

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



*Купорова Александра Владимировна*

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА  
ГИДРОФОБНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО КУСКОВОГО  
ТОРФА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Специальность

2.8.8. Геотехнология, горные машины (технические науки)

**Диссертация**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**научный руководитель - доктор  
технических наук, доцент  
О.С. Мисников**

**Тверь, 2023**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ГИДРОФОБНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФОРМОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТОРФА.....	10
1.1. Виды формованного твердого топлива на основе торфа и особенности его структурообразования.....	10
1.2. Анализ известных методов химического модифицирования структуры торфяных систем .....	30
1.3. Традиционные способы гидрофобизации и опыт их применения в торфоперерабатывающих технологиях .....	38
Выводы по главе 1.....	47
2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	49
2.1. Обоснование выбора торфяного сырья и гидрофобизатора.....	49
2.2. Методика получения экспериментальных образцов гидрофобно - модифицированного кускового торфа .....	55
2.3. Комплексная методика исследования процесса сушки и структурообразования кускового торфа .....	57
2.4. Методика определения прочности формованного торфа.....	61
2.5. Методика исследования водопогложительных и водоотталкивающих характеристик образцов торфа .....	69
2.6. Дополненная методика по расчету продолжительности сушки гидрофобно-модифицированного кускового торфа .....	72
Выводы по главе 2.....	79
3. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНОЙ МОДИФИКАЦИИ НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СУШКЕ И НАМОКАНИИ КУСКОВОГО ТОРФА .....	80

3.1. Исследование процессов сушки гидрофобно-модифицированного кускового торфа .....	80
3.2. Исследование процессов структурообразования гидрофобно-модифицированного кускового торфа .....	86
3.3. Исследование водно-физических свойств гидрофобно-модифицированного кускового торфа .....	106
Выводы по главе 3.....	121
4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОФОБНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО КУСКОВОГО ТОРФА .....	123
4.1. Общие принципы функционирования технологии производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях.....	123
4.2. Сравнительный анализ продолжительности сушки кускового торфа при проведении гидрофобной модификации .....	132
4.3. Эскизная проработка стилочной машины с модулем дозирования и внесения гидрофобного модификатора в торфомассу .....	139
Выводы по главе 4.....	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	148
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	176
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	180
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	184
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	186
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	187
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	203

## ВВЕДЕНИЕ

**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 [142]. 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 [86, 149]. 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 [226, 229], гипс [228], огнетушащий порошок [77], порошкообразные бутадиен-нитрильные каучуки [230] и щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси [41].

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).

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 в 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 механизмом 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 формирования 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 ее 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

продукции и способам применения модификатора; методов исследования процесса сушки и структурообразования кускового торфа; определения прочности образцов при испытании на сжатие и изгиб; исследования их водопоглонительных 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 формирования 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 использования гидрофобно-модифицированного кускового торфа – коммунально-бытовое топливо и сырье для глубокой термохимической переработки с получением 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 наименований, изложена на 209 страницах, включая 8 таблиц, 56 рисунков и 6 приложений на 35 страницах.

# 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ГИДРОФОБНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФОРМОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТОРФА

## 1.1. Виды формованного твердого топлива на основе торфа и особенности его структурообразования

В истории научно-технического развития торфяной отрасли горного дела кусковой торф (*рисунок 1.1*) определялся как формованное твердое бытовое топливо, применяемое в энергетике и коммунально-бытовом секторе. Однако в настоящее время спектр направлений использования кускового торфа значительно расширился от природных сорбционных материалов до сырья (полуфабриката) для глубокой био- и термохимической переработки. Метод получения кускового торфа представляет собой экструзионное формование (продавливание через формующую насадку) влажной пластичной торфяной массы с последующей сушкой до уборочной влажности (35...45 %) в полевых условиях [160].



Рисунок 1.1 - Фото производимого в полевых условиях кускового торфа

Технологический процесс производства кускового торфа включает в себя выполнение следующих операций:

- экскавация торфомассы из залежи при помощи различных типов ковшей, фрез (винтовая, дисковая) или цепного бара;
- механическое диспергирование и перемешивание извлеченного торфа с целью получения пластичной торфомассы, состоящей из частиц оптимального фракционного состава и воды;
- формование кусков методом выдавливания под давлением через формующие насадки – мундштуки (экструзия);
- стилка кусков на поле сушки;
- сушка, предусматривающая выполнение двух или трех механических операций (ворочка) для интенсификации процесса удаления влаги;
- подготовка к уборке (формирование валков)<sup>1</sup>;
- уборка высушенного торфа;
- укладка готовой продукции в полевые штабеля, где он накапливается и хранится до реализации (штабелирование) [115].

По сравнению с фрезерным способом, производство кускового торфа обладает рядом преимуществ:

- меньшая зависимость от климатических условий, это позволяет получать качественную продукцию и хорошие сборы при сравнительно неблагоприятных условиях добычи (экскавация и формование до 10 мм, остальные технологические операции – до 5 мм осадков);
- продолжение сушки кускового торфа после уборки в штабелях за счет их **б**ольшей пористости (возможность сушки в полевых условиях до влажности 35 %);
- практическое отсутствие саморазогревания кускового торфа в штабелях, что исключает изменение химического состава

---

<sup>1</sup> В некоторых случаях валкование может не проводиться, тогда уборка осуществляется из торфяного растила.

органического вещества при хранении (высококачественное сырье для химической промышленности);

- более высокая (в 1,3...1,5 раз) насыпная плотность, что позволяет значительно снизить транспортные расходы при доставке кускового торфа потребителю;
- высокие значения цикловых сборов (примерно в 5 раз), что позволяет вести добычу на сравнительно небольших площадях торфяных месторождений;
- увеличенная массовая и объемная теплотворная способность;
- благоприятные условия с точки зрения охраны труда (невысокие скорости передвижения технологических машин, отсутствие пыли и вибрации в кабинах тракторов и т. п.);
- меньшие потери при хранении [115].

Отрицательные аспекты известных технологий производства кускового торфа:

- более высокая начальная влажность  $\sim 82...88\%$ , что соответствует содержанию 4,6...7,3 кг влаги на один килограмм сухого вещества (в фрезерном торфе этот показатель равен 75...79 %);
- значительные энергетические затраты на механическое диспергирование торфомассы;
- использование достаточно сложного технологического оборудования с низкой производительностью;
- при экскаваторном способе наличие карьеров на полях добычи [115].

В настоящее время кусковой торф производится двумя основными способами<sup>2</sup>: экскаваторным и фрезформовочным, реализуемыми в полевых условиях с естественной сушкой с использованием солнечной энергии.

---

<sup>2</sup> Резной способ добычи также можно отнести к кусковому, однако он имеет свои особенности, связанные с наличием (сохранением) в кусках нативной структуры торфяной залежи.

Искусственная сушка применяется только в заводских условиях при производстве формованного твердого топлива более высокого качества. К такому топливу относятся полубрикеты<sup>3</sup>, брикеты (рисунк 1.2), термобрикеты и пеллеты, получаемые под высоким давлением в брикетных (или пеллетных) прессах [115]. В качестве сырья в таких технологиях, как правило, используется фрезерный торф с влажностью ~ 35...45 %, который в специальных сушильных установках высушивается до влажности 10...16 %.

Технологический процесс брикетирования и (или) пеллетирования<sup>4</sup> торфа состоит из последующих стадий:

- бункерования торфа (накопление в специальных емкостях в количестве, достаточном для бесперебойной работы технологической линии);
- механической подготовки торфа (дробление и разделение по классам крупности);
- искусственной сушки торфа в сушилках различных типов (пневмопароводяная, паровая трубчатая, пневмогазовая и т. п.) [134];
- прессования торфа;
- транспортирование торфяных брикетов на склад;
- хранение торфяных брикетов (необходимость в складах вызвана тем, что выработка брикетов происходит непрерывно, погрузка периодически [160].

К достоинствам этого вида формованного твердого топлива по сравнению с кусковым торфом можно отнести следующее:

- круглогодичное производство, минимальная зависимость от погодных условий (связана с добычей топливного фрезерного торфа);

---

<sup>3</sup> Полубрикеты формируются при влажности около 30...35 %, поэтому в ряде случаев возможно их производство и в полевых условиях с использованием мобильных прессующих установок.

<sup>4</sup> Принципиального отличия в процессах брикетирования и пеллетирования нет. Отличие заключается только в форме и размерах готовой продукции.

- более высокая прочность и плотность (что позволяет значительно снижать транспортные расходы);
- теплотворная способность около 16,5...18,5 МДж/кг (примерно в 1,5 раза выше, чем у кускового торфа);
- более удобные форма и размер для сжигания в топочных устройствах колосникового типа.



**Рисунок 1.2** - Фото торфяных брикетов различных производителей (РФ, Беларусь, Ирландия, Германия)

Однако брикетированное в заводских условиях твердое топливо имеет серьезный недостаток – большие затраты энергии на искусственную сушку и формование [160]. В этой связи, при условии снижения зависимости от погодных факторов при производстве, кусковой торф может составить серьезную конкуренцию брикетированному топливу, или, что более вероятно дополнять потребности регионов в местном топливе. Гидрофобная модификация торфяного сырья будет вносить изменение в процесс структурообразования при сушке формованного кускового торфа [94, 231].

