

На правах рукописи



КУПОРОВА АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВНА

**ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА
ГИДРОФОБНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО КУСКОВОГО ТОРФА
В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

Научная специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Тверь – 2023

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ) на кафедре «Горное дело, природообустройство и промышленная экология».

Научный руководитель: **Мисников Олег Степанович**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Горное дело, природообустройство и промышленная экология», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

Официальные оппоненты: **Гревцев Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, декан инженерно-экономического факультета, заведующий кафедрой природообустройства и водопользования, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»


Казakov Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры геотехнологий освоения недр, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»

Защита состоится «25» января 2024 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.410.02 на базе ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» по адресу: 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22, ауд. Ц-208.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» и на сайте ВУЗа по адресу: <https://new.tstu.tver.ru/science/dissertation/24.2.410.02/#pills-defense>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета  **Афанасьева Людмила Евгеньевна**
24.2.410.02

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Комплекс физических и химических свойств торфа является фундаментальной основой для его рационального использования в различных отраслях экономики. Традиционным направлением использования торфа и продуктов его переработки является энергетика и коммунально-бытовой сектор. Тенденции современного развития большой энергетики в РФ и мире свидетельствуют о постепенном снижении удельного веса использования торфа. Однако его применение в качестве местного топлива является весьма перспективным направлением, поскольку такой подход позволяет успешно решать целый ряд комплексных задач, связанных с социально-экономическим развитием территорий. Снижение доли энергетического торфа создает необходимость развития новых нетрадиционных направлений его применения. К ним относится получение на основе торфа гидрофобно-модифицирующих и антислеживающих добавок в минеральные дисперсные материалы и изделия на их основе: цемент, гипс, огнетушащий порошок, порошкообразные бутадиен-нитрильные каучуки и щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси.

Для повышения эффективности добычи торфомассы и производства кускового торфа, главным образом, в качестве сырья для глубокой переработки, необходимо совершенствование имеющихся и разработка новых элементов технологического процесса (а в идеальном случае и всей технологии в целом), позволяющих снизить его зависимость от погодных условий, а также сформировать часть требуемых качественных характеристик полезного ископаемого на этапе его добычи (получение полуфабриката).

Степень разработанности. На определение круга решаемых задач, большое влияние оказали работы отечественных и зарубежных ученых. Значительный вклад в развитие фундаментальных исследований о свойствах, структуре и составе торфяного сырья, а также решении проблем комплексного освоения недр с формированием источников энергии при разработке месторождений твердых полезных ископаемых внесли исследования, обобщенные в монографиях и статьях *Амаряна Л.С., Абрамца А.М., Афанасьева А.Е., Базина Е.Т., Валиева Н.Г., Воларовича М.П., Воронкова Б.Б., Гамаюнова Н.И., Гамаюнова С.Н., Горячева В.И., Гревцева Н.В., Зюзина Б.Ф., Корчунова С.С., Лиштвана И.И., Мисникова О.С., Наумовича В.М., Пыталева И.А., Солопова С.Г., Самсонова Л.Н., Суворова В.И., Терентьева А.А., Фомина В.К., Чураева Н.В.* и других исследователей. Анализ этих работ позволил создать основы для выбора перспективных направлений в научных исследованиях. Фундаментальные и прикладные научные исследования в области гидрофобизации материалов, которые использовались в работе, были выполнены: *Хигеровичем М.И., Байером В.Е., Батраковым В.Г., Харитоновым Н.П., Алентьевым А.А., Пащенко А.А., Воронковым М.Г., Круглицкой В.Я.* и другими исследователями. Анализ работ этих ученых позволил определиться с физико-химическим механиз-

мом воздействия гидрофобно-модифицированных добавок и вариантами способов их внесения в торфяное сырье.

Объект исследования – технология производства кускового торфа в полевых условиях, включающая в себя гидрофобизацию торфяного сырья на стадии механического диспергирования и формования вязкопластичной торфомассы.

Предмет исследования – процесс сушки и увлажнения гидрофобно-модифицированного кускового торфа во взаимосвязи со структурообразованием коллоидной капиллярно-пористой торфяной системы с оценкой ее прочностных и водно-физических характеристик.

Цель исследования – разработка геотехнологического обоснования производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях, для его использования в качестве твердого топлива и обогащенного сырья для комплексной переработки с получением широкого спектра антислеживателей и стабилизирующих добавок в гигроскопичных сыпучих материалах и изделиях на их основе.

Идея работы – применение композиций торфяного сырья и кремнийорганических гидрофобизаторов в технологии производства кускового торфа при диспергировании и экструзионном формовании вязкопластичной торфомассы позволяет снизить начальное влагосодержание с достижением эффекта водоотталкивания и стабилизации процесса структурообразования в системе при его сушке.

Задачи исследования:

- провести комплексный анализ литературных и патентных источников по перспективным технологиям и современному состоянию исследований в области использования методов гидрофобной модификации при получении формованной продукции на основе торфяного сырья;
- обосновать необходимость использования в работе конкретных видов исходного торфяного сырья и гидрофобно-модифицирующих добавок (ГМД) на основе кремнийорганических соединений;
- изучить механизм физико-химического воздействия кремнийорганических соединений на структурообразование кускового торфа в процессе его сушки и набора прочности;
- разработать принципиальную схему применения разработанных подходов с адаптацией к технологическому процессу производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях;
- разработать технологические основы производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа с применением модернизированной стилочной машины с расчетом основных технико-экономических показателей.

Методы исследований. Диссертационная работа выполнена с использованием комплексного анализа и научного обобщения литературных и патентных источников по основным видам формованной торфяной про-

дукции и способам применения модификатора; методов исследования процесса сушки и структурообразования кускового торфа; определения прочности образцов при испытаниях на сжатие и изгиб; исследования их водопоглощительных и водоотталкивающих характеристик, а также методов математической статистики.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Снижение начального влагосодержания в технологической операции формования торфяной массы при производстве кускового торфа с добавками этилгидросилоксана (ЭГС) обусловлено увеличением подвижности элементов структуры в граничных слоях системы «торф – пленка ЭГС – вода» фиксируемых за счет водородных связей.

2. Рост прочности при сушке кускового торфа, модифицированного метилсиликонатом натрия, связан с образованием водорастворимых гуматов натрия и распределением их в пространстве между критическими элементами структуры, обеспечивающими их взаимодействие посредством реализации большего количества межмолекулярных связей.

