

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»**

На правах рукописи



Аунг Хтут Тху

**Получение композиционных материалов на основе продуктов
переработки рисовой шелухи**

05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико - технологический университет имени Д.И. Менделеева» на кафедре общей технологии силикатов.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Захаров Александр Иванович
заведующий кафедрой общей технологии
силикатов ФБГОУ ВО
РХТУ им. Д. И. Менделеева

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Юрков Андрей Львович
ведущий научный сотрудник АО
«Институт новых углеродных материалов
и технологий» при ФБГОУ ВО
Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова

кандидат технических наук,
Ситников Алексей Игоревич
научный сотрудник лаборатории
керамических материалов ФБГУН
Институт металлургии и материаловедения
им. А. А. Байкова РАН

Ведущая организация: Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-технический центр «Бакор»

Защита состоится «15» октября 2020 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета РХТУ.Р.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в конференц-зале (ауд. 443).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
РХТУ.Р.01, доктор технических наук, профессор

Потапова Е. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Рис относится к одной из трех основных сельскохозяйственных культур и является основным источником питания целого ряда густонаселенных стран. При выращивании риса ежегодно накапливается большое количество отходов, прежде всего, рисовой шелухи (РШ). Несмотря на значительное количество разработок способов утилизации шелухи, большая часть ее не утилизируется, что увеличивает экологическую нагрузку на окружающую среду.

Присутствующий в шелухе гель кремниевой кислоты, обуславливает возможность получения ценных кремнийсодержащих продуктов. Значительная часть научных работ посвящена получению из РШ соединений кремния. Однако наиболее эффективной представляется комплексная переработка РШ, позволяющая использовать ее неорганическую и органическую составляющие. Результатом переработки могут быть композиционные материалы, сочетающие в себе низкую плотность и достаточную прочность дешевой органической части РШ, долговечность и температурную устойчивость неорганического продукта переработки.

Актуальность работы определяется решением задачи утилизации многотоннажных сельскохозяйственных отходов, сочетающим использование их органической и неорганической частей и получением продуктов имеющих потребительскую ценность.

Объект исследования: технология и способы синтеза композиционных материалов из рисовой шелухи для строительства.

Предмет исследования: процессы синтеза натриевого жидкого стекла с использованием кремнезема, полученного из рисовой шелухи, технология конструкционных теплоизоляционных материалов на основе продуктов переработки рисовой шелухи и исследование их свойств.

Целью исследования является получение композиционных материалов теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного назначения на основе продуктов переработки рисовой шелухи и определение их свойств.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

1. Изучен состав и строение РШ производства Республики Мьянма и проведено сравнение ее с аналогичными отходами других регионов.
2. Изучено влияние условий термообработки РШ с целью получения сырья для производства неорганического связующего – жидкого стекла (ЖС).
3. Исследованы возможные способы синтеза жидкого стекла на основе кремнезема РШ и установлены параметры синтеза, позволяющие обеспечить его высокое качество.

4. Установлена эффективность использования синтезированного ЖС в качестве связки для изготовления формовочных смесей, используемых для литья металлов.
5. Получены теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструкционные композиционные материалы строительного назначения из РШ и продуктов ее переработки.

Научная новизна исследования определяется следующими положениями:

1. Показано, что синтез растворимого силиката натрия (жидкого стекла) с использованием РШ и кремнезема, полученного термообработкой рисовой шелухи, можно проводить как автоклавным, так и безавтоклавным способами, причем наиболее стабильные результаты (модуль жидкого стекла - 2,5 и плотность - 1,36 г/см³) достигаются при автоклавном способе производства;
2. Установлено, что жидкое стекло, синтезированное с использованием кремнезема РШ, содержит фрагменты наночастиц анионов кремниевых поликислот с большей средневзвешанной степенью полимеризации (в 2 раза – 30 и 60), чем стандартное, и позволяет получить формовочные смеси холодного твердения, отличающиеся повышенной прочностью;
3. С максимальным использованием продуктов переработки отходов производства риса разработаны рецепты смесей (содержание жидкостекольной связки и наполнителей рисовой шелухи разных фракций и ее золы) и определены технологические параметры, позволяющие получить композиционные материалы строительного назначения, сравнимые по основным свойствам (плотности, прочности, теплопроводности и стойкости к воде) с материалами на основе цементных и полимерных связующих.

