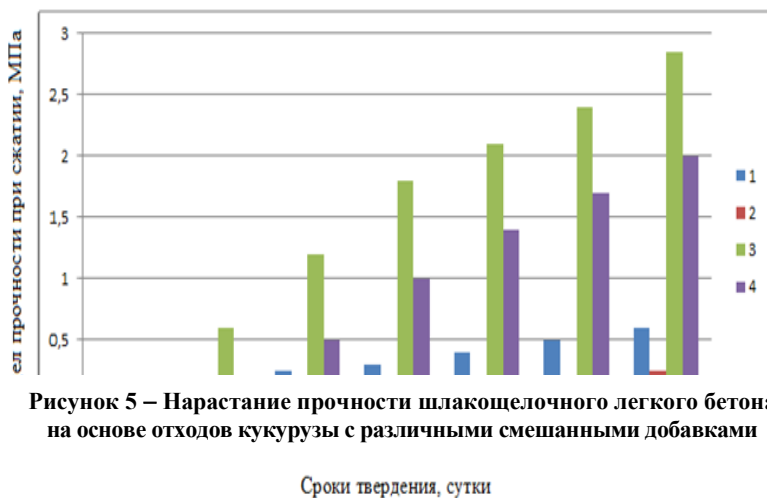


Рисунок 5 – Нарастание прочности шлакощелочного легкого бетона на основе отходов кукурузы с различными смешанными добавками

Рисунок 5. - Нарастание прочности шлакощелочного легкого бетона на основе отходов кукурузы и с различными смешанными добавками

смешанными добавками, состоящими из содосульфатной смеси, фосфорного шлака, золы-уноса и 7 % портландцементного клинкера от массы шлака, показали, что рефлексы, наблюдаемые на рентгенограмме с (4,82; 2,60; 1,918; 1,681; 1,443 Å⁰), указывают на наличие низкоосновного гидросиликата кальция тоберморитовой группы (рисунок 6).

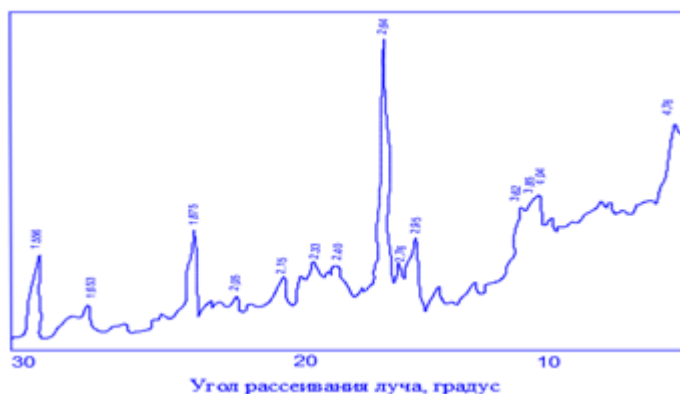


Рисунок 6 – Рентгенограмма бетона на основе кукурузных отходов со смешанными добавками (ССФШЗУП), состоящими из содосульфатной смеси, фосфорного шлака, золы-уноса и 7% портландцементного клинкера от массы шлака

2 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками золы-уноса;

3 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов шлакощелочных вяжущих с добавками ССФШЗУП;

4 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками гипса

1 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов и портландцемента с добавками золы-уноса и хлорида кальция;

2 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками жидкого стекла и хлорида кальция;

3 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками ССФШЗУП;

4 – легкие бетоны на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками гипса и хлорида кальция

Данные рентгенофазового анализа легкобетонных образцов на основе кукурузных отходов со

Это свидетельствует о том, что в образце 4 (рисунок 5) значительно больше гидроксида кальция, чем в образцах 1-2, и процесс гидратации в образце 4 протекает значительно интенсивнее, чем в образцах 1-2.

В шлакощелочных легких бетонах на основе кукурузных отходов без добавок замедляется процесс гидратации вяжущего состава.

На рисунке 7 показана рентгенограмма образца легкого бетона на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками 7 % портландцементного клинкера и золы-уноса.