В торфяных брикетах прочность обеспечивается за счет межмолекулярных взаимодействий, возникающих между элементами структуры при больших давлениях (искусственное создание условий, при которых частицы сближаются до расстояний, на которых действуют силы Ван-дер-Ваальса и, частично, водородные связи) [94, 231]. В отличие от них,

так называемое коагуляционное структурообразование в пластичной торфомассе, происходит посредством самопроизвольно протекающих процессов сцепления частиц (агрегатов, ассоциатов, макромолекул) при усадке [19]. При этом возникают коагуляционные структуры. Они образуются за счет сцепления частиц, в первую очередь, ван-дер-ваальсовыми силами в пространственные сетки, представляющие собой рыхлые каркасы из элементов структуры [94, 231]. Первоначально при формировании пластичной торфомассы (диспергированный торф и вода) частицы контактируют между собой через тонкие прослойки дисперсионной среды (воды). В дальнейшем при сушке и усадке частиц сближаются друг с другом, преодолевают энергетический барьер и попадают в зону действия водородных связей. В торфе также могут действовать электростатические силы отталкивания, которые возникают из-за образования двойного адсорбционного слоя. Для их преодоления также необходима энергия, возникающая в процессе усадки. В формованной торфомассе при сушке создается основное условие для возникновения усадочных процессов – «структурирующая» роль воды и отсутствие «жесткой» структуры материала [116].

Фундаментальные исследования по изучению сложного механизма процессов структурообразования в торфяных и сапропелевых системах проводились с начала 60-х годов XX века научной школой *И.И. Лиштвана* [2, 46–48, 101–106]. В них были выделены понятия макро- и микроструктурного уровня. Микроструктура состоит из связанных между собой высокодисперсных частиц – ассоциатов и агрегатов, образованных из продуктов биохимического распада растительной биомассы болот. Ассоциаты образуются из макромолекул посредством химических, молекулярных и водородных связей, имеют гелеобразную структуру и зависят от степени биохимической деструкции биомассы и количественного и качественного состава обменных катионов [94, 231]. Агрегаты образуются из объединений ассоциатов макромолекул. Агрегаты органического вещества

торфа крайне неустойчивы. На их размер и особенности упаковки оказывает влияние влажность (особенно в конкретных локальных зонах), концентрации сухого вещества в объеме влажного материала (плотность скелета), наличие обменных катионов и других факторов. В свою очередь макроструктура представлена грубодисперсной частью органического вещества торфа. Ее основу составляют неразложившиеся остатки растений-торфообразователей, доступные для идентификации отдельные клетки и их объединения [94, 231].

Количественное и качественное соотношение макро- и микроструктур является определяющим в основных свойствах коагуляционных торфяных систем. *И.И. Лиштва* также при определении макроструктуры для объяснения особенностей структурообразовательных процессов ввел понятие «структуры переплетения» [101]. Они, с одной стороны, придают торфяным системам упругость (например, при формовании кускового торфа), но, с другой стороны, при критических деформациях необратимо разрушаются. Микроструктурные элементы (комбинации молекул и макромолекул) обеспечивают высокую эластичность торфяных систем [94, 231]. Кусковой торф, получаемый резным способом, представляет собой, по сути, часть естественной, механически непереработанной торфяной залежи со своей структурой. Поэтому в нем деформационные явления при сушке проявляются достаточно слабо (в отличие от традиционного кускового торфа), поскольку в нем преобладают малодеформируемые и нетиксотропные структуры переплетения волокон от слаборазложившейся болотной флоры. Коагуляционные же структуры, состоящие из агрегатов, для резного торфа имеют второстепенное значение. По мере механического диспергирования торфомассы, увлажнения и (или) внесения модифицирующих компонентов, торфяная система переходит в жидкообразное состояние. В этом состоянии, роль коагуляционных структур становится преобладающей. При сушке (удалении влаги) из формованного торфа начинает увеличиваться количество фазовых контактов и торфяная система из жидкообразного постепенно переходит в твердообразное условно-



пластичное состояние [33, 148]. Таким образом, соответствующей нижней границы пластичности (75...83 %), торфяные системы из твердообразного состояния переходят в полутвердое, а затем в упругохрупкое с открытой пористостью [195]. Дискуссионными в данных исследованиях является роль химических связей в обеспечении структурообразования при сушке вязкопластичных торфяных систем [94, 231]. По всей вероятности, они не оказывают на него серьезного влияния, что следует из дальнейших работ по определению прочностных показателей торфяных коллоидных капиллярно-пористых тел.

В этой связи, показательными являются результаты исследований научной школы *А.Е. Афанасьева*, в которых была предпринята попытка систематизации знаний о преобразованиях дисперсной структуры торфяных систем в процессе сушки [14, 15]. В них основная роль в образовании структуры и, соответственно, обеспечении прочности, отводится межмолекулярным водородным взаимодействиям. В исследованиях, в первую очередь проводился анализ влияния на процессы структурообразования содержания влаги в системе [16], температуры [17], капиллярного давления, масштабного фактора, числа связей, прочности единичного контакта на протекание структурных изменений в торфяных капиллярно-пористых телах [19, 20–24]. В результате было установлено и научно обосновано наличие двух периодов в формировании структуры при удалении влаги из вязкопластичных торфяных систем в диапазоне от формовочной до равновесной влажности. Система осуществляет переход из жидкообразного состояния в твердообразное условно-пластичное в первом периоде структурообразования [94, 231]. А во втором – наблюдается временная стабилизация коагуляционной структуры и система переходит из вязкопластичного в твердообразное состояние.

В качестве физического обоснования существования двух периодов структурообразования *А.Е. Афанасьев* представил результаты, в которых первый период объясняется превалирующим действием между

структурными элементами связей Ван-дер-Ваальса, а во втором – межмолекулярных водородных связей, которые обладают более высокой энергией связи. Такой подход позволял объяснить факт увеличения прочностных характеристик формованного кускового торфа во втором периоде структурообразования [94, 231].

Зависимость прочности цилиндрических образцов торфа (модель кускового торфа) на одноосное сжатие от влагосодержания  $W$  и температуры  $T$  (по *А.Е. Афанасьеву*) определяется из соотношения [19]:

$$R = R_{от} \exp\left(\frac{E_0 - \alpha W}{R^* T}\right), \quad (1.1)$$

где  $R_{от}$  – исходная прочность торфа, когда влагосодержание при данной температуре снижает энергию активации процесса разрушения до нуля, Па;  $E_0$  – максимальная величина энергии активации при влагосодержании  $W = 0$ , Дж/моль;  $\alpha$  – удельная энергия активации процесса разрушения, Дж/моль;  $R^*$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура, К.

В дальнейшем, при расчете энергии активации процесса разрушения в коллоидных капиллярно-пористых торфяных системах была определена энергия связей, обеспечивающих прочность торфа в первом и втором периодах структурообразования (от 9,9 до 16,2 кДж/моль) [21].

В продолжении исследований по данному направлению, в своих работах начала XXI века *А.Е. Афанасьев* совместно с *О.С. Мисниковым* [26] сделали акцент на следующем. Торфяная система в состоянии полной влагоемкости находится в переувлажненном гетерогенном полидисперсном состоянии. Эта граничное состояние является начальным с точки зрения осуществления процесса обезвоживания (сушки), который, в зависимости от вида конечной продукции (полуфабриката), может осуществляться до конкретных величин конечной влажности, минимальная величина которой равняется нулю. Согласно классификации *М.П. Воларовича* и *Н.В. Чураева* [50, 183, 184] в торфяных системах существует четыре категории связи влаги с материалом с градацией по энергии связи: химически, физико-химически,

осмотически и механически связанная. После удаления определенной категории влаги высвобождающаяся энергия направляется на межструктурные взаимодействия в торфяной системе, которые приводят к ее упрочнению [94, 231]. То есть для нее при обезвоживании характерны закономерности поведения гетерогенной коллоидно-дисперсной системы с одновременным проявлением реологических свойств высокомолекулярных соединений [25]. Таким образом, в зависимости от содержания влаги система находится сначала в текучем (гидромасса), затем пластичном (торф-сырец), полутвердом и твердом состоянии. Этим состояниям соответствуют определенные параметры структуры с реологическими ( $\eta_0$  – пластическая вязкость,  $\Theta$  – предельное напряжение сдвига) и прочностными характеристиками материала ( $R$  – прочность на одноосное сжатие и изгиб).

Торфяная система может находиться в одной из четырех основных областей («a», «b», «c», «d»), в которой рассматривается особенность процесса структурообразования и выделяются конкретные обобщенные характеристики [25]. Области «a», «b» характеризуются пластической вязкостью (уравнение Шведова – Бингама) и предельным сопротивлением сдвигу, а области «c», «d» – разрушающей нагрузкой.