Практическая значимость работы:

- определены параметры синтеза активного кремнезема РШ Республики Мьянма для производства ЖС, а также параметры синтеза жидкого стекла из кремнезема РШ;
- с использованием синтезированного ЖС получены формовочные смеси – с большей манипуляторной прочностью, что позволяет увеличить производительность процесса и уменьшить шероховатость отливок. С их применением получены отливки чугунных деталей с хорошим качеством поверхности. Разработанные смеси могут быть рекомендованы для мелкосерийного производства крупногабаритных деталей;
- с использованием продуктов переработки отходов производства риса получены композиционные материалы теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного назначения с высокими рабочими характеристиками.

- разработана технологическая схема производства композиционных материалов строительного назначения с использованием в качестве сырья РШ.

Положения, выносимые на защиту

- результаты исследований по синтезу жидкого натриевого стекла из РШ и ее золы;
- результаты исследований по получению холодно-твердеющих смесей отливки металлов с использованием синтезированных жидких стекол;
- параметры получения композиционных материалов на основе продуктов переработки отходов выращивания риса и их свойства;
- технологическая схема комплексной переработки РШ.

Степень достоверности. Достоверность результатов обеспечивается использованием стандартных методик определения характеристик, использованием современных физико-химических методов исследований, воспроизводимостью результатов, соблюдением принципов комплексного подхода при анализе и интерпретации экспериментальных данных, применением статистических методов оценки погрешности при обработке экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя: заключается в сборе и анализе литературных данных, планировании и проведении экспериментальной работы, последующей обработке и анализе результатов, подготовке материалов конференций и статей, представлении результатов работы на международных и российских конференциях и семинарах. Результаты исследования являются оригинальными и получены лично автором или при его непосредственном участии.

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы представлены и обсуждены на Международных конгрессах и конференциях :«Успехи в химии и химической технологии» МКХТ-2017, «Химическая технология функциональных наноматериалов», Москва, 2017 г, РХТУ им. Д.И. Менделеева, на XXII Международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2018 г, на Международной научно-практической конференции, «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность (ЭПЭБ)», г. Севастополь, 2019, на IX Международной конференции по достижениям в области биоинформатики, биотехнологии и инженерии окружающей среды, Рим, Италия, 2019, на Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии, 2020» г. Минск, Беларусь.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, 8 тезисов докладов.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав и списка литературы, содержит 202 страниц машинописного текста, 58 таблиц и 62 рисунка. Список литературы включает 212 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и сформулированы цель и задачи исследования, приведена научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы положения, представленные к защите.

В первой главе, представляющей собой аналитический обзор литературы по теме диссертационного исследования, рассмотрены структура и свойства РШ, ее использование для получения различных материалов, способы получения ЖС, в том числе с использованием кремнезема РШ, способы получения композиционных изделий с различной структурой и свойствами. Наиболее активно научными исследованиями в области переработки РШ занимаются ученые разных стран: Jeng-Shiun Lim - Технологический университет Малайзии, Малайзия, Kazuki Nakanishi - Киотский университет в Киото, Япония, Vimal Chandra Srivastava - Индийский технологический институт Рурки, Индия, Naoran Chen - Техасский государственный университет в Сан-Маркос, США, Земнухова Л. А. – ДВО РАН, РФ и др.

Во второй главе приведены исходные материалы, применяемые в работе, методы исследования. Описаны методики дифференциально-термического, термогравиметрического анализов (ДТА, ТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), рентгенофазового (РФА) и петрографического анализов, сканирующей электронной и силовой микроскопии, элементного анализа. Приведены методы определения модуля ЖС, степени полимеризации кремнекислородных анионов, угла смачивания, размеров частиц методами микроскопии и динамического рассеяния света, а также методы определения свойств композиционных материалов (механической прочности, теплопроводности, огнестойкости и водопоглощения).

В третьей главе представлены результаты экспериментов по изучению характеристик РШ разного происхождения (Россия, Мьянма, Вьетнам), получению из нее кремнезема (табл.1, 2).

Таблица 1 – Характеристики рисовой шелухи из разных стран

Свойство	Размерность	Диапазон значений свойств образцов РШ		
		России	Мьянмы	Вьетнама
насыпная плотность	кг/м ³	96 – 132	95 – 130	90 – 130
влажность	%	7 – 10	8 – 11	8 – 12
зольность	%	19 – 22	18 – 21	17 – 21

Для получения кремнезема РШ обжигали в печи при температурах от 600 до 700 °С, (выдержка 4 – 6 час). Температуру получения активного аморфного кремнезема выбрали после изучения методом РФА фазового состава золы, полученной при температурах от 600 до 1050 °С. По результатам ДТА и ДСК установлено (табл. 2), что минимальная температура получения кремнезема при соблюдении избытка воздуха составляет 600 °С.