3. В технологии производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях повышение циклового сбора на 25 % и количества технологических циклов на 40...45 %, приводящее к росту сезонного сбора в 1,75...1,8 раза, обусловлено двукратным снижением коэффициента поглощения осадков и отсутствием удлинения сушки за счет ликвидации условий для влагообмена с подстилающей торфяной залежью.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые обосновано снижение начального влагосодержания в процессе экструзионного формования вязкопластичной торфомассы за счет взаимодействия в водной среде ЭГС и метилсиликонатов щелочных металлов с компонентами органического вещества, приводящее к сокращению времени сушки кускового торфа.

Обоснование и достоверность научных результатов подтверждается адекватной постановкой задач исследований, теоретическими расчетами и достаточным объемом экспериментальных исследований, количеством хронометражных наблюдений, широкой апробацией на отечественных и международных научных форумах, использовании результатов в смежных областях науки и техники, а также положительными результатами независимых опытно-промышленных испытаний.

Практическая ценность работы заключается в разработке геотехнологического обоснования производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях со смещением диапазона влаги формования торфомассы в зону меньших значений влагосодержаний и формированием водоотталкивающих покрытий на готовой продукции, обеспечивающих 1,75...1,8-кратный рост сезонного сбора по сравнению с реализуемой в настоящее время технологией. Рекомендуемые направления использование гидрофобно-модифицированного кускового торфа – коммунально-

бытовое топливо и сырье для глубокой термохимической переработки с получение антислеживающих и стабилизирующих добавок в дисперсные материалы.

Реализация результатов. Результаты исследований используются в учебном процессе студентов Тверского государственного технического университета и курсантов Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело»; направлениям подготовки бакалавров 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»; 20.05.01 «Пожарная безопасность»; 20.03.01 «Техносферная безопасность» и направлению подготовки магистров 18.04.01 «Химическая технология». Промышленная апробация метода гидрофобизации торфомассы проведена на одном из ведущих торфопредприятий РФ ООО «ПИНДСТРУП».

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; формулировании основной идеи; в анализе и научном обобщении материалов; сборе и обработке хронометрических наблюдений за процессом формования и сушки гидрофобно-модифицированного кускового торфа, а также подготовке материалов для публикации научных статей.

Апробация работы. Основное содержание работы и ее отдельных разделов докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских научных форумах: XXIII и XXXI Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, 2015, 2023 гг.); III, IV и V Международных инновационных горных симпозиумах (г. Кемерово, 2018-2021 гг.); Всероссийской с международным участием конференции «Болота и биосфера» (г. Тверь, 2018 г.); Ежегодных Международных конференциях «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2015-2022 гг.); Всероссийской научно-практической конференции «Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки» (г. Тверь, 2016 г.).

Соответствие паспорту специальности. Тема исследований соответствует п. 1 «Научные основы создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях» паспорта специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 18 печатных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, индексируемых международными системами цитирования Web of Science и Scopus, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины. Получен 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 247 наименова-

ний, изложена на 209 страницах, включая 8 таблиц, 56 рисунков и 6 приложений на 35 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведено обоснование актуальности работы, сформулированы ее цель и идея, обозначены задачи исследований, представлены положения, выносимые на защиту, дана оценка научной и практической значимости работы.

В главе 1 «Современное состояние исследований в области использования методов гидрофобной модификации при получении формованной продукции на основе торфа» представлен подробный анализ теорий структурообразования кускового торфа при сушке, а также современного состояния исследований в области использования методов гидрофобной модификации при его получении. Проведена оценка традиционных методов гидрофобизации и опыт их применения в торфоперерабатывающих технологиях. Проведенный аналитический обзор позволил определить направление исследований по производству гидрофобномодифицированного кускового торфа.

В главе 2 «Методики проведения экспериментальных исследований» приведено описание применяемых методик, а также обоснование выбора торфяного сырья, ГМД и эмульгатора.

Выбор сырья был обусловлен необходимостью оценки влияния природных факторов на эффективность воздействия гидрофобномодифицирующего ПАВ на органическое вещество торфа в близких к минимальным и максимальным границам диапазона степеней разложения (R_T). Также учитывалось качество нативного торфяного сырья по способности к формованию и повышенной крошимости.

Комплексная методика исследования процесса сушки и структурообразования кускового торфа (рис. 1) включала в себя определение скорости и интенсивности обезвоживания, поверхностной и объемной усадки, а также показателей, позволяющих анализировать изменения плотности и плотности скелета образцов. Для определения изменения прочности кускового торфа при сушке использовались испытания цилиндрических образцов на сжатие (рис. 2) и изгиб. Предложена усовершенствованная методика по расчету продолжительности сушки гидрофобномодифицированного кускового торфа. Относительная ошибка измерений интенсивности испарения не превышала 1,5 %, а прочности кусков – 5 %.

Выбор дозировки (концентрации 1...4 масс. %) кремнийорганических соединений метилсиликоната натрия и ЭГС в качестве ГМД в торфомассу, а также эмульгатора (триэтаноламин) обусловлен ожидаемым водоотталкивающим воздействием, доступностью, экологической безопасностью и экономической эффективностью.



Рисунок 1 – Фрагмент расстила кускового торфа



Рисунок 2 – Экспериментальная установка для испытания цилиндрических кусков на сжатие

В главе 3 «Исследование влияния гидрофобной модификации на процессы структурообразования при сушке и намокании кускового торфа» приведены результаты исследований по оценке влияния гидрофобной модификации на протекания структурообразовательных процессов при сушке и увлажнении кускового торфа.

Сравнительный анализ кривых сушки для исследуемых видов торфа показал их существенные различия при изменении степени разложения торфяного сырья (рис. 3). Начальное влагосодержание, в основном, зависит от природных характеристик торфа. Время сушки до равновесного влагосодержания торфа с низкой R_T составляет 260 часов (применительно к технологии – 26 суток). Время сушки до уборочной влажности ($\sim 40\%$) составит примерно 180 часов (18 суток). Характер кривых сушки для торфа и его композиций на протяжении всего процесса не изменяется.