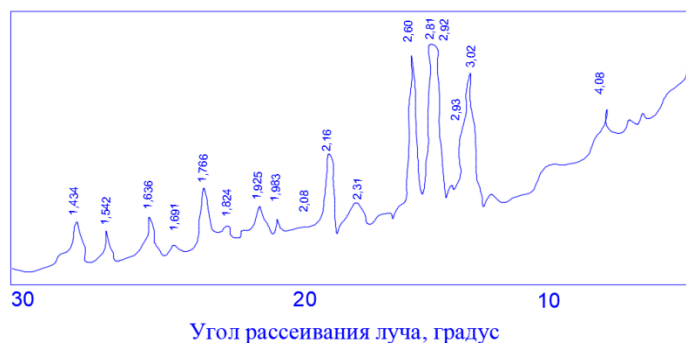


Рисунок 7 – Рентгенограмма бетона на основе кукурузных отходов шлакощелочных вяжущих композиций с добавками 7 % портландцементного клинкера и золы-уноса

Полученные экспериментальные данные физико-механических характеристик шлакощелочных легких бетонов с различными добавками приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2. Физико-механические характеристики шлакощелочных легких бетонов с различными добавками

№ п/п	Наименование вяжущего	Предел прочности при сжатии, МПа, сут.					
		1	3	7	14	28	56
1	Вяжущее на ССФШЗУП	15,2	22,1	22,5	24,9	26,1	29,7
2	Портландцемент	14,1	21,0	22,0	22,7	24,0	28,0
3	Шлакощелочные вяжущие с добавками золы-уноса и жидкого стекла	8,3	14,2	15,0	21,0	22,3	24,0
4	Шлакощелочные вяжущие с добавками 3% гипса и золы-уноса	8,2	14,1	14,9	20,7	22,1	23,8
5	Шлакощелочные вяжущие без добавок	5,7	12,1	13,3	17,8	19,1	20,2

Примечание. ССФШЗУП – вяжущее, состоящее из содосульфатной смеси, фосфорного шлака, золы-уноса и портландцементного клинкера.

Установлено, что при водной экстракции в течение двух суток частично вымываются водозэкстрагированные вещества из кукурузных отходов, а оставшиеся на их поверхности вещества усиливали химическую активность растительных целлюлозных заполнителей как нейтрализаторы.

Влияние размера частиц органического заполнителя из кукурузных отходов на физические и физико-механические характеристики легкого бетона с использованием отходов растительности показано в таблице 4. Как видно из таблицы, плотность легкого бетона уменьшается, а предел прочности при сжатии возрастает с увеличением размера частиц органического заполнителя из кукурузных отходов. Поэтому в дальнейших исследованиях использовали кукурузные частицы с размерами до 40 мм.

Таблица 3. Прочностные характеристики шлакощелочных легких бетонов на основе кукурузных отходов (двухсуточная вытяжка кукурузных отходов) с добавками

№ п/п	Составы легких бетонов	Предел прочности при сжатии, МПа, сут.					
		1	3	7	14	28	56
1	Легкий бетон на основе кукурузных отходов с ССФШЗУП	1,51	2,11	2,29	2,59	2,97	3,71
2	Легкий бетон на основе кукурузных отходов с портландцементом	1,42	2,11	2,20	2,29	2,41	2,82
3	Легкий бетон на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками золы-уноса	1,31	1,92	2,31	2,40	2,73	2,87
4	Легкий бетон на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих с добавками 3% гипса и золы-уноса	1,43	15,7	1,99	2,39	2,71	2,88
5	Легкий бетон на основе кукурузных отходов и шлакощелочных вяжущих без добавок	1,22	1,31	1,73	1,98	2,11	2,52

Примечание. ССФШЗУП – вяжущее, состоящее из содосульфатной смеси, фосфорного шлака, золы-уноса и портландцементного клинкера.

Таблица 4. Влияние фракционного состава кукурузных частиц на физические и физико-механические свойства легких бетонов

№ п/п	Размеры кукурузных частиц, мм	Физико-механические свойства изделий из легкого бетона на основе растительных отходов			
		Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Марка бетона	Класс бетона
1	10-15	700	3,11	М 30	В 2,5
2	15-20	680	2,83	М 25	В 2
3	25-30	650	2,85	М 25	В 2,5
4	35-40	620	3,71	М 35	В 3,0

Экспериментально установлено, что предварительная обработка органического растительного сырья щелочным раствором для удаления гидролизуемых и водорастворимых веществ повышает качество легких бетонов на основе кукурузных отходов. Одним из основополагающих факторов, влияющих на физические свойства измельченных кукурузных отходов, является влажность и содержание в составе частицы органического заполнителя древесного кольца.