Дальнейшее развитие такого подхода во всем диапазоне влажностей позволило установить пропорциональность связи между  $\Theta$  и  $R$ :

$$R = K\Theta = R_{0T} \exp\left(\frac{E_0 - \alpha W}{R^*T}\right) = R_{0W} \exp\left(-\frac{\alpha W}{R^*T}\right) = R_{0W} \exp(-\lambda W), \quad (1.2)$$

где  $K = \frac{dR}{d\Theta}$  – угловой коэффициент зависимости  $R = f(\Theta_i)$ , характеризующий увеличение прочности при сушке торфа и изменении предельного сопротивления сдвигу на единицу [94, 231].

В результате *А.Е. Афанасьевым* была разработана модель [25]

$$\Theta_i = \Theta_{0W} \exp(-\lambda_{\Theta} W) = \Theta_{0T} \exp\left(\frac{E_0 - \alpha_{\Theta} W_i}{R^*T}\right), \quad (1.3)$$

которая адекватно описывает процесс при сушке в «мягком» режиме и позволяющая оценить основные характеристики структурообразования, равно как и энергию межмолекулярного взаимодействия  $E(W)_\Theta = E_0 - \alpha_\Theta W_i$ . Для этого достаточно измерить предельное напряжение сдвига при конкретном влагосодержании (влажности) и температуре. И дальше определить состояние материала (течение, пластичное, полутвердое и твердое), то есть упорядочить периоды структурообразования с представлением их в полулогарифмических координатах  $\ln \theta_i = f(W)$  с четырьмя периодами структурообразования. Тем не менее, предлагаемая методика отличалась достаточно большой трудоемкостью и сложностью, а также требовала применения высокоточного аналитического оборудования [94, 231].

В работах *С.Н. Гамаюнова*, которые проводились примерно в то же время, развивался принципиально другой подход, основанный на анализе зависимости прочности на одноосное сжатие от плотности сухого материала, в объеме влажного образца (плотность скелета торфяной системы). В нем торфяное коллоидно-капиллярное пористое тело представляется как совокупность монодисперсных (модельных) частиц. Они связаны между собой не равными в направлении осей координат силами (коагуляция). Поскольку, направленная по нормали к плоскости скалывания сила разрушения межчастичных связей, отнесенная к единице поверхности будет находиться в пропорциональной зависимости от произведения вероятностей разрыва этих связей в направлении осей координат, то [63, 94, 231]

$$R \sim (\alpha_x f_x \chi_x)(\alpha_y f_y \chi_y)(\alpha_z f_z \chi_z), \quad (1.4)$$

где  $\alpha_i$  – постоянные, зависящие от вида упаковки частиц,  $f_i$  – энергия связи одного контакта,  $\chi_i$  – количество контактов в направлении конкретной оси координат ( $i = x, y, z$ ).

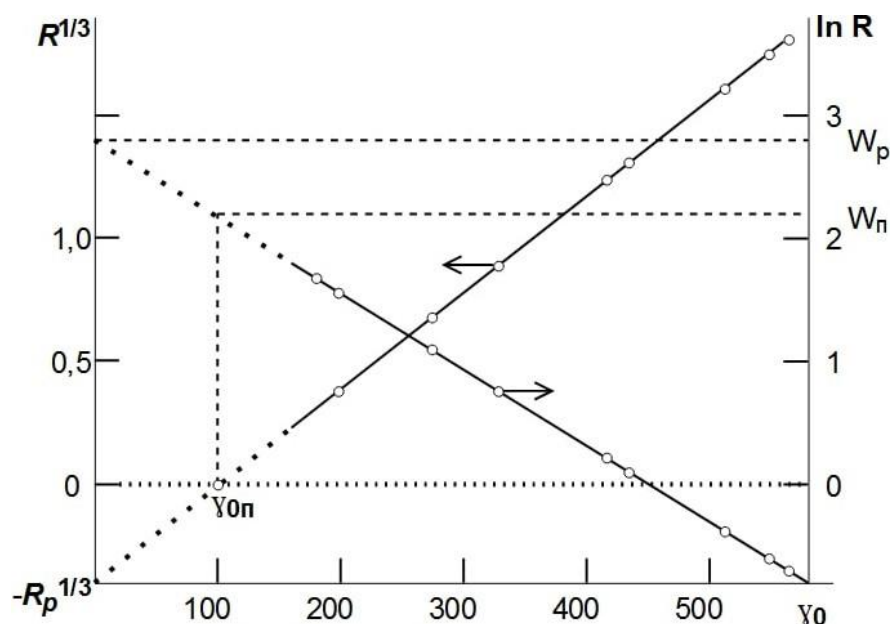
Допуская для изотропного материала в направлении осей координат равенство величин, входящих в уравнение (1.4), следует, что

$$R \sim (\alpha f \chi)^3. \quad (1.5)$$

Поскольку сумма единичных контактов, отнесенная к единице поверхности разрушения зависит от количества частиц, которое пропорционально массе сухого вещества в единице объема влажного материала (плотности скелета  $\gamma_0$ ), то и прочность пропорциональна этой плотности  $R \sim \gamma_0^3$  или  $R^{1/3} \sim \gamma_0$ . В окончательном виде [64]

$$R^{1/3} = a\gamma_0 + b, \quad (1.6)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, определяемые эмпирическим путем. Характерно, что зависимость (1.6) не проходит через начало координат (*рисунок 1.3*), а пересекает ось абсцисс в точке, соответствующей плотности скелета торфа  $\gamma_{0п}$  при его полной влагоемкости  $W_{п}$ . Ниже этой плотности прочность  $R$  будет иметь отрицательные значения. При условии  $\gamma_0 < \gamma_{0п}$  быстро сокращаются взаимодействия между отдельными структурными элементами, и торфяная система переходит в состояние суспензии, а имеющаяся ранее коагуляционная структура материала разрушается. Происходит своего рода «растворение» ассоциатов торфа в воде. Максимальное значение оно будет иметь при плотности скелета, стремящейся к нулю ( $\gamma_0 \rightarrow 0$ ). Причем коллоидным раствором это назвать нельзя, поскольку в системе будут присутствовать включения органического вещества торфа размеров больших чем диаметр коллоидных частиц. Между элементами структуры торфа практически полностью отсутствует межмолекулярное взаимодействие. По данным [64] численные значения свободной энергии при «растворении» торфа будут находиться в диапазоне 0,3...2,5 КДж/кг. Эти значения соответствуют пределам теплот растворения, характерных для высокомолекулярных материалов [94, 172, 231].



**Рисунок 1.3** - Зависимости изменения прочности  $R$ , МПа и влагосодержания  $W$  от плотности скелета  $\gamma_0$ , кг/м<sup>3</sup> кускового торфа (по С.Н. Гамаюнову)

Таким образом, если влагосодержание торфяной системы ниже, чем состояние полной влагоемкости в ней начинают образовываться структурные связи, которые приводят к повышению прочности: чем ниже влажность, тем выше прочностные показатели [67]. Они оцениваются по предельному сопротивлению сдвига и прочности на изгиб и (или) одноосное сжатие [94, 231].

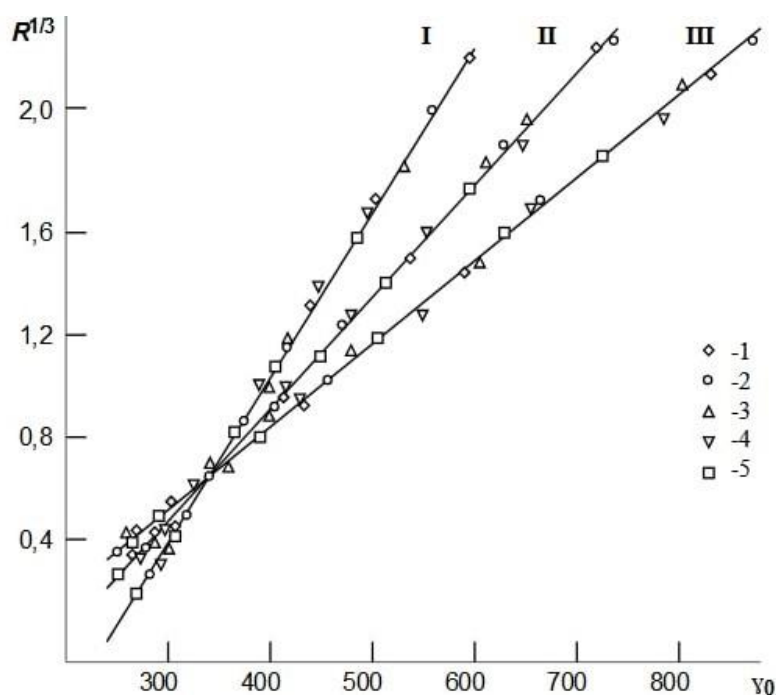
Более удобней для понимания и дальнейших расчетов записать уравнение (1.6) в виде [64]

$$R^{1/3} = \eta(\gamma_0 - \gamma_{0п}), \quad (1.7)$$

где  $\eta = \Delta(R^{1/3})/\Delta\gamma_0$  – угловой коэффициент в линейной зависимости  $R^{1/3} = f(\gamma_0)$ .