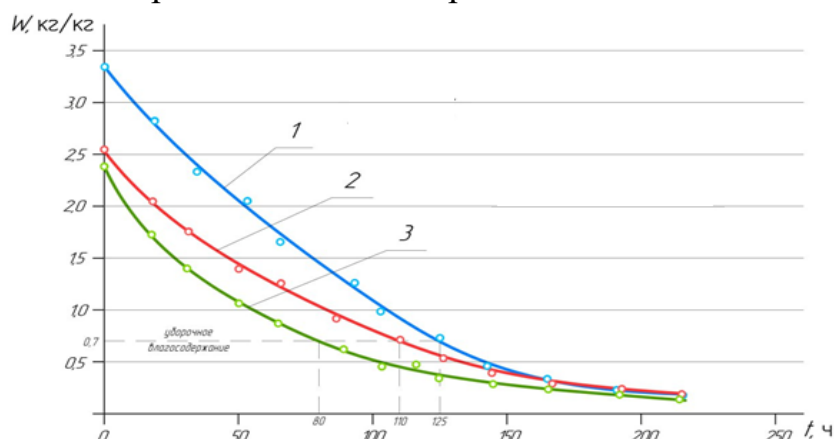


Рисунок 3 – Кривые сушки кускового торфа (переходный торф, $R_T = 35\%$): в зависимости от концентрации (здесь и далее масс. %) ЭГС:
1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%

Анализ кривых сушки у переходного торфа с высокой R_T показал (рис. 3), что до равновесного влагосодержания он высыхает за 200 часов, а до уборочного за 120 часов, что ниже соответственно на 29 % и 34 % по сравнению с предыдущими данными. Влияние кремнийорганической добавки ощутимо на протяжении всего процесса сушки (особенно на его начальном этапе) и постепенно уменьшается при низких влагосодержаниях (W). Главный фактор – уменьшение начальной влаги формирования.

Изменение интенсивности имеет схожие закономерности: небольшое снижение показателя в верховом торфе с низкой R_T с добавкой и увеличении ее концентрации, а для переходного торфа с высокой R_T численные значения Δi_c ниже на 10...15%, что особенно заметно в убывающем периоде (рис. 4).

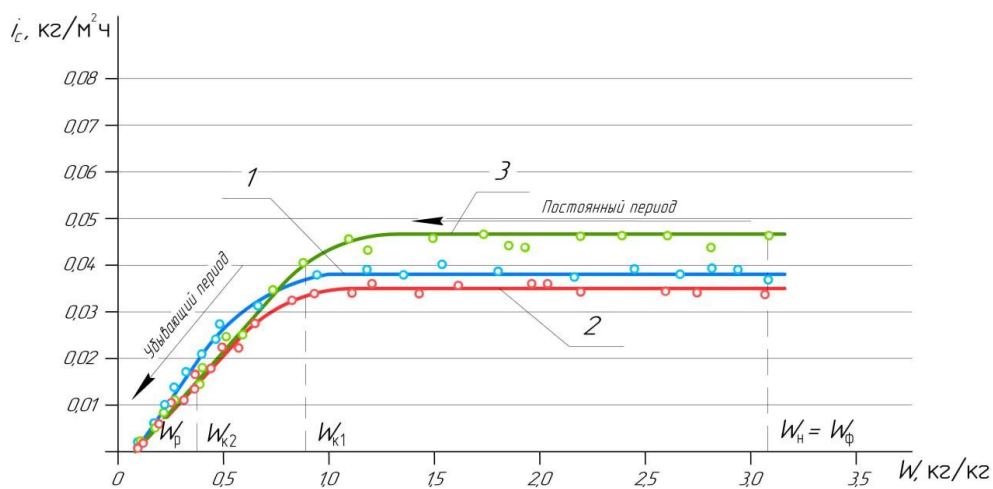


Рисунок 4 – Кривые интенсивности сушки кускового торфа (переходный торф, $R_T = 35\%$) в зависимости от концентрации ЭГС: 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%

На начальном этапе сушки на поверхности образуется зона с пониженным W , а в центральной зоне куска W будет выше. Поток жидкой влаги направлен по системе капилляров из центральной зоны для ликвидации ее дефицита на поверхности. При этом скорости внешнего $I_{исп}$ и внутреннего $I_{вн.пер}$ (рис. 5) влагопереноса будут примерно равны до тех пор, пока влаги в центральной зоне хватает для ликвидации ее дефицита в зоне испарения. Таким механизмом процесса влагопереноса обуславливается существование постоянного периода сушки (рис. 4) от начального W_n до первого критического $W_{к1}$ влагосодержаний. После того, как запаса влаги в центральной зоне куска не будет хватать для обеспечения непрерывной ее транспортировки в поверхностную зону испарения, последняя будет углубляться.

В идеальном варианте зона испарения будет расширяться вплоть до центральной части формованного торфа. Скорость внутреннего влагопереноса при этом будет снижаться ($I_{вн.пер} < I_{исп}$), а во влаготокке начнет пре-

обладать перенос в виде пара. На кривой интенсивности сушки эта часть убывающего периода продолжается от $W_{кр1}$ до второго критического влагосодержания $W_{кр2}$. И, наконец от $W_{кр2}$ до равновесного влагосодержания W_p перенос осуществляется исключительно в виде пара.

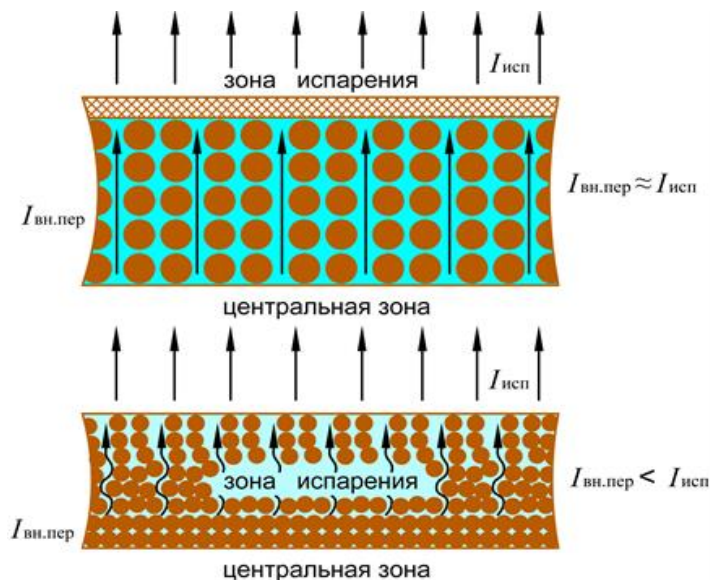


Рисунок 5 – Схема процесса сушки кускового торфа

Анализ прочности в двух важных для реализации технологии точках, характеризующих равновесное $W_p = 0,3$ кг/кг и уборочное $W_{уб} = 0,7$ кг/кг (табл. 1) влагосодержания показал, что для верхового торфа с низкой R_T отрицательное влияние добавок особенно заметно в зоне уборочного влагосодержания.