Проведены работы по определению составов смесей легких бетонов в зависимости от фракционного размера органических заполнителей на основе кукурузных отходов и изучению их физико-механических свойств. В таблицах 5 и 6 приведены предлагаемые составы смесей легких бетонов в зависимости от

фракционного размера органических заполнителей на основе кукурузных отходов и их физико-механические свойства.

Таблица 5. Составы легкогобетонной смеси сразличными фракциями органического заполнителя на основе кукурузных отходов

Наименование составляющих компонентов легкого бетона на основе кукурузных отходов	Составы смесей легких бетонов, % по массе, с размерами фракции кукурузного заполнителя, мм						
	10	15	20	25	30	35	40
Измельченные отходы кукурузы, %	33,5	33	32,5	30	31	31,3	31,5
Фосфорный шлак, %	16,5	17	17,5	20	19	18,7	18,5
Содосульфатная смесь, %	10,5	11	11,5	10	9,5	9,5	8,5
Жидкое стекло, %	9,5	9	8,5	10	10,5	10,5	11,5
Портландцементный клинкер, %	10,5	11	11,5	10	11,5	11,2	9,7
Зола-унос, %	19,5	19	18,5	20	18,5	18,8	18,5

Таблица 6. Физико-механические свойства легкого бетона на основе кукурузных отходов

№ п/п	Свойства	Свойства легкого бетона с заполнителем на основе кукурузных отходов размерами фракций, мм						
		10	15	20	25	30	35	40
1	Предел прочности при сжатии, МПа, после твердения через: – 7 суток – 28 суток	1,72	1,83	1,87	1,91	1,97	2,27	2,51
		1,57	1,94	2,56	2,87	3,19	3,41	3,64
2	Плотность, кг/м ³	630	630	620	610	610	600	590
3	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ⁰ С)	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07
4	Морозостойкость, М _{мрз} , не менее	25	25	25	25	25	25	25

По сравнению с органическими заполнителями, полученными с применением сит с фракциями 10, 15, 20 и 25 мм, дробленые кукурузные отходы, полученные с применением сит с фракциями 30, 35 и 40 мм, – легкие с высокими физико-механическими свойствами. Полученные результаты также позволяют повысить технологичность и сэкономить время для достижения однородности легкогобетонной смеси на основе кукурузных отходов.

В последующих исследованиях в качестве органического заполнителя использовались измельченные остатки кукурузы диаметром 35 и 40 мм.

В четвертой главе уравнения регрессии использованы для моделирования состава шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузного заполнителя, изучения

его физических свойств и разработки технологии производства. В соответствии с общим методом моделирования искусственных строительных конгломератов для проектирования состава легких бетонов на основе кукурузных отходов определялись основные показатели их строительно-эксплуатационных характеристик при работе в несущих и ограждающих конструкциях зданий, такие, как плотность, прочность, морозостойкость и теплопроводность (ГОСТ 19222–2019).

В результате расчетов получено уравнение регрессии, которое с учетом значимых коэффициентов имеет вид

$$\hat{y} = 7,016 - 0,277 x_2 + 0,208 x_1 x_3 + 0,217 x_2 x_3.$$

По уравнениям для каждого отклика построены поверхности, являющиеся графическим представлением зависимости данного отклика от двух факторов при фиксированном значении третьего фактора. В результате расчетов получено уравнение регрессии:

$$Y = 2,57 + 0,12625x_1 - 0,1188x_2 - 0,505x_3 + 0,175x_1x_1 - 0,365x_2x_2 + 0,2625x_1x_3 + 0,2675x_2x_3.$$

По полученному уравнению регрессии с помощью методов математического моделирования построены поверхности при фиксированных значениях одного из факторов (рисунок 8).