Таблица 2 – Сравнение потерь массы образцов РШ

Метод и условия анализа	Значения				Зольный остаток, %
	интервалы температур, °С				
ДТА-ТГ, открытый тигель	интервалы температур, °С				17
	50 – 150	150 – 250	250 – 400	400 – 750	
	потери массы, %				
	5	-	60	18	
ДСК-ТГ, тигель с крышкой, аргон	интервалы температур, °С				22
	50 – 150	150 – 230	230 – 350	350 – 1000	
	потери массы, %				
	5	-	43	30	

Диапазоны температур экзоэффектов и потерь массы значительно отличаются, что иллюстрирует необходимость обеспечения свободного доступа воздуха к образцу для получения кремнезема с минимальным содержанием углерода.

Проанализировано содержание элементов в образцах кремнезема РШ различного происхождения (рис.1). В табл.3 представлены результаты пересчета содержания элементов в оксидной форме.

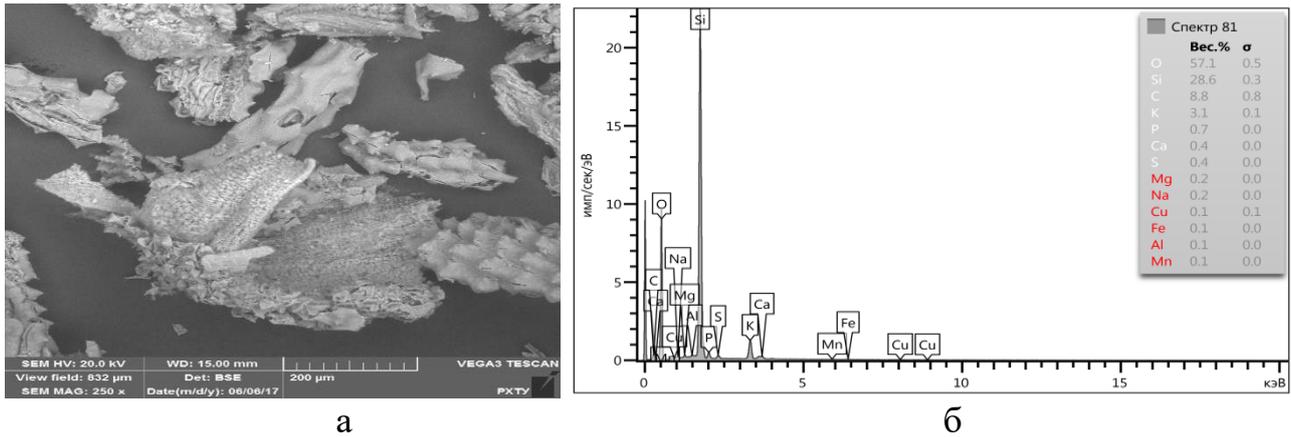


Рисунок 1 – Структура (а) и спектр элементного анализа (б) образца кремнезема, полученного из РШ Вьетнама

Таблица 3 – Состав золы РШ из разных регионах

Содержание соединения масс. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	П.П.П
Россия	92,79	0,37	0,36	0,76	0,05	0,32	0,38	0,01	0,20	4,76
Мьянма	93,20	0,26	0,15	0,24	0,01	0,24	0,15	0,04	0,24	5,47
Вьетнам	90,45	0,60	0,33	0,57	0,11	0,75	0,41	0,06	1,15	5,57

Химические составы золы РШ разных регионов очень близки, а содержание кремнезема колеблется от 90 до 93 %.

На следующем этапе работы проводили эксперименты по получению натриевого ЖС из РШ и ее золы. Автоклавным способом процесс проводили при температуре 170 – 190 °С при давлении 7,5 – 8 бар в течение 3 часов.

Безавтоклавным способом реакцию проводили при атмосферном давлении кипячением смеси золы РШ с раствором гидроксида натрия при 90 – 110 °С в течение 60 – 180 мин с непрерывным перемешиванием.

Синтез способом «прямой варки» осуществляли перемешиванием РШ с 12 – 15 % раствором NaOH при 100 – 150 °С в течение 60 – 180 мин.