Важным выводом в данных исследованиях явилось, то, что угловые коэффициенты  $\eta$  зависимости (1.7) оставались постоянными для кусков торфа с различными исходными размерами (рисунок 1.4). По крайней мере, это относится к промышленно выпускаемой и перспективным видам формованной продукции на основе торфа (начальные диаметры  $d_n = 14, 20, 30, 40, 60$  мм и длина  $1,5d_n$ ).

Таким образом, текущему значению прочности структурированной торфяной системы во влажностном состоянии ниже полной влагоемкости соответствует конкретная плотность скелета. При дальнейшем уменьшении влажности  $\gamma_0$  увеличивается и растет число частиц торфа в единице объема образца. При этом одновременно возрастает число контактов и энергия (количественно и качественно<sup>5</sup>) взаимодействия между ними. Естественно, что для разрушения таких связей нужно затрачивать большую энергию. При определении величины прочности учитывается влияние масштабного фактора, поэтому размер образцов не влияет на величину угла наклона графиков [117], а зависит только от энергии взаимодействия между частицами торфа [94, 231].



**Рисунок 1.4** - Изменение прочности  $R$ , МПа кусков из верхового (I), переходного (II), низинного (III) торфа  $R_T = 20\%$  от плотности скелета  $\gamma_0$ ,  $\text{кг/м}^3$  с различным начальным диаметром  $d_n = 14$  (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 60 (5) мм [по С.Н. Гамаюнову]

<sup>5</sup> Здесь имеется в виду количественный рост энергии связи сил Ван-дер-Ваальса, которая обратно пропорциональна расстоянию в шестой степени между центрами молекул и качественному изменению вида связей, обеспечивающих структурообразование в системе (водородные взаимодействия).

Кроме прочего, связность макро- и микроскопических структур торфяной системы (при схожести ряда природных факторов) предопределяется и индивидуальными особенностями растений-торфообразователей, а также групповым химическим составом органического вещества и минеральных компонентов (в основном, привнесного характера), присутствующих в торфе.

В тоже время, при критическом увеличении содержания минеральных компонентов, зависимость кубического корня из прочности от плотности скелета будет отклоняться от линейного характера. Это отклонение тем больше, чем выше зольность материала, что, например, характерно для сапропелевых систем [116].

Комплексная оценка влияния минеральных компонентов на структурообразование в органоминеральных биогенных материалах (торф, торфяные композиции, сапрпель и т. п.) была выполнена в ряде работ *О.С. Мисникова* и коллег [26, 27, 118, 119], обобщенных в [120].

Основываясь на том, что содержание минеральных примесей в органоминеральных отложениях составляет до 70 % по отношению к общему количеству зольных компонентов, а также на том, что они представляют собой слабосвязанные с органической частью минеральные вещества [108, 109], легкоотделяемые простейшими физическими методами, *Мисников О.С.* предположил, что минеральная составляющая не оказывают существенного влияния на структурообразование органоминеральных систем. Причем это относится как к естественным, так и к искусственно создаваемым композиционным материалам. Фундаментальным свойством органических (торф, органический сапрпель) и минеральных глинистых материалов является то, что потенциал влаги в первых примерно на два порядка выше, чем во вторых [116]. Такая же закономерность соблюдается и при оценке величины полной влагоемкости:  $W_{\text{п}}$  в глине составляет около 0,5 кг/кг,



органическом сапропеле примерно 12 кг/кг, а торфе от 10 до 30 кг/кг (в зависимости от природных и технологических факторов).

Исходя из этого, *Мисниковым О.С.* был сделан вывод о том, что подавляющая часть из всей находящейся в системе массы воды в органоминеральных материалах связана с органическим веществом. В результате этого, энергия, затрачиваемая на структурные изменения в системе, зависит от количества функциональных групп *ОН*, *СООН* и др., обуславливающих наличие большого количества водородных связей в системе. Это, в принципе, не противоречит данным *И.И. Лиштвана*, *Н.И. Гамаюнова*, *А.Е. Афанасьева*, *С.Н. Гамаюнова*, но позволяет обосновать резкое («скачкообразное») увеличение энергии активации процесса разрушения системы «торф – вода» в точке (области), соответствующей влажности органического вещества 50 % [28, 66] (влажностное содержание органического вещества  $W_o = 1$  кг/кг). Ранее, в работах *А.Е. Афанасьева* изменение (увеличение) энергии активации процесса разрушения коллоидных капиллярно-пористых тел в зависимости от влагосодержания описывалось линейной моделью [94, 231]. В этой связи необходимо отметить, что в работах *О.В. Пуховой* [29–31, 51] также был установлен факт скачкообразного роста энергии активации в торфяных системах, однако величина ее приращения ( $\Delta E$ ) была относительно небольшой.

Для природных органоминеральных систем (сапропелей), в отличие от торфа, из-за большего диапазона содержания минеральных компонентов ( $A^c = 0...85\%$ ) приращение  $\Delta E$  более заметно, особенно для органических сапропелей. Например, в работе [32] для органического сапропеля  $\Delta E$  достигла 4,2 кДж/моль. Это несколько меньше, чем расчетное максимально возможное –  $\Delta E = 8$  кДж/моль. Увеличение зольности сапропелей приводит к уменьшению  $\Delta E$ , и смещению границы перехода от первого ко второму периоду структурообразования в область более низких влагосодержаний ( $W_c \rightarrow 0$ ). То есть, с ростом зольности системы, при формировании

структуры происходит изменение функций наполнителя и матрицы. Но в тоже время, для сапропелей значения  $E(W)$  были также как и в торфе сопоставимы с энергией межмолекулярных водородных связей. Таким образом, при обезвоживании системы до значения  $W_c$  значение энергии активации процесса разрушения сопоставимо с энергией межмолекулярных взаимодействий Ван-дер-Ваальса, а при меньших  $W_c$  – с энергией межмолекулярных водородных взаимодействий [94, 231].

Формирование структурных взаимодействий в другом виде формованного твердого топлива – торфяных брикетах – торфяных системах, получаемых методом сухого прессования торфяной сушенки<sup>6</sup>, имеет несколько другой механизм. В настоящее время существуют несколько гипотез и теорий формирования прочности торфяных брикетов.

В первую очередь, это битумная гипотеза, которая объясняет сцепление торфяных<sup>7</sup> частиц в брикете за счет битумов и термобитумов. Гуминово-кислотная гипотеза отводила главную роль при брикетировании свободным гуминовым кислотам, отдавая воде лишь второстепенную роль. В противовес ей, в капиллярной гипотезе решающим фактором образования сил сцепления между частицами в брикете является вода, находящаяся в капиллярах и обеспечивающая прочность за счет сил поверхностного натяжения. Коллоидная гипотеза объясняла взаимосвязь частиц прессуемого материала за счет сил физико-химического взаимодействия коллоидных частиц с участием гуминовых кислот. Вода, согласно этой гипотезы, выполняет вспомогательную роль своеобразной «смазки» между взаимодействующими частицами.

В дальнейшем, применительно к торфяным системам были установлены недостатки этих гипотез, не позволяющие их использовать в

---

<sup>6</sup> Торфяная сушенка – термин, применяемый при промышленном производстве торфяных брикетов. Она представляет собой предварительно раздробленный и (или) классифицированный торф, высушенный до влажности 8...20 %.

<sup>7</sup> Авторы этой и других гипотез В. Шейтхауэр, И. Блум, К. Кегель, Г. Агде и др. применяли их при объяснении физики возникновения сцепления между частицами бурого угля.

полной мере для объяснения особенностей структурообразовательных процессов. В настоящее время наиболее используемой является молекулярная теория *В.М. Наумовича*, согласно которой основными связями в системе являются межмолекулярные (в первую очередь силы Ван-дер-Ваальса) взаимодействия. Принципиально, это тот же вид взаимодействий, однако механизм их реализации имеет свои особенности. Считается, что наиболее прочные связи возникают между активными центрами частиц торфа. Для создания таких контактных взаимодействий необходимо создавать высокое давление и производить предварительное измельчение (в идеальном случае – тонкодисперсный помол, с лимитированным минимальным размером частиц в соответствии с характеристиками технологического оборудования<sup>8</sup>) частиц материала. В этом случае, возникающие ван-дер-ваальсовы взаимодействия способствуют достижению брикетом значительных показателей прочности, приближающихся к теоретической [169]. В тоже время отмечается [80, 112], что роль межмолекулярных водородных связей в таких системах может быть минимальной. Это связано с тем, что энергия связи, «жесткость» и направленность водородных связей находятся в тесной зависимости. Поэтому отклонение величины угла между связями от оптимального ослабляет взаимодействие и повышает их гибкость («размягчает»). Снижение энергии взаимодействия связей приводит к ухудшению их пространственной фиксации, а искривление связей ослабляет и ухудшает их направленность. Более того, для возникновения водородной межмолекулярной связи, при прочих равных условиях, требуется предварительная активация и жесткая взаимная ориентация связываемых частиц. Например, из четырех максимально возможных для возникновения водородных связей между молекулами воды особые затруднения возникают при реализации первой, поскольку необходимо активизировать молекулу.