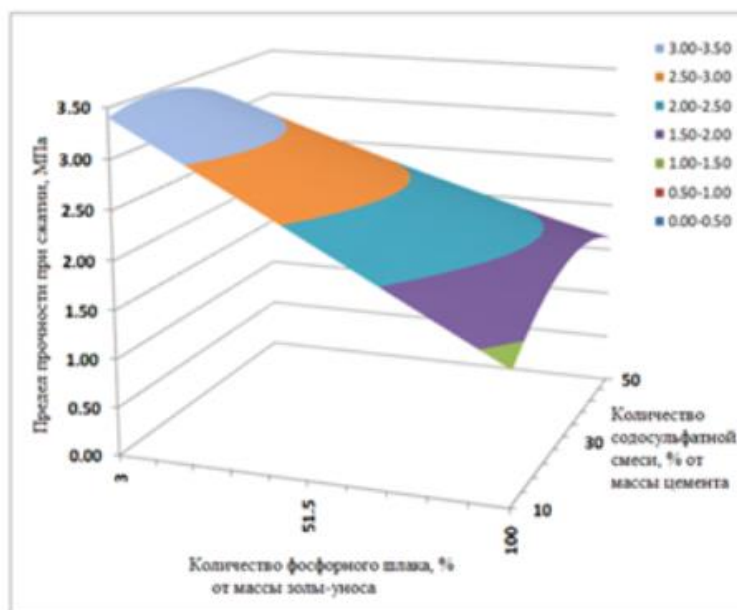


Рис. 8. Зависимость предела прочности при сжатии от количества фосфорного шлака и количества содосульфатной смеси при $R/3=0,35$

Для исследования изменения прочностных характеристик легкого бетона на основе кукурузных отходов использовали образцы-кубы с плотностью от 500 до 650 кг/м³. Образцы хранились в естественно-влажностных условиях.

Составы и свойства шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов приведены в таблице 7.

Из таблицы видно, что предел прочности при сжатии шлакощелочного бетона возрастает с уменьшением $F/3$ отношения. Прочность наибольшая при наименьшем

содержании содосульфатной смеси (10 %) и фосфорного шлака (30 %) в составе шлакощелочного легкого бетона.

Таблица 7. Составы и свойства исследуемых шлакощелочного бетона с использованием измельченных кукурузных отходов

№ составов	Расход материалов на 1м ³ арболита					Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
	Измельченные початки кукурузы, кг	Компоненты					
		Зола, кг	Фосфорный шлак, кг	Цемент, кг	Содо-сульфатная смесь, л		
1	140	200	250	100	125	650	3,9
2	145	300	200	100	125	630	3,5
3	150	250	250	100	125	650	3,7
4	160	250	250	100	100	600	3,5
5	170	300	-	90	100	580	3,1
6	175	200	150	80	100	560	2,9
7	180	200	250	70	150	550	2,7

Анализ показал, что требуемая прочность шлакощелочного легкого бетона на основе шлакощелочных композиционных вяжущих и кукурузного заполнителя плотностью 620–630 кг/м³ может быть получена путем регулирования переменных величин в широком диапазоне. Это позволяет подбирать оптимальный состав легкого бетона на основе кукурузных отходов по техническим, технико-экономическим и другим причинам. Основные характеристики шлакощелочного легкого бетона приведены в таблице 8.

Таблица 8. Основные характеристики шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов

Вид свойств	Конструкционные легкие бетоны на основе кукурузных отходов
Плотность, кг/м ³	600–650
Предел прочности при сжатии, МПа	2,1–5,1
Класс прочности, В	1,5– 3,5
Коэффициент теплопроводности, Вт/(мК)	0,10–0,18
Модуль упругости, МПа	440–900
Морозостойкость, циклы	25–50
Биостойкость	Биостоек
Огнестойкость	Огнестоек
Обрабатываемость после затвердевания	Обрабатывается

В пятой главе приведены результаты подбора оборудования, разработана технологическая схема производства шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов и дан анализ технико-экономической эффективности.

На предприятиях по производству строительных материалов ТОО "А.Е.Н.Д.", ТОО "Актюбинский региональный индустриальный технопарк" и ТОО "Стройдеталь" (Казахстан) была выполнена партия блоков размером 400x200x200 мм из легкого бетона на основе шлакощелочного вяжущего и кукурузных отходов. Производство опытных партий шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов показало высокую технико-экономическую эффективность благодаря высокой адгезии заполнителя к шлакощелочному вяжущему и низкой стоимости.

Исходя из текущей стоимости 1 м³ готовой продукции определялась эффективность производства шлакового щелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов. Таким образом, на основе упрощенного расчета ожидаемый экономический эффект при внедрении технологии легкого бетона, основанной только на отходах кукурузы, может составить около 3 700 550 тенге (679 000 рублей) в год:

$$Э_{и} = 3\,648\,503 + 52\,047 = 3\,700\,550 \text{ тенге (679\,000 рублей) в год.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ использования бетона и вяжущих показывает, что наиболее эффективным в резко континентальных климатических регионах России и Казахстана является легкий бетон на органических заполнителях, обладающий высокими теплоизоляционными и физико-механическими свойствами. Показана возможность использования в качестве заполнителя легких бетонов кукурузных отходов. Также в регионах России и Казахстана имеется большое количество промышленных отходов шлаков и шламов, которые могут использоваться в смешанных вяжущих.