Таблица 4 – Сравнение характеристик полученных жидких стекол

Показатель	Нормативные характеристики жидкого стекла (ГОСТ13078-81)	Результаты синтеза		
		автоклавный способ	безавтоклавный способ	прямой варки
Внешний вид	желтый на серо-желтый густая прозрачная жидкость	серо-прозрачный	серо-прозрачный	красно-серый
Массовая доля кремнезема, %	24,8 – 36,7	19 – 30	20 – 30	17 – 20
Массовая доля оксида натрия, %	8,1 – 13,3	9,5 – 10	10	9,0 – 9,3
Плотность, г/см ³	1,36 – 1,45	1,27 – 1,38	1,29 – 1,40	1,17 – 1,23
Силикатный модуль	2 – 3,0	2 - 2,9	2 – 2,87	не определен

Лучшие результаты показали способы автоклавного и неавтоклавного способов, сравнение которых приведено в табл. 5, параметры и результаты синтеза смесей состава золы РШ – 20 %, NaOH – 9,3 %, H₂O – 140 % (модуль 2,5).

Наиболее простым методом синтеза является неавтоклавный, позволяющий получить продукт, соответствующий стандартному (промышленному), однако более стабильные результаты обеспечивает автоклавный способ.

Таблица 5 – Аппаратурно-технологические параметры синтеза ЖС

Способ синтеза жидких стекол с модулем 2,5	Параметры синтеза			Выход, %	Остаток, %	Потери, %
	Температура, °С	Давление, бар	Время, ч			
автоклавный	170 – 190	7 – 8,5	3	91	6	3
безавтоклавный	90 – 110	—	1 – 3	90	6	4

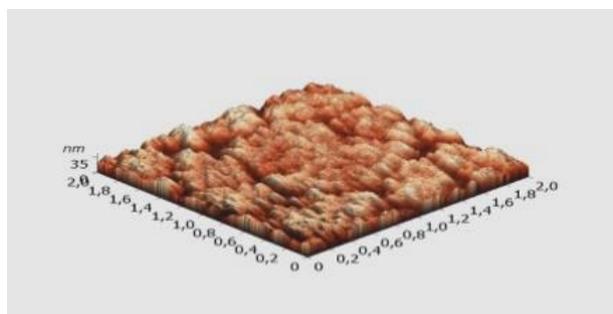
Исследовали степень полимеризации и размер частиц в растворах силиката натрия, полученных разными способами (табл. 6).

Таблица 6 – Средневзвешенная степень полимеризации и размеры анионных фрагментов жидких стекол различного способа синтеза

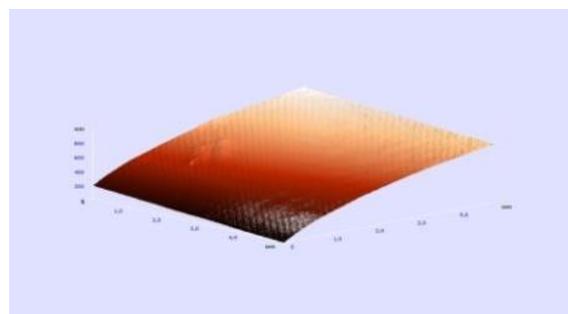
Образец ЖС	Модуль	Плотность, г/см ³	Средневзвешенная степень полимеризации	Размер частицы, нм
стандартное	2,5	1,289	30,65	3 – 6
автоклавное	2,5	1,294	60,18	3 – 8
безавтоклавное	2,5	1,427	72,44	6 – 10

Растворенный кремнезем синтезированных стекол представлен фрагментами, имеющими больший размер (до 8 – 10 нм), чем анионы силикатов промышленных жидких стекол, вероятно из-за протяженности молекулярных цепочек анионов кремниевой кислоты.

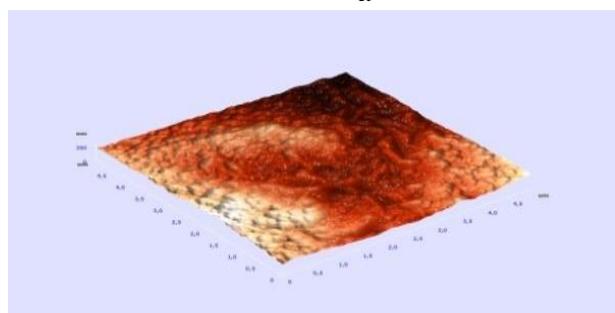
Изучали адгезионные свойства синтезированных стекол - профили пленок полимеризовавшегося стекла и краевой угол смачивания на различных поверхностях (рис.2, табл.7).