Таблица 1 – Зависимость прочности при сушке экспериментальных образцов от концентрации ЭГС

Характеристика торфа	Концентрация добавки, %	Прочность, МПа			
		$W_p = 0,3$ кг/кг		$W_{уб} = 0,7$ кг/кг	
		изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
Верховой, $R_T = 5...10$ %	0	0,33	0,71	0,26	0,48
	2	0,30	0,37	0,23	0,27
	4	0,35	0,48	0,26	0,33
Переходный, $R_T = 35$ %	0	1,26	3,15	0,61	1,56
	2	1,05	2,38	0,50	1,43
	4	0,71	2,42	0,37	1,09

В зависимости от концентрации ЭГС снижается только прочность на сжатие на 32...48 % при W_p и на 31...44 % при $W_{уб}$. То есть, снижение примерно одинаково, причем выявленных закономерностей от величины концентрации добавки здесь не отмечается. Испытание образцов на изгиб изменений не выявило. У переходного торфа с высокой R_T отмечается от-

рицательное влияние добавок во всех исследуемых точках. При W_p снижение прочности составляет 19...47 % при изгибе и 23...24 % при сжатии, а при W_{yb} – 23...44 % при изгибе и 8...30 % при сжатии. В отличие от предыдущего торфа отмечается явная тенденция зависимости прочности от концентрации добавки (рис. 6). Абсолютная величина снижения прочности больше у торфа с высокой R_T .

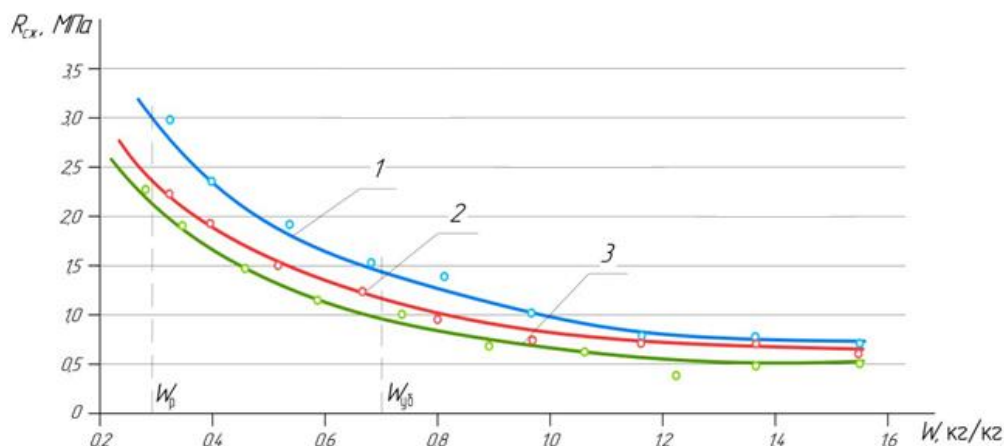


Рисунок 6 – Зависимость прочности на сжатие ($R_{сж}$) от влагосодержания (W) контрольного образца формованного кускового торфа (1) (переходный торф, $R_T = 35\%$) и с ГМД ЭГС с концентрациями 2 % (2) и 4 % (3)

Анализ зависимости $\ln R = f(W)$ образцов показывает адекватность модели *С.С. Корчунова* и *А.Е. Афанасьева* (рис. 7, таблица 2) с определенными в диссертации коэффициентами структурообразования

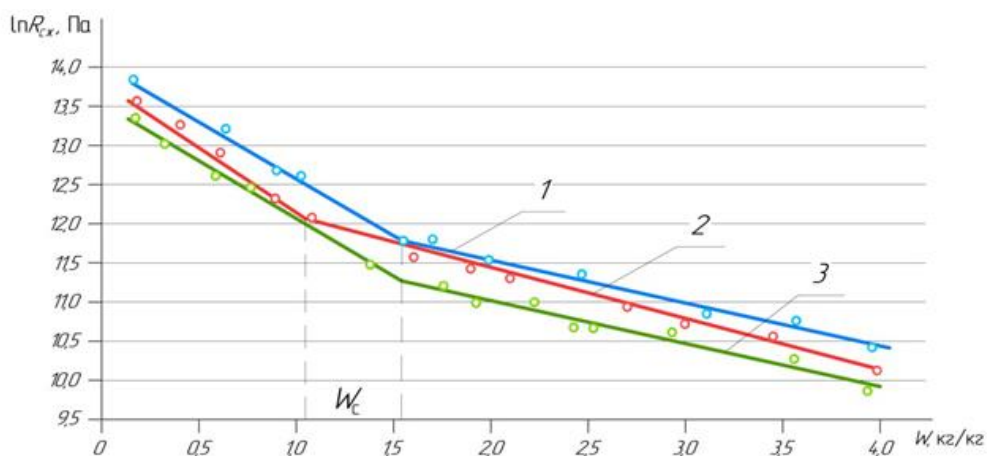


Рисунок 7 – Зависимость натурального логарифма прочности на сжатие ($R_{сж}$) от влагосодержания (W) контрольного образца формованного кускового торфа (1) (верховой торф, $R_T = 5...10\%$) и с ГМД ЭГС с концентрациями 2 % (2) и 4 % (3)

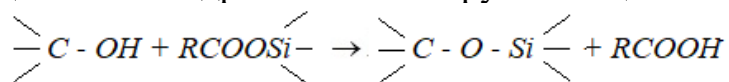
Эти коэффициенты необходимы для расчета изменения прочности в процессе сушки $R = R_{ow} \cdot \exp(-\lambda \cdot W)$, где R_{ow} – максимально возможная (теоретическая) прочность при влагосодержании образца равном нулю; λ – коэффициент упрочнения структуры, определяемый плотностью твердой фазы, плотностью сухого торфа, коэффициентом усадки и уплотнения.