2. Установлено, что введение в состав шлакощелочного легкого бетона на основе кукурузных отходов композиционной добавки ССФШЗУП (состоящей из содовой сульфатной смеси, фосфорного шлака, золы-уноса и портландцементного клинкера) приводит к увеличению предела его прочности при сжатии до 2,7–3,0 МПа. Установлено, что шлакощелочные вяжущие с добавками практически не снижают своих прочностных свойств в присутствии водоэкстрагируемых материалов из кукурузных отходов.

3. Установлена динамика повышения прочности шлакощелочных вяжущих с добавлением фосфорных шлаков, золы-уноса, портландцементного клинкера и жидкого стекла с содосульфатными смесями в составе легких бетонов с кукурузными отходами. Максимальное содержание добавок составляет 1,1% от массы шлакового вяжущего. Расход нейтрализатора зависит от удельной поверхности органического наполнителя, а расход отвердителя - от количества шлакощелочного связующего и нейтрализатора.

4. Установлено, что увеличение размера частиц органических заполнителей из кукурузных отходов снижает плотность и повышает предел прочности при сжатии легких бетонов. Это связано с тем, что органический заполнитель из измельченных кукурузных початков действует как армирующий материал и может выдерживать большую нагрузку. Проведенные исследования позволяют целенаправленно планировать производство шлакощелочных легких бетонов на основе кукурузных отходов разной прочности в зависимости от доли органического заполнителя.

5. Методами рентгенофазового анализа установлено, что при введении в состав легких бетонов смешанных добавок из золы-уноса и портландцементного клинкера на основе щелочных растворов, состоящих из отходов производства, смесей жидкого стекла и содосульфатной смеси, возникают новые гидратные соединения.

6. Установлено, что наибольшей прочностью обладает состав легкого бетона, использующий в качестве заполнителя кукурузные отходы фракций 35–40 мм, достигающий 3,5 МПа через 28 суток. Установлено, что в зависимости от фракции заполнителя оптимальное соотношение раствора и заполнителя для легкого бетона на основе кукурузных отходов находится в диапазоне от 0,9 до 1,5.

7. На основе разработанных смесей изготовлена опытная партия блоков, из которых построены частные дома в поселке Каргала Актюбинской области. Экономический эффект от внедрения шлакощелочного легкого бетона с заполнителем из отходов кукурузы в производство «Актобестрой» составил 3 700 550 тенге (679 000 руб.) в год.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Исакулов, Б.Р. Исследование деформативности серосодержащих арболитовых композитов при различных длительных нагрузках / Б.Р. Исакулов, **Б.Б. Кульшаров**, А.М. Сартова, Ж.О. Конысбаева, С.И. Шалабаева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. №4 (77). С. 61–64.
2. Исакулов, Б.Р. Детоксикация промышленных отходов для получения серосодержащих вяжущих строительных материалов / Б.Р. Исакулов, М.В. Акулова, **Б.Б. Кульшаров**, А.Б. Исакулов, А.М. Сартова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. №1 (82). С. 41-47.

В изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus

3. Sokolova Y.A., Sokolova A.G., Akulova M.V., Isakulov B.R., Kul'sharov B.B., Isakulov A.B. The study of creep and deformation properties of sulfur-containing arbolit exposed to various compression stresses Key Engineering Materials. 2021. Т. 899 КЕМ. С. 137-143.
4. Isakulov B.R., Akulova M.V., Kulsharov B.B., Sartova A.M., Isakulov A.B. Formation of strength and phases of sequence of destruction of arbolite composites at various long loads, news of the national academy of sciences of the republic of kazakhstan // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2020. Т. 4. № 442. С. 28.
5. Sokolova Yu.A., Akulova M.V., Isakulov B.R., Sokolova A.G., Kul'sharov B.B., Isakulov A.B. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompanied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. 2020. Т. 6. С. 65.

Монография

6. Технология получения высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих / Б.Р. Исакулов, М.В. Акулова, **Б.Б. Кульшаров**, Т.Ж. Толеуов. Актобе: АРГУ им. К. Жубанова. 2017. 253 с.