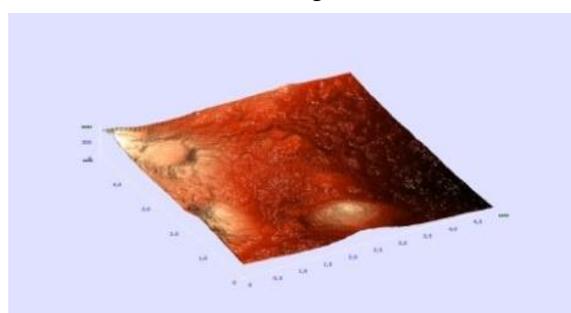
а



б



в



г

Рисунок 2 – Поверхность покрытия высушенных пленок жидких стекол: промышленного производства (а), и полученных автоклавным синтезом (б), безавтоклавным синтезом (в), «прямой варкой» (г)

Таблица 7 – Углы смачивания ЖС поверхностей разных материалов

Способ синтеза ЖС	Угол смачивания на поверхностях, град		
	стекла	стали	дерева
промышленный	30 — 33	42 — 45	23 — 25
автоклавный	32 — 35	43 — 46	23 — 26
безавтоклавный	30 — 34	42 — 44	22 — 24
«прямой варки»	26 — 31	39 — 41	13 — 15

В целом краевые углы смачивания капли синтезированных ЖС разных материалов подобны углам стандартного ЖС (кроме ЖС «прямой варки», имеющее более низкие показатели). При этом оно образует более гладкие и, вероятно, более прочные пленки (рис. 2). ЖС, полученное автоклавным способом, также образует более гладкую поверхность, чем стандартное.

Синтезированное автоклавным способом жидкое стекло использовали в качестве связки формовочных холодно-твердеющих смесей (кварцевый песок со связкой жидкого стекла) для литья металлических изделий. Было установлено, что оптимальное количество добавки связки в смесях на основе кварцевого песка составляет 3 %, а отвердителя (Na_2SiF_6) 15 % от массы связки, что меньше обычно используемых количеств. При этом время отверждения формы также было сокращено в 1,5 раза с 40 до 25 минут. Смеси с использованием синтезированного ЖС показали большую исходную и удовлетворительную остаточную прочности по сравнению со стандартными (табл.8). Прочность полученной смеси позволяла не прибегать к окрашиванию поверхности формы, обычно производимым для предотвращения осыпания рабочего слоя формы. Определенная газопроницаемость образцов отвечала стандартным требованиям.

Таблица 8 – Прочность и газопроницаемость образцов

Использованное жидкое стекло	Плотность образца, г/см ³ ,	Газопроницаемость, ед.	Средний предел прочности образцов при сжатии, МПа	
			исходных	термообработанных
промышленного производства	1,40 – 1,43	165	1,1	2,0
синтезированное	1,41 – 1,43	155	1,9	2,0

Для проверки эффективности использования синтезированного ЖС произвели отливку выпускного коллектора для тюнингового мотоцикла из чугуна марки СЧ₂₀ (масса 0,75 кг, минимальная толщина – 4 мм). Температура заливки составляла 1380 °С. Полученная отливка имела хорошие характеристики поверхности.



Рисунок 3 – безопочная стержневая форма (а), чугунная отливка (б)

В следующей части работы получали композиционные материалы с наполнителями (РШ, измельченная РШ, ее зола) и связкой синтезированного ЖС.

Образцы композиционных материалов в виде балок и пластин были получены по технологической схеме, представленной на рис. 4.



Рисунок 4 – Технологическая схема изготовления образцов композиционного материала, пунктиром показаны необязательные стадии

Для получения теплоизоляционных материалов низкой плотности использовали отверждение без приложения давления, для получения теплоизоляционно-конструкционных материалов формование проводили под давлением до 20 МПа. Выдержка - до 24 час, температура сушки - 105 °С.

В качестве крупного наполнителя использовали зерна РШ, золу РШ, а также 2 фракции измельченной РШ (средний размер частиц 1,5 и 0,5 мм). В покрытии использовали РШ, измельченную на роторной мельнице (средний размер 10-20 мкм).

Оптимальный состав смеси для получения композиционных теплоизоляционных материалов (рис. 4) содержит 10 % золы при содержании отвердителя 15 % по отношению к массе ЖС (модуль 2,5, плотность 1,36 г/см³).