---

<sup>8</sup> Например – величиной допустимого зазора между стенкой формирующей матрицы и пуансоном пресса.

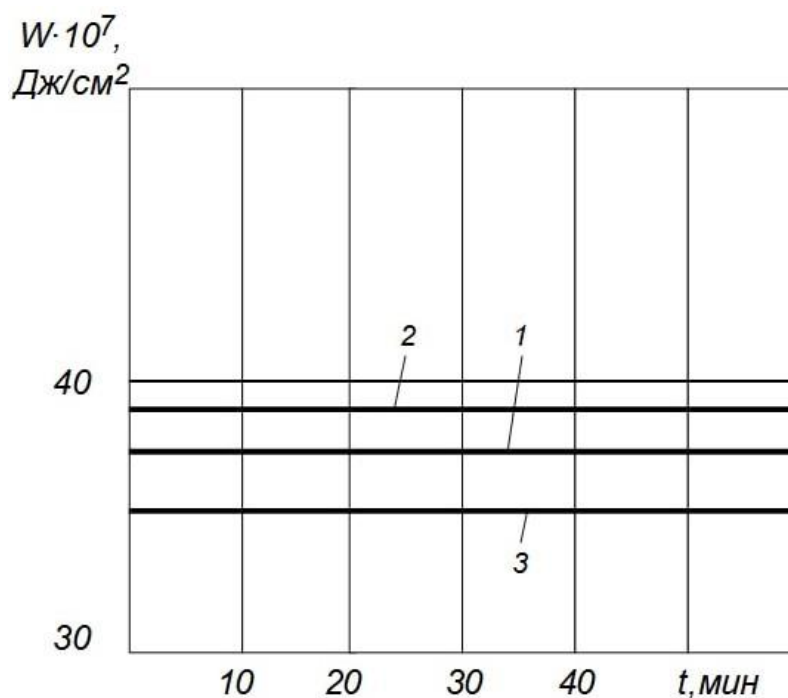
В дальнейшем следующие связи образуются гораздо легче, так как уже активирована молекула с одной водородной связью. Каждая активная молекула активизирует три соседние, поэтому структурирование воды, начавшись в одной случайной точке, распространяется по объему лавинообразно, подобно разветвленной цепной реакции [80, 152, 173, 185, 189].

Подобные закономерности проявляются и при структурообразовании торфяных систем, в особенности, в заключительном периоде структурообразования [116]. Это, в основном относится к структурообразованию в процессе сушки торфяных систем, находящихся в вязкопластичном состоянии (кусковой торф), когда происходит энергетически выгодная перестройка структуры, стремящаяся к максимально возможной реализации потенциальных водородных взаимодействий. Для прессованного предварительно высушенного торфа (торфяной брикет), эти закономерности носят лишь вспомогательный характер, поскольку в этом случае при образовании водородных взаимодействий основную роль играет вероятностный фактор – внешнее высокое давление при прессовании не способствует энергетически выгодному структурообразованию в системе.

Однако небольшое количество влаги позволяет увеличить прочность брикета за счет дополнительных контактов между частицами через молекулы воды. Экспериментальным доказательством роли межмолекулярных взаимодействий являются результаты исследований *В.М. Наумовича* [135]. Для этого он измерил энергию разрыва контактных поверхностей с применением метода скрещенных нитей, на которые был предварительно нанесен слой торфа определенной толщины и влажности. В результате было установлено, что при наличии в торфяной системе моносорбированной влаги, когда с активным центром соединена только одна молекула воды, удельная энергия взаимодействия частиц возрастает. При наличии полисорбционного слоя влаги цепочка молекул воды

удлиняется, прочность связи ослабевает, и удельная энергия уменьшается. В абсолютно сухом торфе она находится в промежуточном состоянии между моно- и полисорбционным взаимодействием (рисунки 1.4 и 1.5).

Поскольку процесс брикетирования, кроме собственно технологической операции прессования, связан с повышением температуры, упрочнение брикетов продолжается в течение суток после момента прессования и заканчивается при охлаждении до температуры окружающей среды уже на складе готовой продукции.



**Рисунок 1.5** - Зависимость удельной энергии  $W$  взаимодействия слоев торфяных частиц от времени  $t$  контакта при разной влажности материала. 1 – абсолютно сухой торф; 2 – количество влаги в торфа соответствует моносорбции; 3 – количество влаги в торфе соответствует ее полисорбированному состоянию

Таким образом, процесс брикетирования с применением искусственной сушки торфа является более энергоемким по сравнению с процессом формирования вязкопластичной торфомассы с последующей сушкой в полевых условиях. Кроме энергозатрат на сушку определяющим фактором являются также высокие энергетические затраты на структурообразование брикета (внешнее воздействие на структуру). В торфяном же куске энергетические затраты на структурообразование (после выхода торфяного куска из

формователя) отсутствуют. В этом случае происходит внутреннее воздействие на структуру по механизму, рассмотренному выше. Единственным существенным качественным преимуществом брикетирования является меньшая зависимость<sup>9</sup> от погодных условий. Одним из возможных методов снижения негативного влияния погодных факторов (прежде всего осадков) на технологию добычи кускового торфа является физико-химическая модификация структуры торфа гидрофобными добавками различных типов. Причем в этом случае гидрофобно-модифицированный кусковой торф может использоваться не только в качестве коммунально-бытового топлива, но и в качестве сырья (полуфабриката) для глубокой химической переработки, что значительно повышает экономическую эффективность разрабатываемых технологических решений.

## **1.2. Анализ известных методов химического модифицирования структуры торфяных систем**

Научно-исследовательские работы по использованию химического модифицирования структуры торфяных систем начали проводиться в 60...80-х годах прошлого века в Институте торфа академии наук БССР (ныне Институт природопользования НАНБ). Их актуальность была связана с решением прикладных задач по получению качественного (плотного и прочного) кускового торфа на сырьевой базе, представленной, в основном, крошащимися видами низинного торфа. Научной основой данных исследований являлись работы отечественной научной школы коллоидной химии [48, 60, 72, 78, 82, 85, 101, 103, 110, 111], физико-химической механики дисперсных систем [18, 35, 46, 63, 90, 102, 150, 163] и тепломассопереноса в органогенных материалах [3, 34, 61, 65, 91, 151, 174].

---

<sup>9</sup> О полном отсутствии зависимости от погодных условий речи не идет, поскольку исходным сырьем является фрезерный торф, который добывается также, как и кусковой с применением полевой сушки торфа.

Рабочая гипотеза была основана на том, что при введении в торфомассу определенного вида модификатора, изменяются ее физико-химические характеристики и процессы структурообразования при формовании и сушке, что позволяет достичь требуемых параметров качества сырья и готовой продукции. Основными задачами являлись обоснование использования того или иного вида модификатора, а также способы его применения в конкретном технологическом процессе или его отдельном этапе.

В качестве модификаторов использовались поверхностно-активные вещества (ПАВы), которыми являются химические соединения, способные накапливаться на поверхности контакта термодинамических фаз (поверхностью раздела фаз<sup>10</sup>) и снижать их поверхностное натяжение. На межфазной поверхности ПАВы образуют адсорбционный слой (слой повышенной концентрации). В результате изменяется начальная влажность формования торфомассы, процессы тепломассопереноса при сушке кусков, усадочные деформации в них, прочностные показатели, плотность и другие параметры, и характеристики.

Поверхностно-активные вещества классифицируются по типу гидрофильных групп (анионные, катионные, амфотерные, неионные), по характеру использования (моющие средства, эмульгаторы, смачиватели) и по характеру взаимодействия с водой (гидрофобные и гидрофильные). Причем, классификация по типу гидрофильных групп является для ПАВ основной, они могут быть: ионные (ионогенные); анионные; катионные; амфотерные; неионные (неионогенные).

Наиболее типичный пример анионных ПАВов – это органические кислоты и их соли  $R - COOH$  или  $R - COONa$ ,  $R - COOK$ . Наиболее используемыми являются два последних типа соединений – натриевые и калиевые соли жирных кислот (мыла). При диссоциации в воде ионогенных

---

<sup>10</sup> Для торфяной системы это твердая (макро- и микрокомпоненты органического вещества, минеральные включения) и жидкая (вода) фазы.

модификаторов на ионы, одни обладают адсорбционной (поверхностной) активностью, а другие нет. В торфомассе действие ПАВ обеспечивается за счет адсорбционно активных ионов (анионо- или катионоактивных). Анионные ПАВы диссоциируют с образованием отрицательно заряженные органические анионы, например  $\text{RCOONa} \leftrightarrow \text{RCOO}^- + \text{Na}^+$ .