Таблица 2 – Основные характеристики структурообразования при сушке экспериментальных образцов

Характеристика торфа	Концентрация добавки, %	R_{ow} , МПа	λ_1	λ_2	W_c , кг/кг	$W_{кр}$, кг/кг	K_{yc}
Верховой, $R_T = 5 \dots 10$ %	0	0,96	1,52	0,52	1,55	0,9	0,300
	2	0,47	1,02	0,61	1,09	1,02	0,154
	4	0,64	1,93	0,44	1,52	0,98	0,128
Переходный, $R_T = 35$ %	0	5,32	1,82	1,44	0,66	0,8	0,734
	2	3,47	1,44	0,23	0,72	0,85	0,853
	4	4,39	1,79	1,84	0,86	1,11	0,790

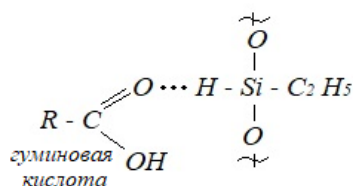
Зависимость $\ln R = f(W)$ представляет собой ломаную линию (рис. 7), разбиваемую сингулярной точкой W_c на два прямолинейных участка, соответствующим двум периодам структурообразования системы. В первом периоде, который начинается при формовочном влагосодержании W_ϕ , совпадающем с начальным W_n , основную роль в структурообразовании играют ван-дер-ваальсовы взаимодействия, энергия связи $E_{св}$ которых в торфяных системах составляет от 4 до 8 КДж/моль. При прочих равных условиях их энергия зависит от расстояния между центрами диполей. При удалении влаги и усадке расстояние между молекулами уменьшается, силы взаимодействия увеличиваются и, соответственно, возрастает прочность. По мере приближения к точке (зоне) W_c физический механизм формирования прочности начинает изменяться в сторону нарастающего количества межмолекулярных водородных связей. Поскольку в торфяной системе имеются функциональные группы (ОН, СООН и др.), то в них заложен потенциал к формированию между молекулами водородных взаимодействий с образованием димерных, тримерных и других подобных видов структур.

Механизм взаимодействия через молекулы воды наиболее вероятен, так как высушивать торф до нулевой влажности в полевых условиях не представляется возможным. Теоретически образование гидрофобных покрытий на низкоразложившихся структурных элементах торфа, основан на химическом взаимодействии активных функциональных групп кремнийорганического соединения с гидроксильными группами целлюлозы

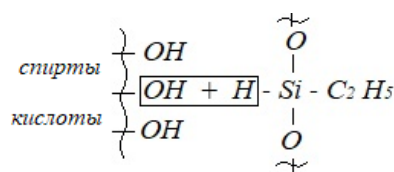


В реальных условиях задействованы молекулы сорбированной воды, по мере испарения которой взаимодействие целлюлозы с ЭГС приводит к образованию хемосорбированной пленки. Ориентация углеводородных радикалов в сторону, противоположную защищаемым структурным элементам обуславливает ее водоотталкивающие свойства. Дополнительный гидрофобный эффект возникает из-за участия в реакции гидроксильных групп целлюлозы – потенциальные центры сорбции. Заключительным звеном является связывание цепей целлюлозы молекулами кремнийорганического соединения – создание трехмерных структур. В этом случае не создается условий для увеличения расстояния между целлюлозными цепями и, следовательно, для проникновения между ними влаги.

Устойчивый хемосорбционный механизм связывания покрытия возможен только на полностью обезжиренных поверхностях. В торфяных системах (из-за битумных компонентов) он будет реализован частично с увеличением эффективности при снижении R_T . За первой стадией физической адсорбции молекул ЭГС за счет водородных связей с поверхностными гидроксильными группами гуминовых кислот с образованием мономолекулярного слоя

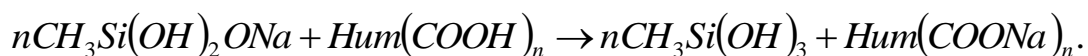


следует вторая стадия. Она протекает медленнее, и ее длительность составляет от десятков часов до нескольких дней после окончания процесса сушки. На этой стадии молекулы ЭГС присоединяются к поверхности за счет химической реакции с поверхностными гидроксильными группами



В реальном процессе в отличие от модельного (пропитка раствором гидрофобизатора), по мере удаления влаги при приближении к зоне испарения концентрация активного компонента на структурных элементах торфа будет возрастать, достигая максимальной концентрации на поверхности. Частичная потеря прочности происходит из-за включения в процесс структурообразования молекул ЭГС. Уменьшается количество водородных связей между макромолекулами за счет их частичной реализации на образование связей с гидрофобизатором. ЭГС является своего рода источником «дефектов структуры» в торфяной системе. Однако потери прочности не являются критичными по сравнению с положительным эффектом гидрофобизации.

При обработке торфомассы метилсиликонатом натрия одновременно с образованием гидрофобной пленки из нерастворимых гуминовых кислот торфа будут образовываться водорастворимые гуматы натрия по схеме:



В верховом торфе с высокой R_T при внесении добавки заметно увеличение прочности на протяжении всего диапазона изменения влажности (рис. 8).

Анализ зависимости верхового торфа с низкой R_T показывает тенденцию снижения прочности по мере увеличения концентрации добавки метилсиликоната натрия из-за низкого содержания гуминовых веществ. Образующиеся при использовании метилсиликоната натрия гуматы натрия являются стабилизаторами дисперсной системы (таблица 3).

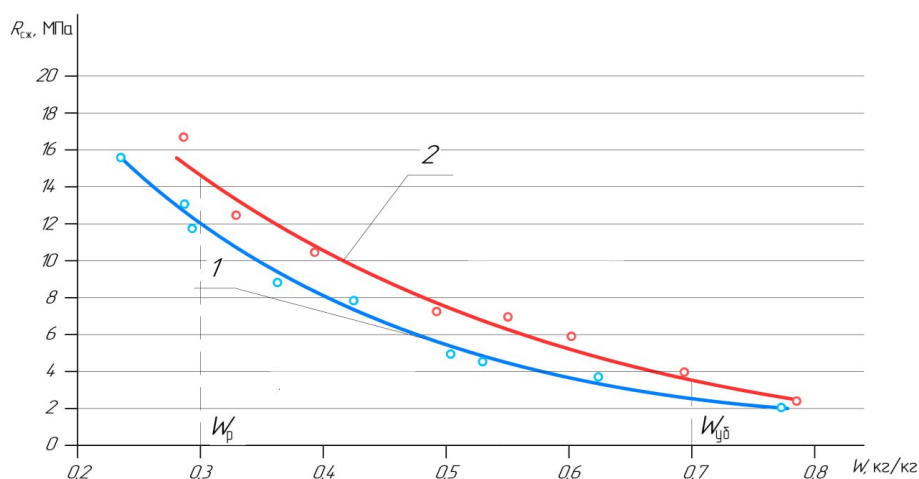


Рисунок 8 – Зависимость прочности на сжатие ($R_{сж}$) от влагосодержания (W) контрольного образца торфа (1) (верховой торф, $R_T = 30\%$) и с ГМД метилсиликоната натрия с концентрацией 1 % (2)