При введении связующего в количестве менее 50 % невозможно получить образцы без повреждений, при введении более 80 % связующего образцы деформируются.

РШ и мелкой фракции (соотношение 3:1) смешивали с разным количеством связующего и формовали без приложения нагрузки. Зависимости прочности и теплопроводности от плотности образцов (рис. 5) указывают на линейную зависимость прочности от плотности в измеренном диапазоне и отклонение от нее для теплопроводности, что может быть обусловлено влиянием структуры.

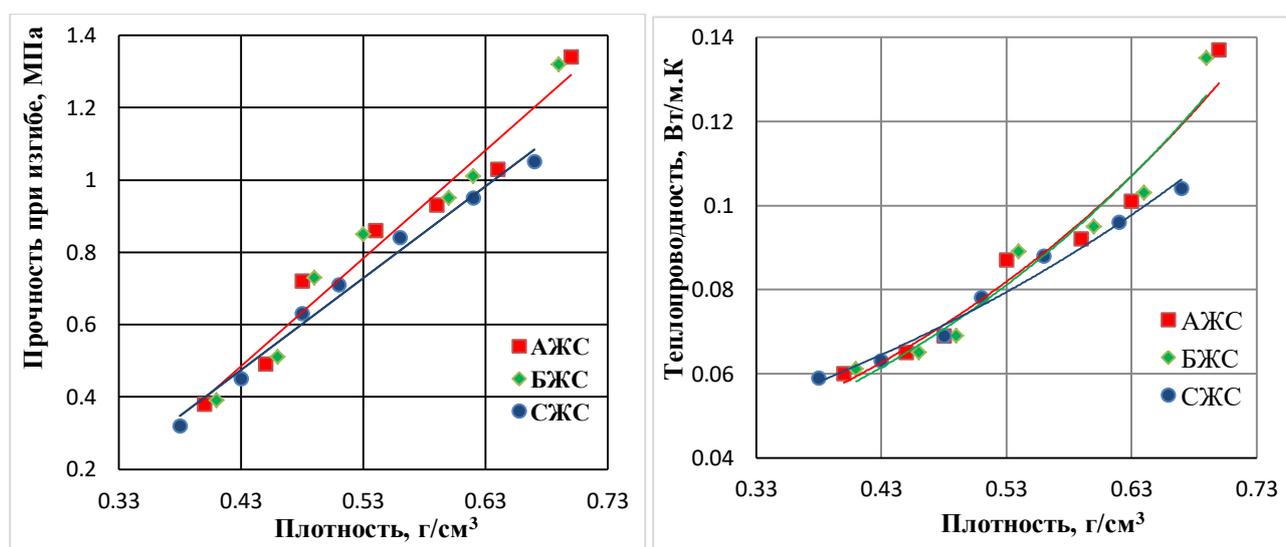


Рисунок 5 – Предел прочности при изгибе и теплопроводность образцов, полученных с использованием связующих: СЖС – стандартное жидкое стекло, АЖС – автоклавное жидкое стекло, БЖС – безавтоклавное жидкое стекло

Для получения эффективной теплоизоляции и оптимальной прочности содержание связующего должно составлять 60 – 65 % (плотность не более 0,6 г/см³, теплопроводность не более 0,1 Вт/м.К, прочность не менее 0,9 МПа).

Для повышения влагостойкости поверхность образцов покрывали составом, включающим в себя ЖС, золу РШ (80:20) и, для ряда составов, тонкодисперсный порошок РШ (10 %). Свойства полученных материалов в сравнении с промышленным материалом на цементном связующем (арболитом) приведены в табл. 9.

Таблица 9 – Сравнение характеристик образцов с арболитом

Материал	Плотность, кг/м ³	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность, Вт/м.К	Водопоглощение, % (на сут)
Арболит	400 – 850	0,35 – 1,05	0,07 – 0,18	До 85
Без покрытия	410 – 700	0,40 – 1,35	0,06 – 0,13	До 86
С покрытием	600 – 1030	0,95 – 3,70	0,20 – 0,35	До 25



Рисунок 6 – Образцов с покрытием и без него

Теплоизоляционно-конструкционный материал формованием при нагрузке до 20 МПа из смеси с 50 % наполнителя (РШ средней фракции и порошок - 1:1) и ЖС.

Образцы покрывали составом, указанным выше (рис.6).

В таблице 10 приведены сравнение свойств образцов со стандартными изделиями (ГОСТ 10632-89) – древесностружечными плитами (ДСП) и

материалами на основе полимеров (МДФ). Образцы немногим уступая ДСП и МДФ в коэффициентах теплопроводности, превосходят их в стойкости к воде.