Большое распространение в технологиях получили также соли кислотных эфиров высокомолекулярных спиртов жирного ряда и серной кислоты с общей формулой  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n - \text{O} - \text{SO}_3\text{Na}$ , где  $n = 12 \dots 14$  (алкилсульфаты). Они вырабатываются из спиртов с 12 до 14 углеродных атомов в цепи, из кокосового масла или методом гидрогенизации кашалотного жира. Жирные спирты подвергаются фракционной дистилляции и сульфатируются серной или хлорсульфоновой кислотой. Полученный, таким образом, лаурилсульфат ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11} - \text{O} - \text{SO}_3\text{Na}$ ) является одним из наиболее широко используемых анионных моющих средств.

Амфотерные (или амфолитные) ПАВ содержат в своём составе одновременно две функциональные группы: кислого и основного характера. В зависимости от pH среды, в которой они находятся, такие добавки могут принимать или отдавать протон и проявлять анионную или катионную активность. Катионные ПАВы при диссоциации образуют положительно заряженные поверхностно-активные органические катионы  $\text{RNH}_2\text{Cl} \leftrightarrow \text{RNH}_2^+$ . Таким образом, при введении в торфяную систему они обладают катионными свойствами.

Неионные ПАВ представляют собой высокомолекулярные соединения, которые в водном растворе не образуют ионов. Их растворимость в воде обусловлена наличием в молекуле неионогенных групп – эфирных или гидроксильных (чаще всего полиэтиленгликолевый остаток). Этот вид ПАВ представляют особую ценность для различных отраслей промышленности, поскольку позволяют получать продукты с точно заданными физическими и химическими свойствами. Они обладают высокой устойчивостью к воздействию щелочей, кислот и солей и могут смешиваться с органическими



растворителями. В отличие от ионных ПАВ, неионные модификаторы, как правило, не оказывают раздражающее действие на кожный покров и слизистые оболочки, поэтому могут использоваться без применения средств индивидуальной защиты.

Для получения из торфа формованной продукции с заданными свойствами используются различные физико-химические методы регулирования процессов структурообразования [57, 62, 79, 102, 153, 157, 163–165]. Снижение пластической вязкости структуры можно осуществить введением в торф пластифицирующих добавок. Непосредственное пластифицирующее действие обеспечивают гидрофилизирующие ПАВ. Механизм пластифицирующего действия состоит, прежде всего, в образовании гидрофильной пленки на всей поверхности частиц. Адсорбционное покрытие прочно удерживает на поверхности слой воды, связанной с поверхностью молекулярными силами. Такие стабилизирующие слои (адсорбционно-гидратные оболочки на твердых поверхностях) устраняют силы сцепления между частицами, т. е. уменьшают трение между ними, что и является основной причиной повышения подвижности частиц системы. Введение пластификаторов позволяет уменьшить энергоемкость процесса формования или уменьшить влажность торфа при формовании.

Применяют два способа обработки торфа химическими добавками: объемный и поверхностный. При объемном способе добавка вносится в исходную торфомассу в виде водного раствора различной концентрации и тщательно перемешивается. При поверхностном способе водный раствор смачивает поверхность куска при формовании.

Преимущественно объемным способом используют добавки, которые образуют в торфяной системе сетчатые структуры в результате усиления межагрегатного взаимодействия [157, 161, 164, 175].

Работами *И.И. Лиштвана* [101–105, 157], установлено, что при использовании неорганических соединений для регулирования процессов структурообразования в торфе большое значение имеет концентрация ионов

$Ca^{2+}$ . Они при высоких значениях создают коагуляционные структуры, усложняющие усадку, и обеспечивают формирование прочности формованного торфа за счет увеличения прочности его каркаса в результате внутриагрегатного взаимодействия через ионы кальция. Относительно других катионов можно сказать, что они также влияют на процессы структурообразования, но в меньшей степени [157].

При использовании полиэлектролитов также наблюдается зависимость процесса структурообразования от концентрации вводимой добавки. При небольшой концентрации ускоряется сушка и усадка кусков, а также наблюдается их максимальная прочность. При увеличении концентрации скорость сушки и усадка замедляются, а прочность снижается. Но концентрация вводимой добавки для получения оптимальной прочности кусков зависит не только от ее вида, но и от свойств торфа (его типа, степени разложения, влажности, кислотности и др.) [1–3, 34, 43, 61, 70, 71, 163–169, 174–176]:

Работы *Н.Л. Соловьева* [155-157], использовавшего в качестве полимерной добавки полиметакриловую кислоту (ПМАК = 24 %), показали [157], что под влиянием кислотности и катионного состава торфа макромолекулы ПМАК свернулись в глобулы и перестали связывать частицы, что и привело к неэффективности данной добавки.

Проведенные исследования в основном были направлены на получение кускового торфа с высокими прочностными характеристиками [34, 156, 157].

Но из торфа можно получать и много других видов продукции, особенно при глубокой химической переработке, что требует изменения не только прочностных, но и других характеристик [157]. И здесь следует рассматривать не только водорастворимые добавки [43, 70, 71, 163–169, 174–178], но и другие компоненты, которые позволяют в том или ином виде внедрять их в объем торфомассы или наносить на поверхность [102]. Интерес представляют также отходы промышленности.

Тем не менее, ряд ученых (*А.А. Терентьев, В.И. Суворов, Валиев Н. Г., Н.В. Гревцев*) все же отдают предпочтение ПАВ, поскольку они обеспечивают комплексное воздействие на торфяную систему сразу по нескольким регулируемым параметрам получаемой продукции.

Если все же рассматривать ПАВ, то в качестве препаратов для модификации рекомендуется использовать органические и минеральные катионоактивные и неионогенные ПАВ. Катионоактивные препараты применяются чаще всего при объемной обработке, а неионогенные – при поверхностной. Применение оптимально подобранных для конкретного торфа химических препаратов позволяет в 1,5 ... 2 раза увеличить прочность кусков и на 35 ... 45 % снизить их водопоглонительную способность [157].

Отдельное направление – это использование гидрофобизирующих составов, наносимых поверхностным способом. При таком подходе изменяется массоперенос, особенно в начальной стадии сушки. При этом снижаются градиенты влагосодержания, что, в конечном итоге, способствует упрочнению структуры. Однако, считается [7], что основной эффект должен достигаться при циклических увлажнениях (за счет осадков) и режимах сушки (как в реальных полевых условиях), поскольку периодическое увлажнение резко снижает прочность кускового торфа. Гидрофобизация же поверхности будет препятствовать впитыванию воды [146] и снижать негативную роль осадков.

Широкомасштабные фундаментальные исследования влияния различных кремнийорганических соединений, отходов нефтеперерабатывающих производств, а также материалов биологического происхождения на гидрофобность в первую очередь строительных материалов были проведены во второй половине XX века [197–212, 217, 222–230, 232–247].

В настоящее время эти результаты широко используются в различных отраслях промышленности. Новые данные, которые появляются в современных публикациях, как правило, носят дополняющий и уточняющий

характер. В них, в основном, рассматриваются частные случаи воздействия известных в науке и производстве гидрофобизаторов на различные материалы: гидрофобные порошки [209]; поверхность строительных смесей [200, 233]; глиняный кирпич и известковый раствор [259, 238]; цементные растворы [222, 208]; бетонные смеси и бетоны специального назначения [198, 199]; наполнители бетонов [241]; теплоизоляционные строительные материалы [217].

Отдельное направление связано с созданием супергидрофобных поверхностей и покрытий [202–204, 224, 232, 247], причем особое значение придается использованию в этих технологиях продуктов переработки природных и биогенных материалов [207, 237].

Такая популярность использования кремнийорганических соединений (КОС) на протяжении последних 70 лет объясняется их специфическими свойствами: высокими диэлектрическими показателями, термостойкостью, практически постоянной вязкостью в широком интервале температур, водостойкостью [196]. Однако для их применения в технологиях гидрофобизации торфяного топлива необходимо решить проблему точного дозирования и внесения в массу формуемого топлива, особенно это важно для водонерастворимых добавок.

В разработанных ранее технологиях [146, 157] применялись два способа внесения модификатора: поверхностный при фрезформовочном способе добычи кускового торфа и объемный – при экскаваторном способе<sup>11</sup>.

При фрезформовочном способе добычи кускового торфа емкость для раствора ПАВ и насос устанавливались на тракторе, а водный раствор препарата впрыскивался под давлением в кольцевой вырез внутри формирующего мундштука и смачивал поверхность (рисунк 1.6).

При объемном способе торф из залежи загружался экскаватором в стилочную машину, на которой устанавливалась емкость для раствора ПАВ и

---

<sup>11</sup> Технически возможно использование поверхностного способа и при добыче экскаваторного торфа.

насос, с помощью которого раствор вводился в торфяную массу. Перемешивание осуществлялось в перерабатывающе-формирующем устройстве стилочной машины (*рисунок 1.7*). В обоих способах формирующая машина дооборудуется емкостью для раствора и насосом для его подачи [115].