Таблица 3 – Зависимость прочности на сжатие при сушке экспериментальных образцов от концентрации метилсиликоната натрия

Характеристика торфа	Концентрация добавки, %	Прочность на сжатие, МПа	
		$W_p = 0,3$ кг/кг	$W_{гб} = 0,7$ кг/кг
Верховой, $R_T = 5...10\%$	0	2,97	0,91
	0,5	2,37	0,67
	1	1,89	0,64
	2	2,05	1,04
	3	2,11	0,69
Верховой, $R_T = 30\%$	0	12,73	2,74
	1	14,92	3,53

Прочность верхового торфа с высокой R_T при W_p выше в 4,3 раза по сравнению с верховым торфом с низкой R_T . Эта же закономерность

наблюдается и при $W_{уб}$, хотя здесь рост прочности несколько ниже – в 3,1 раза. То есть гуминовые вещества обеспечивают формирование более прочной пространственной структуры в верховом торфе с высокой R_T . Наличие в системе гумата щелочного металла позволяет усилить структурообразующий эффект при сушке за счет изменения химического состава дисперсионной среды, приводящий к повышению прочности образца на 17...29 %.

При смачивании поверхности верхового пушицево-сфагнового торфа наблюдается незначительное увеличение времени впитывания влаги. Это происходит по причине влияния механизма образования гидрофильных гуматов натрия, которое нивелирует гидрофобность полисилоксановых пленок. Увеличение концентрации этого вида гидрофобизатора водоотталкивающую способность не повышает. В то время как использование ЭГС (рис. 9) позволяет надежно изолировать пористую структуру торфа от влаги – наблюдается увеличение времени смачивания поверхности от 1,4 до 2,7 раза (в среднем – в 2 раза).

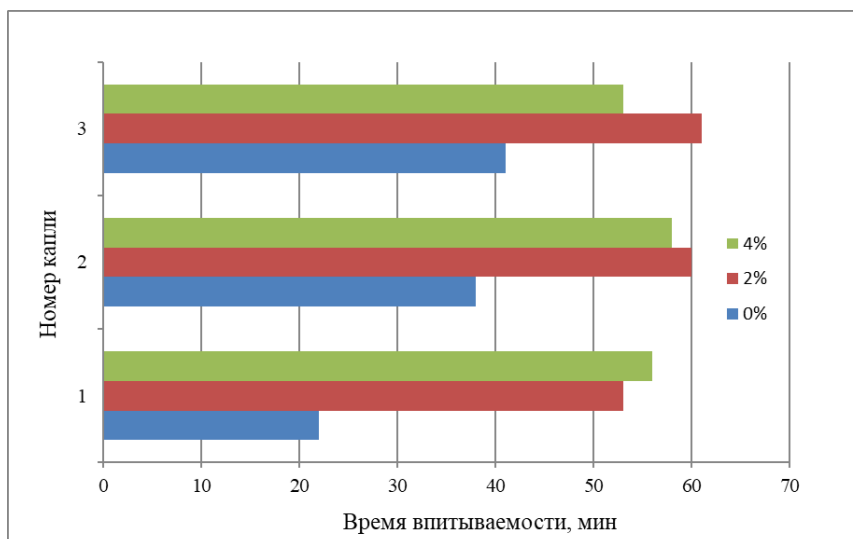


Рисунок 9 – Зависимость времени впитывания влаги контрольного и с ГМД ЭГС образцов переходного торфа

Максимальное водопоглощение было достигнуто верховым торфом и составило около 4 кг/кг, а переходного торфа чуть больше 2 кг/кг. Для торфа высокой R_T снижение величины максимального водопоглощения при использовании гидрофобизатора достигло около 30 %.

Снижение максимального водопоглощения в торфе стало возможным за счет изменения его нативной структуры действием гидрофобно-модифицирующей добавки ЭГС в **водной среде**, что установлено впервые.

В главе 4 «Технологические основы производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа» приведены общие принципы функционирования технологии производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях, выполнен срав-

нительный анализ продолжительности сушки кускового торфа при проведении гидрофобной модификации и сделана эскизная проработка стилочной машины с модулем дозирования и внесения гидрофобного модификатора в торфомассу (рис. 10).



Рисунок 10 – Структурная схема технологии производства кускового торфа в полевых условиях

Для реализации технологии производства предлагается адаптация разработанного принципа обработки торфомассы перед формованием при добыче кускового торфа экскаваторным способом с последующим использованием модернизированной стилочной машины. Технологический процесс осуществим на вновь подготовленных площадях для добычи кускового и фрезерного торфа, а также с использованием суходольной стилки.

В качестве основной была принята схема работы на технологических площадках для добычи фрезерного торфа. Работа осуществляется на двух смежных картах шириной брутто 20 м или 40 м, в зависимости от типа

торфяного месторождения и длиной 500 м (рис. 11). На одной карте производится экскавация залежи, а на второй – стилка торфяных кусков, с последующей их сушкой и уборкой. Исходя из расчета основных технологических параметров объема экскавируемого на карте торфа достаточно для выполнения 7...10 технологических циклов. В промежутке между технологическими циклами предусмотрена пневматическая уборка сухой крошки и мелочи размером менее 25 мм, параметры которой устанавливаются в соответствии с полученным патентом РФ на изобретение № 2760605.