Таблица 10 – Сравнение свойств полученных материалов

Образцы	Плотность, кг/м ³	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность, Вт/м К	Водопоглощение, %	Набухание, %
Легкие МДФ	750 – 900	15 - 23	0,2 – 0,3	4 – 31	6 – 25
ДСП	450 – 650	8 – 13	0,15 – 0,3	20 – 50	20 – 45
С покрытием	1020 – 1190	14 – 23	0,30 – 0,34	12 – 18	10 – 13

Связка ЖС повышает огнестойкость образцов, что было подтверждено испытанием с использованием газовой горелки с температурой пламени 800-1000 °С (табл.11). Температуру на обратной стороне образцов толщиной 30 мм измеряли в течение 5 – 10 мин после начала воздействия пламени.

Таблица 11 – Результаты испытания образцов открытым огнем

Характеристика	Образцы		
	дерево	композит без покрытия	композит с покрытием
Время воздействия пламени с температурой 800 – 1000 °С, мин	5	10	10
Температура на обратной поверхности образца, °С	80	40	40
Глубина обугливания образцов, %	80	20	2

Образцы с покрытием обладают достаточно высоким уровнем огнестойкости и перспективны для использования в строительстве.

В настоящее время 1 кубический метр МДФ или ДСП (при толщине плиты 15 – 18 мм) стоит \$ 300-450, использование РШ в качестве основного сырья для производства подобных материалов по разработанной технологии снижает стоимость сырья до \$ 50.

Используя результаты проведенных исследований, из РШ можно получить несколько полезных продуктов, обладающих потребительской ценностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что шелуха риса, выращенного в России, Вьетнаме и Мьянме, имеет схожие характеристики и химический состав. Установлены условия проведения термообработки рисовой шелухи для получения активного кремнезема (минимальная температура 600 °С), изучен фазовый (содержание кремнезема 90 – 93 %) и дисперсный (средний размер частиц 45 мкм) составы золы рисовой шелухи.
2. Из рисовой шелухи, полученного из нее кремнезема и раствора гидроксида натрия тремя различными способами (автоклавным, безавтоклавным, способом прямой варки) синтезированы натриевые жидкие стекла с характеристиками, соответствующими характеристикам стекол, используемым в промышленности (силикатный модуль 2,5, плотность 1,294 г/см³). Показано, что оптимальным способом синтеза натриевого жидкого стекла с использованием кремнезема РШ является автоклавный.
3. Определены степень полимеризации кремнийкислородных анионов (средневзвешанная степень полимеризации 60 – 62) и размеров частиц (средний размер анионных образований 6 – 11 нм,) в синтезированных стеклах. В отличие от промышленных жидких стекол, синтезированные стекла образуют более прочные полимеризованные пленки.
4. Установлена повышенная прочность формовочных холодно-твердеющих смесей с синтезированным жидким стеклом (до 1,9 МПа на сжатие, 0,45 МПа на растяжение), что позволило сократить количество вводимой связки до 3 % и количество вводимого отвердителя до 15 % от массы жидкого стекла. При этом время отверждения формы сократилось в 1,5 раза - до 25 минут. Полученные смеси обладали хорошей газопроницаемостью (155 ед.). Из формовочной смеси оптимального состава изготовлена форма и проведена отливка чугунной детали мотоцикла, которая характеризовалась хорошим качеством поверхности (низкой шероховатостью). Натурное испытание изготовленной формы показало отсутствие дефектов, зависящих от формы.
5. На основе продуктов отходов выращивания риса (рисовой шелухи, золы РШ) и синтезированного с использованием золы, жидкого стекла изготовлены композиционные материалы теплоизоляционного (теплопроводность 0,20 – 0,35 Вт/мК, прочность при изгибе 0,95 – 3,7 МПа, плотность 600 – 1030 кг/м³) и

теплоизоляционно-конструкционного (теплопроводность 0,30 – 0,34 Вт/мК, прочность при изгибе 14 – 23 МПа, плотность 1020 – 1190 кг/м³) назначения, которые по комплексу свойств не уступают подобным материалам на полимерной и цементной связках. Определены рецептура материалов, параметры их производства и исследованы свойства. Модификация разработанных композиционных материалов путем нанесения покрытия, содержащего 20 % золы РШ и 80 % жидкого стекла, способствовала повышению огнестойкости и уменьшению влагопоглощения.