**Рисунок 1.6** - Фото мунштука с устройством для внесения раствора модификатора на поверхность торфяного куска при вязкопластичной экструзии



**Рисунок 1.7** - Фото перемешивающего устройства для распределения раствора модификатора в объеме торфомассы перед вязкопластичной экструзией

Таким образом, проведенный анализ показывает, что применение объемного способа модифицирования торфомассы позволяет усилить межмолекулярное и межагрегатное взаимодействие и сделать структуру кусков после сушки более прочной. В свою очередь, поверхностная обработка снижает интенсивность сушки, что приводит к уменьшению градиентов влагосодержания по сечению куска и, соответственно, усадочных напряжений, а так же сопровождается увеличением продолжительности сушки кусков в постоянном периоде, что, в конечном итоге, увеличивает время технологического цикла [115, 121]. Несмотря на достаточно серьезное теоретическое обоснование применения поверхностно-активных веществ для модифицирования структуры торфяных систем, их использование для конкретных видов торфяного сырья определяется эмпирически.

### **1.3. Традиционные способы гидрофобизации и опыт их применения в торфо-перерабатывающих технологиях**

При изучении вопросов гидрофобизации различных материалов используются такие термины, как водонепроницаемость, водостойкость и гидрофобность (водоотталкивание) [146]. Их зачастую применяют как синонимы, хотя они существенно отличаются друг от друга, что приводит к попыткам применять (формировать) водоотталкивающие покрытия там, где они оказываются неэффективными. К водонепроницаемым относятся материалы, не имеющие открытых пор и не пропускающие воду и водяной пар (обладающие сплошной поверхностью). Этого не происходит даже под давлением с величиной сопоставимой с механической прочностью тела. К таким материалам, например, относятся стекло, глазури, каменное литье, некоторые органические высокополимеры, металлы и т. п.

Гидрофобными или водоотталкивающими, называют материалы, которые могут иметь (или чаще всего имеют) пористую поверхность, которая не смачивается водой. Несмотря на то, что проникновение влаги через пористое пространство, обладающее гидрофобной внутренней поверхностью,

значительно затруднено, оно легко пропускают воздух и водяные пары. Затем внутри пор формируются центры сорбции, с дальнейшей конденсацией водяных паров. В результате снижается водостойкость пористых материалов (гидрофильных и гидрофобных).

Некоторые водонепроницаемые материалы не являются водостойкими и разрушаются при воздействии воды в течение длительного времени. Это обусловлено тем, что они способны в большей или меньшей степени растворяться в воде или взаимодействовать с водой и растворенными веществами. Гидрофобные водонепроницаемые материалы, как правило, относятся к водостойким, поскольку они практически не водорастворимы и разрушаются лишь в процессе химических превращений, приводящих к гидрофилизации поверхности. Таким образом, гидрофобная обработка не позволяет сделать материал водонепроницаемым и (или) водостойким, но в тоже время она существенно повышает их защиту от негативного воздействия воды, что имеет огромное практическое значение.

Увлажнение материалов происходит тремя способами: капиллярным подсосом, водопоглощением при полном или частичном погружении в воду и, наконец, при помощи сорбционного водопоглощения. Гидрофобное модифицирование (или гидрофобная обработка<sup>12</sup>) практически полностью препятствует водонасыщению первым способом, заметно понижает водопоглощение вторым способом и фактически не влияет на способность материала увлажняться третьим способом. Устранение капиллярного подсоса и понижение скорости проникновения воды в поры под давлением тесно связаны с уменьшением смачиваемости стенок пор.

Способность смачиваться или не смачиваться твердого тела жидкостью не зависит от того, находится ли оно полностью в жидкости или только

---

<sup>12</sup> Существенной разницы между этими терминами нет, однако «гидрофобное модифицирование» более правильно применять в тех случаях, когда производится обработка сырьевой массы перед формованием, сушкой, твердением и т. п., а «гидрофобная обработка» – когда речь идет о уже сформованном, высушенном или отвердевшем материале.

частично соприкасается с ней. Если способность тела к смачиванию хорошая, то оно остается влажным с распространяющейся по объему пленкой воды даже после устранения контакта с водой. И, наоборот, при плохой смачиваемости (в идеальном случае – несмачиваемости), тело остается сухим даже при полном погружении в воду. В случае неполного (частичного) смачивания пленка воды может уменьшаться в размерах и открывать отдельные участки сухой поверхности.

Между крайними случаями существует ряд промежуточных состояний, которые можно охарактеризовать только количественно с использованием эмпирического подхода. При этом следует иметь в виду, что абсолютно несмачивающихся твердых поверхностей практически не существует из-за сил притяжения между молекулами твердого тела и молекулами соприкасающихся с ним жидкости.

Таким образом, разделение всех тел на смачивающиеся (гидрофильные) и несмачивающиеся (гидрофобные) существует лишь с определенной степенью условности. Поскольку смачивание зависит от способности воды притягиваться материалами и связываться с их поверхностью, от ее характеристик будут зависеть количественные и качественные параметры. К таким характеристикам, прежде всего, относятся структура поверхности (вид материала, шероховатость, пористость) и присутствие на ней связанных «посторонних» молекул. Пористый материал задерживает влагу в пористом пространстве и не дает ей вытекать из промежутков между частицами. Гидрофобными по природе являются вещества со слабыми силами межмолекулярного взаимодействия (фтороуглероды, органосилоксаны, углеводороды, жиры и другие их производные).

Формирование стабильных водоотталкивающих покрытий в настоящее время осуществляют чаще всего при помощи физико-химического метода гидрофобизации. Его действие основано на использовании в качестве гидрофобизирующего агента поверхностно-активного вещества, которое



имеет в своем химическом составе активную полярную группу и гидрофобный углеводородный радикал. Представителями таких гидрофобизаторов могут быть как органические (например, абиетиновая и олеиновая кислота), так и органоминеральные (кремнийорганические) соединения.

Кремнийорганические низкомолекулярные и высокомолекулярные соединения (мономеры и полимеры) имеют в своем составе углерод и кремний, в связи с чем формируется их своеобразный «дуализм»: углеводородный радикал обеспечивает высокую гидрофобизирующую способность, а кремний – их термостойкость. В том числе и в связи с этим органоминеральные гидрофобизаторы широко применяются в технологиях как в нашей стране так и за рубежом для водооталкивающей обработки материалов [42, 55], а так же для получения термостойких покрытий [58, 102, 161, 164, 175]. Как правило, эти качества служат хорошим дополнением к основным свойствам, что является причиной универсальности кремнийорганических соединений.

Применительно к технологиям переработки торфа методы гидрофобной обработки необходимы в связи с тем, что хотя в его состав и входит небольшое количество углеводородных соединений (битумов), в основном он является гидрофильным органическим материалом, подверженным процессу старения. Старением называется изменение свойств материалов под воздействием внешней среды. Этот процесс связан с ухудшением физико-механических характеристик материалов, а в худшем случае и их разрушением. И вполне естественно, что наибольшее воздействие оказывается на органические материалы с ярко выраженными гидрофильными свойствами [56]. Основные причины этих негативных явлений связаны с проникновением влаги в поры материала, циклы замораживания и оттаивания, равно как и цикличное увлажнение и высыхание. Вполне очевидно, что гидрофобизация позволяет эффективно решать эти проблемы. Однако основным условием проведения

гидрофобизации является ее экономическая эффективность. Поэтому, во-первых, в производстве должны применяться промышленно выпускаемые органические и кремнийорганические гидрофобизаторы совместимые с обрабатываемым материалом, а во-вторых, не увеличивающие граничные показатели себестоимости готовой продукции. В этой связи важным является определение оптимальных концентраций активных компонентов в обрабатываемом материале.

Первые сведения по применению гидрофобизации в торфяном производстве относятся к 1928 году [5]. Тогда на промышленной установке торфяной опытной станции (ТОС) были получены первые образцы гидрофобных торфяных теплоизоляционных плит. Процесс изготовления плит включал в себя прессование высушенного торфа с применением стекольных добавок и связующих – клеев на основе битумов, гудрона, смол и т.д. Однако торфяные плиты, полученные по данной технологии, не получили широкого практического применения из-за незначительного эффекта гидрофобизации. Использование органических клеев в качестве добавок к торфу также себя не зарекомендовало с положительной стороны, поскольку значительно увеличивалась себестоимость производства, а также были зафиксированы факты загнивания органики и размножения грызунов в плитах.

При гидрофобной обработке строительных материалов из торфа твердыми органическими высокомолекулярными соединениями эффект несколько выше, но необходимо вносить достаточно большое количество гидрофобизатора, производить его предварительное плавление, равномерное перемешивание. При этом наблюдается низкое качество его распыления.