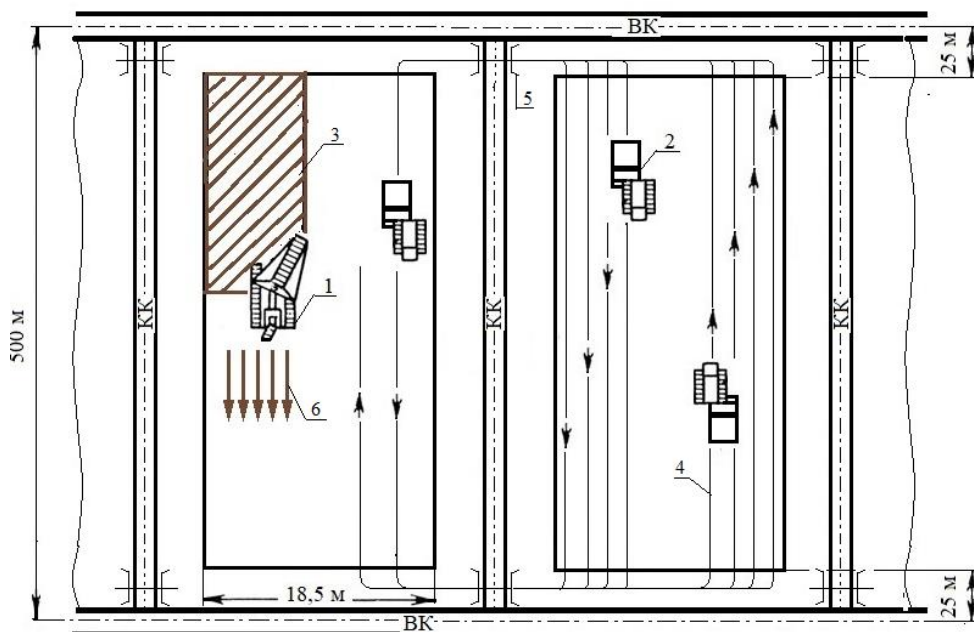


Рисунок 11 – Схема работы одноковшового экскаватора с комплектом модернизированных стилочных машин: 1 – экскаватор; 2 – стилочная машина; 3 – разработанная часть карты; 4 – траектория движения стилочной машины; 5 – мост-переезд через картовый канал; 6 – направление передвижения экскаватора

В работе был проведен сравнительный анализ продолжительности сушки контрольного расстила кускового торфа и гидрофобномодифицированных кусков начальным диаметром $d_n = 0,06$ и $0,08$ м и длиной $1,5...2d_n$. Применение гидрофобизации позволяет увеличить основные технологические показатели: цикловой $q_{ц}$ и сезонный $q_{сез}$ сборы по сравнению с действующей технологией за счет снижения W_n . Рост $q_{ц}$ составляет 25 %, а $q_{сез}$ более радикально (в 1,75...1,8 раза) за счет 40...45 % увеличения количества технологических циклов из-за снижения коэффициента поглощения осадков (в 2 раза) и отсутствия влагообмена с подстилающей залежью ($K_3 = 1$).

Для промышленной реализации технологического процесса необходима разработка стилочной машины, оборудованной модулем дозирования и внесения добавки в торфомассу. Внесение производится при механиче-

ской переработке (диспергирование и перемешивание) торфа. Результат процесса диспергирования зависит от интенсивности воздействия механизма на торф и прочности самого торфа. Низкая влага гидрофобно-модифицированного торфа будет обеспечивать высокую эффективность механического воздействия на него перерабатывающего механизма. При проведении лабораторных исследований вполне приемлемую условную удельную поверхность ($S_{\lambda} = 400 \dots 500 \text{ м}^2/\text{кг}$) обеспечивает шнековое перерабатывающее устройство. Поэтому его рекомендуется устанавливать на промышленный образец стилочной машины.

Для осуществления операций диспергирования, модифицирования, формования и стилки кускового торфа предлагается применять модернизированную стилочную машину. Она состоит из следующих агрегатов и узлов: трактора-тягача, бака с раствором, кузова (бункера) с подвижным дном и блоком, обеспечивающим перемешивание торфа с раствором, его переработку и формование кускового торфа. Блок для диспергирования и формования состоит из: корпуса перерабатывающего и формирующего шнека 1; корпуса перемешивающего механизма 2; рабочего органа перемешивающего механизма 3; шнека перерабатывающего и формирующего механизма 4; смотрового люка на переходном участке между перемешивающим и перерабатывающим механизмами 5; звездочки привода перемешивающего и перерабатывающего механизмов 6 (рис. 12).

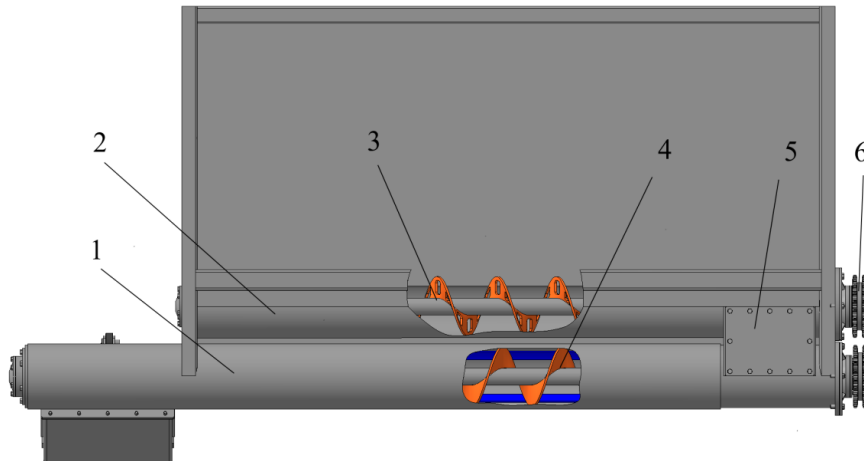


Рисунок 12 – Вид блока для перемешивания и формования кускового торфа с внутренней стороны

Эффективное перемешивание и диспергирование торфомассы с подаваемым гидрофобно-модифицирующим раствором осуществляется за счет использования двух ступеней. На первой ступени (рис. 12, поз. 3) производится предварительное перемешивание, на второй (рис. 12, поз. 4) дальнейшее перемешивание и механическая переработка осуществляется за счет пластического деформирования в объеме торфа с помощью шнека.

Создаваемое им давление позволяет сформовать кусковой торф в виде ленты и осуществить его выстилку на поле сушки.

Введение раствора непосредственно в перемешивающий механизм, который имеет герметичное основание позволяет производить достаточно точное дозирование и экономно использовать применяемые ингредиенты.

В результате сопоставления величины водоотталкивания, частичного снижения прочности при использовании ЭГС в совокупности с оценкой экономической эффективности технологии производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа установлена рекомендованная концентрация модификатора равная 2 %.

В приложениях приведены сводные данные экспериментальных исследований и расчет технико-экономических показателей работы оборудования по производству гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях экскаваторным способом и другие информационные материалы, позволяющие оценить качество диссертационных исследований.