Статьи в журналах, сборниках и другие публикации

7. Исакулов, Б.Р. Получение и исследование свойств вяжущих на основе отходов нефтегазовой промышленности / М.В. Акулова, Б.Б. Кульшаров, А.М. Сартова, А.Б. Исакулов // Эксперт: теория и практика. 2020. № 5 (8). С. 34–38.
8. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Соколова Ю.А., Кульшаров Б.Б., Имангазин Б.А. Получение грунтоарболитовых композитов на основе твердых частиц бурового шлама // Научное обозрение. 2016. № 21. С. 7–13.
9. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Соколова Ю.А., Кульшаров Б.Б., Имангазин Б.А., Толеуов Т.Ж. Разработка состава и исследование характера формирования прочности арболитовых композитов на основе различных отходов промышленности и растительного сырья // Научное обозрение. 2017. № 2. С. 6–15.
10. Исакулов Б.Р., Кульшаров Б.Б., Таханова Г.Ж., Жекеев С.У. Исакулов А.Б. Исследование прочности и деформативности серосодержащего арболита // Slovak international scientific journal. 2018. №22. С.3-5
11. Исакулов Б.Р., Джумабаев М.Д., Тукашев Б.Б., Кульшаров Б.Б., Жекеев С.У., Исакулов А.Б. Исследование влияния органического заполнителя на физико-механические свойства и сцепление с камнем вяжущего серосодержащего арболита. Slovak international scientific journal. 2018. №23. С.14-16.
12. Исакулов Б.Р., Кульшаров Б.Б., Таханова Г.Ж., Шильмагамбетова Ж.Ж., Жекеев С.У., Тукашев Ж.Б. Исследование изменения прочности и влияния химических добавок на свойства органического заполнителя и серосодержащего арболита // Slovak international scientific journal. 2018. №23. С.17-20.
13. Исакулов Б.Р., Шильмагамбетова Ж.Ж., Таханова Г.Ж., Имангазин Б.А., Кульшаров Б.Б. Исследования свойств и влияние технологических параметров арболита на основе серосодержащих вяжущих // Актуальные проблемы архитектуры и строительства: материалы международной научно-практической конференции. Благовещенск: ДГАУ, 2014. С. 86-90.
14. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Кульшаров Б.Б. Технологические особенности получения серосодержащих вяжущих, и методика их исследования // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). Иваново: ИВГПУ, 2015. Ч. 1. С. 282–286.
15. Исакулов Б.Р., Рыскулов Б.К., Имангазин Б.А., Кульшаров Б.Б. Исследование влияния основных компонентов на прочностные свойства серосодержащего арболита. // Интеграция образования и науки: вызовы современного мира: материалы II Международной научно-практической конференции Казахско-русского международного университета. Актобе: КРМУ, 2015. С. 266-269.
16. Исакулов Б.Р., Рыскулов Б.К., Имангазин Б.А., Кульшаров Б.Б. Подбор состава и исследование свойств серосодержащего арболита, улучшенных путем механохимической активации // Интеграция образования и науки: вызовы современного мира: материалы II Международной научно-практической конференции Казахско-русского международного университета. Актобе: КРМУ, 2015. Актобе: КРМУ, 2015. – С. 262-266.
17. Исакулов Б.Р., Кульшаров Б.Б., Жекеев С.У., Исакулов А.Б. Исследование механических свойств серосодержащих арболитовых блоков // Исследования в

области естествознания, техники и технологий как фактор научно-технического прогресса: сб. научных трудов. Белгород, 2018. – С.98-101.

18. Исакулов Б.Р., Рыскулов Б.К., Кульшаров Б.Б. Исследование влияния серосодержащих отходов на структурообразование и физико-химические свойства вяжущих для получения легких бетонов // Инновации в производстве и подготовке технических кадров: материалы международной научно-практической конференции. Актобе. 2020. С. 103–109.

19. Исакулов Б.Р. Рыскулов Б.К., Абдуллаев Х.Т., Кульшаров Б.Б., Исакулов А.Б. Влияния отходов нефтехимической промышленности на структурообразование свойств вяжущих для получения легких бетонов // Каракалпакский государственный университет в годы независимости: сб. научных трудов. Узбекистан, Нукус, 2021. С. 68–70.

20. Исакулов Б.Р., Тукашев Ж.Б., Конысбаева Ж.О., Шалабаева С.И., Кульшаров Б.Б. Исследование свойств шлакощелочных вяжущих на основе солей слабых и сильных кислот // Вестник Баишев университета. 2022. № 2. С. 38–45.

21. Исакулов Б.Р., Хаирова С.Ф., Кульшаров Б.Б. Развитие предприятий по разработке естественных богатств в Казахстане // Вестник Баишев университета. 2022. №2. С. 45–58.