6. Разработана технологическая схема комплексной переработки РШ с получением композиционных материалов строительного назначения. Из 1 тонны РШ по предлагаемой схеме возможно получить 300 л жидкого стекла и 1 м³ композиционных материалов для строительства (56 теплоизоляционных плит размерами 1000 x 1000 x 17 мм). Проведенные расчеты показывают значительное снижение себестоимости продуктов по сравнению с используемыми аналогами, за счет низкой стоимости сырья.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

Статьи в журналах ВАК

1. Аунг Хтут Тху, Захаров А. И. Получение неорганической связки для холоднотвердеющих смесей [Текст] // Новые огнеупоры. 2018. № 6. С. 41-45.
2. Аунг Хтут Тху, Захаров А. И., Маляров А. И. Свойства холоднотвердеющих смесей с жидкостекольным связующим, полученным из сельскохозяйственных отходов [Текст] // Литейное производство, 2018, № 9, с. 22-25.
3. Аунг Хтут Тху, Захаров А. И. Теплоизоляционный материал на силикатной связке, полученный на основе отходов переработки риса [Текст] // Техника и технология силикатов, 2018, Т. 25, № 4. - С. 115-118.

Тезисы докладов и конференций

1. Аунг Хтут Тху, Захаров А. И. Получение жидкого стекла с использованием золы рисовой шелухи // Успехи в химии и хим. технологии: Сб. науч. тр. /РХТУ им. Д.И. Менделеева. - 2017. - Т. 31, № 1. - С. 86 - 88.
2. Аунг Хтут Тху, Назарова Ю. П., Захаров А. И. Исследование влияние примесей и термообработки на цветовые характеристики золы рисовой шелухи // Успехи в химии и хим. технологии: Сб. науч. тр. /РХТУ им. Д.И. Менделеева. - 2017. - Т. 31, № 3. - С. 78 - 80.

3. **Аунг Хтут Тху**, Захаров А. И. Перспективы использования отходов выращивания риса для получения композиционных материалов / ТОМСК (II), кон, № 2 , Серия 14, 2018, С. 434-435.
4. **Аунг Хтут Тху**, Захаров А. И. Наночастицы жидких стекол, полученные из рисовой шелухи // Химическая технология функциональных наноматериалов: Сб. матер. междунар. конф. со школой и мастер-классами для мол. ученых. - М., 2017. - Т. , № . - С. 42 - 44.
5. **Аунг Хтут Тху**, Захаров А. И. Исследование термической обработки и содержания кремнезема в рисовой шелухе различных регионах // Инновационные материалы и технологии – 2020: Между-научно-техн конф. Молодых ученых., Минск, Беларусь, С. 106 – 109.
6. **Аунг Хтут Тху**, Со вин Мьинт, Клушин В. Н. Технические показатели активного угля, полученного химической активацией углеродного остатка пиролиза рисовой шелухи // Сб. мат. между-научно-практической конф, «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность (ЭПЭБ 23–26,9,2019)» г. Севастополь.
7. **Аунг Хтут Тху**, Со вин Мьинт, Клушин В. Н. Продукты щелочной обработки карбонизата рисовой шелухи // Сб. мат. между-научно-практической конф, «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность (ЭПЭБ 23–26,9,2019)», г. Севастополь , Секция – 2(73), С. 1520-1523.
8. **Aung HTUT THU, SAW WIN MYINT, V.N. KLUSHIN**. Technical indicators of active coal obtained by chemical activation of the carbon residue of rice hazel pyrolysis // Ninth International Conference on Advances in Bio-Informatics, Bio-Technology and Environmental Engineering - ABBE 2019, SEEK Digital Library, Pg. 28-31.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарности: научному руководителю д.т.н., доц. А.И. Захарову, доцентам, к.т.н. Тихомировой И.Н., к.т.н. А.В. Макарову (РХТУ им. Д. И. Менделеева), к.т.н., проф. А.И. Малярову (МПУ) за научные советы и помощь в реализации исследований, постоянное внимание и всестороннюю поддержку на всех этапах работы. Автор выражает благодарность послу Республики Союза Мьянма и всем сотрудникам посольства. Также автор выражает благодарность декану иностранного факультета и сотрудникам факультета ТНВиВМ д.х.н., проф. А.В. Белякову, д.т.н., проф. Н.А. Макарову, к.т.н., доц. Д.О. Лемешеву, к.т.н., доц. М.А. Вартамян.