Рекомендации и дальнейшие перспективы разработки темы заключаются в необходимости расширения спектра используемых гидрофобно-модифицирующих добавок совместимых с конкретным видом торфа для формирования на этапе добычи требуемых физико-химических характеристик композиционного сырья для глубокой переработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации решена научная задача, имеющая значение для развития знаний в области создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях, соответствующая п. 1 паспорта научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины, заключающаяся в геотехнологическом обосновании производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях с решением ряда актуальных научно-практических задач по изучению влияния кремнийорганических добавок на его качественные характеристики и основные технологические показатели, способные повысить качество торфяной формованной продукции.

Основные выводы, научные решения и практические результаты заключаются в следующем.

1. Снижение начального влагосодержания в технологической операции формования торфомассы при производстве кускового торфа с добавками ЭГС обусловлено увеличением подвижности элементов структуры в граничных слоях системы «торф – пленка ЭГС – вода» фиксируемых за счет водородных связей.

2. Рост прочности кускового торфа при использовании добавок метилсиликоната натрия связан с образованием водорастворимых гуматов

натрия и распределением их в пространстве между критическими элементами структуры, обеспечивающими их взаимодействие посредством большего количества межмолекулярных связей.

3. Обработка структуры торфа перед формованием ЭГС (2 масс. %) увеличивает время смачивания его поверхности в 1,4...2,7 раза, что снижает коэффициент поглощения атмосферных осадков в два раза, объемное водопоглощение на 30 % и предотвращает влагообмен с залежью.

4. Использование метода гидрофобной модификации торфомассы увеличивает цикловой сбор на 25% и количество технологических циклов на 40...45 %, что в конечном итоге приводит к росту расчетного сезонного сбора кускового торфа в 1,75...1,8 раза по сравнению с действующей технологией его добычи.

5. Разработана принципиальная схема устройства модернизированной стилочной машины, с узлами позволяющими выполнять несколько функций – хранения, дозирования и внесения модифицирующей эмульсии в торфомассу – в технологических операциях по формованию и стилке кускового торфа.

6. Обоснована новая схема работы одноковшового экскаватора с комплектом модернизированных стилочных машин, позволяющая использовать для производства кускового торфа участки, подготовленные для добычи фрезерного торфа, заключающаяся в том, что экскавация торфяного сырья, последующее формование и стилка кусков осуществляется на двух смежных картах с периодической ротацией.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, индексируемых в базах WoS и Scopus

1. Мисников О.С., **Купорова А.В.** Технологические основы добычи гидрофобно-модифицированного кускового торфа // Горный журнал. 2022, № 12. С. 34–39.
2. **Kuporova A.**, Belyakov V. Peat Extraction from Lake Sediments in the Northern Districts, the Sakha (Yakutia) Republic// E3S Web of Conferences, 2021. Vol. 278. P. 01006.
3. **Kuporova A.**, Belyakov V. Influence of Organosilicon Additives on Strength of Sod Peat // E3S Web of Conferences. Vth International Innovative Mining Symposium, 2020. P. 01008.
4. **Kuporova A.**, Belyakov V. Application of Organosilicon Compounds for Improving Moulded Peat Quality// E3S Web of Conferences. IV-th International Innovative Mining Symposium, 2019. P. 01005.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК России

5. **Купорова А.В.** Процессы структурообразования в технологии добычи кускового торфа // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2022. № 4 (16). С. 25–35.
6. **Купорова А.В.,** Пухова О.В. Водно-технические свойства торфяного топлива с гидрофобной добавкой // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2018. № 2. С. 201–207.
7. Панов В.В., Мисников О.С., **Купорова А.В.** Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2017. № 5. С. 205–217.
8. **Купорова А.В.,** Болтушкин А.Н. Использование отходов нефтепереработки для повышения качества формованного торфа // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2015. № 5. С. 131–134.

Публикации в изданиях, индексируемых в РИНЦ

9. Misnikov O., Yablonev A., **Kuporova A.** Theories of Peat Systems Structure Formation and Prospects for their Practical Use in the Production of Molded Fuel // AIP Conference Proceedings «Modern Approaches in Engineering and Natural Sciences», 2023. Vol. 2526. P. 040003.
10. Мисников О.С., Фомин К.В., **Купорова А.В.** Принципиальная схема стилочной машины для технологии добычи гидрофобно-модифицированного кускового торфа // Социально-эконом. и эколог. проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТулГУ, 2022. С. 11–17.
11. Мисников О.С., **Купорова А.В.** Перспективы промышленной реализации метода гидрофобной модификации минеральных дисперсных материалов продуктами переработки торфа // Труды Инсторфа, 2021. № 23 (76). С. 18–24.
12. Гамаюнов С.Н., **Купорова А.В.** Физические процессы упрочнения формованного торфа // В сб.: Болота и биосфера. Матер. Всерос. конф. с междунар. участием X школы молодых ученых, 2018. С. 187–193.
13. Гамаюнов С.Н., **Купорова А.В.** Классификация способов и технологических схем производства торфяной продукции в полевых условиях // В сб.: Болота и биосфера. Матер. Всерос. конф. с междунар. участием X школы молодых ученых, 2018. С. 179–186.
14. Джафаров Д.Т., **Купорова А.В.** Исследование степени физико-механической переработки торфяного сырья // Сборник научных трудов. Тверь, 2017. С. 438–442.
15. Беляков В.А., **Купорова А.В.,** Борисенкова Е.И. Влияние модификатора на процесс формования торфяной массы // Социально-эконом. и эколог. проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТулГУ, 2017. С. 118–121.

16. Болтушкин А.Н., Беляков В.А., **Купорова А.В.** Композиционное топливо на основе торфа // Социально-эконом. и эколог. проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТулГУ, 2016. С. 204–210.
17. **Купорова А.В.**, Борисенкова Е.И. Влияние кремнийорганических соединений на свойства формованной торфяной продукции// Социально-эконом. и эколог. проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТулГУ, 2016. С. 52–59.
18. **Купорова А.В.** Применение кремнийорганических соединений для повышения качества формованного торфа // Саморазвивающаяся среда технического вуза: науч. исследования и экспер. разработки. Тверь. 2016. С. 150–156.

Патент РФ на изобретение

19. Пат. РФ № 2760605 МПК E21C 49/00 Пневматическая лабораторная установка для исследования скорости всасывания торфяной крошки. Заявка № 2020143755 заявл. 28.12.2020//Яблонев А.Л., Щербакова Д.М., Гусева А.М., **Купорова А.В.**: заявитель ФГБОУ ВО ТвГТУ