Еще одним направлением исследований по оценке водостойкости торфяных изоляционных материалов являлось использованием в качестве гидрофобизаторов в виде тонкодисперсных водных эмульсий смолопродуктов. Они уже достаточно хорошо себя зарекомендовали в строительстве дорожных покрытий (повышение водостойкости) [83, 88, 89,

110, 133], производстве традиционных строительных материалов [44, 73, 191], обработке топливных брикетов [99, 178] и в других отраслях промышленности [113, 132, 180]. Обработка торфяных плит эмульгированным гидрофобизатором значительно упрощает технологическую схему, а также обеспечивает более равномерное распределение смолопродуктов в объеме материала. Немаловажным является и снижение энергоемкости процесса, так как уменьшается влияние температуры на процесс гидрофобизации. Исследования в этой области проводились *Л.С. Антом* [8, 10] и *Н.Ф. Цигиновой* [181]. Они разрабатывали основы технологического процесса получения водостойкой изоляции с применением битумно-каолиновой, канифольно-парафиновой и парафиновой эмульсий. Наибольшая эффективность была отмечена у парафиновой и канифольно-парафиновой эмульсий. Введение эмульсии позволило снизить суточное водопоглощение (по жидкой фазе) на 37 % [12]. В принципе показатель был неплохой, но учитывая, что в то время стоимость канифольно-парафиновой эмульсии была достаточно высока, полученный результат посчитали недостаточным. В дальнейшем испытание торфяных изоляционных плит на степень увлажнения при наличии градиента температуры и давления по толщине образца, показало положительный эффект. При обработке эмульсией плиты значительно меньше увлажнялись и характеризовались более высокими показателями водоустойчивости [93].

В работе [187] для уменьшения водопоглощающих характеристик изоляционных материалов и топливных брикетов на основе торфа было предложено использовать в качестве гидрофобизатора эмульсии типа «масло – вода». Исследования проводились с четырьмя видами (рецептурами) таких эмульсий, но лишь одна из них показала удовлетворительный результат. В состав эмульсии были использованы олеиновая кислота – 2 %, канифоль – 2 %, «сырой» битум – 12 %, парафиновая фракция кислых масел – 5 %, 30%-ный раствор гидроксида калия – 4 % и вода – 75 %. Применение данной эмульсии в дозировке 6...8 %, позволило снизить водопоглощение при

погружении плит в воду на 24 часа до 60...70 %. Несмотря на хороший эффект, использование на производстве требовало большого расхода такой эмульсии и отличалось неприятным специфическим запахом. Также при внесении смолпродуктов в виде тонкодисперсных водных эмульсий в торфяную массу необходимо было учитывать потери гидрофобизатора с водой отжима, которые достигали значительной величины [9, 11, 187]. Этот недостаток сказывался на увеличении расхода смолпродуктов и, соответственно, повышении себестоимости готовой продукции.

В начале XX века особый интерес представляли исследования гидрофобизации материалов растительного происхождения. В настоящее время вновь отмечается интерес к этому направлению. Групповой химический состав таких материалов наиболее близок к сфагновым торфам. В этой области можно отметить работы *А.М. Отливанчика* [141], *А.А. Эльберта* [190, 191], *Н.Я. Солечника* [154] и других ученых [162, 182]. Проведенные исследования показали, как введение расплавленного парафина позволяет снизить водопоглощение торфяных плит. Установлены оптимальные температурные режимы плавления [182, 190]. Также для снижения водопоглощения использовались такие традиционные гидрофобизаторы как: битумы [37, 114], окисленный петролатум [136, 170, 191], древесный пек [192], фурфурол и другие виды смолпродуктов и отходов их переработки [45, 75, 87, 92]. Наибольшую эффективность показали парафиновая [36, 52], парафино-олеиновая [4] и парафино-канифолевая [93, 139] эмульсии. Следует отметить, что использование в качестве гидрофобизатора смолпродуктов в расплавленном виде не снижает гидрофобизирующего эффекта и обходится в ряде случаев значительно дешевле, чем применение эмульсии этих веществ [12, 13, 190].

Кроме объемной используется также и поверхностная гидрофобизация. Но, основным недостатком такого метода является то, что покрывные и пропиточные составы довольно быстро подвергаются процессу старения (особенно во влажных условиях). А это приводит к разрушению их связей с

поверхностью материала. Следовательно, поверхностные защитные покрытия, как правило, не обеспечивают надежной защиты от негативного воздействия влаги в средне- и долгосрочной перспективе. Кроме того, закупорка пор материала препятствует циркуляции и испарению оставшейся в нем влаги, что может вызвать разрушение материала при изменении внешних параметров (давление, температура и т. п.). В этом случае может происходить разрушение целостности водозащитной пленки и связанное с этим адсорбционное увлажнение материала, что приводит к понижению его эксплуатационных свойств.

Эффективным методом снижения водопоглотительной способности формованных материалов из торфа является физико-химический метод гидрофобизации. Его действие основано на химическом взаимодействии реакционно-активных групп ПАВ с активными центрами макромолекул. К органическим гидрофобизирующим ПАВ относятся высшие предельные и непредельные органические кислоты ( $\text{RCOOH}$ ) и их водорастворимые соли со щелочными металлами ( $\text{RCOONa}$ ,  $\text{RCOOK}$  и т. п.). К ним относятся кислоты (стеариновая, пальметиновая, олеиновая, абиетиновая), смесь нафтеновых кислот (асидол), технические мыла, жидкое олеиновое мыло, мылонафт и канифольное мыло. В первую очередь, эти ПАВ используются для гидрофобной модификации минеральных вяжущих материалов. На основании выполненных исследований во Всесоюзном физико-агрономическом институте [84, 170, 171] была разработана технология получения гидрофобной почвы на основе мылонафта и канифольного мыла, которую позднее применили для гидрофобной обработки фрезерного торфа [85]. В настоящее время различные виды ПАВ используют для получения гидрофобного цемента [179], сыпучих строительных материалов [133, 140], а также тепло- и звукоизоляционных материалов [138, 139, 140]. Кроме того, проведенный анализ показывает, что использование гидрофобной модификации в ряде случаев значительно упрощает эксплуатацию гидрофильных материалов и расширяет область их применения.

Известно [196], что кремнийорганические покрытия могут образовывать прочную связь с поверхностью материалов с широким диапазоном химического состава. В качестве примера можно привести стекло, керамику, текстиль, кожу, бумагу, древесину, различные виды строительных материалов. При этом стойкость таких покрытий обеспечивается за счет образования химических связей между органилсилоксановой пленкой и гидрофильной поверхностью.

Однако существуют ряд лимитирующих факторов, сдерживающих их применение в технологиях торфяного производства. В первую очередь, это экономически обоснованные способы нанесения водоотталкивающих покрытий на торф и продукты его переработки, поскольку их свойства будут зависеть от вида используемого гидрофобизатора. Например, алкилхлорсиланы и алкилметоксисиланы обладают свойством высокой летучести, поэтому ими в газообразном (парообразном) состоянии можно обрабатывать твердую фазу материала. А гидрофобизаторы с высокой температурой кипения (или не обладающие летучестью) используют в виде растворов или различных эмульсий и т. п.

Начиная с 2002 года, в Российской Федерации развивается новое научное направление – гидрофобная модификация дисперсных материалов продуктами термохимической деструкции органического вещества торфа [122–128, 226–229] – термобитумами. В рамках этого направления был разработан метод, обеспечивающий высокую водоотталкивающую способность модифицированных материалов при относительно низких сырьевых затратах. Суть его заключается в том, что формируется водоотталкивающее пленочное покрытие на отдельных минеральных частицах дисперсных гидрофильных материалов (на примере портландцемента). Оно является механизмом защиты от нежелательного воздействия жидкой и парообразной (!) влаги при хранении. Расчетная толщина битумной (термобитумной) пленки составляет около 12 нм, что не оказывает отрицательного влияния на текучесть порошка. *О.С. Мисниковым*

предложена модель формирования пленочных покрытий на минеральных частицах и определен их элементный химический состав. Экспериментально было установлено, что модифицированный гидрофобный цемент защищен от воздействия паров жидкости, и определены оптимальные значения концентраций органических компонентов в дисперсном минеральном веществе, не снижающие прочности цементного раствора. В дальнейшем этот метод был полностью адаптирован к технологии производства гипсовых вяжущих [124, 126, 128, 228]. Причем, в отличие от цементного производства, разработанный метод имеет очень хорошие перспективы для промышленного использования, поскольку не предполагает усложнения технологии и использования дорогостоящего дополнительного оборудования, а также химических добавок.

И, наконец, в настоящее время были проведены исследования и разработаны базовые принципы формирования рецептур комплексных гидрофобно-модифицирующих добавок на основе торфа и химических компонентов под широкий класс минеральных дисперсных материалов: мел, известь, цемент, гипсовое вяжущее, огнетушащие порошки, минеральные удобрения и т. п.

### **Выводы по главе 1**

1. Добыча кускового торфа с использованием для сушки солнечной энергии имеет ряд преимуществ по сравнению с заводским производством формованного твердого топлива с использованием искусственной сушки.

2. Основным недостатком при добыче кускового торфа является зависимость от погодных условий (осадков), а также менее сбалансированный набор операций (или методов) позволяющих управлять процессом структурообразования формованной вязкопластичной торфомассы при сушке.

3. Основную роль в процессах формирования структуры при сушке в технологии добычи кускового торфа играют ван-дер-ваальсовы взаимодействия и межмолекулярные водородные связи, количественные соотношения между которыми влияют на его качественные характеристики.

4. Внесение в торфомассу поверхностно-активных веществ на этапе ее механической переработки (диспергирование и перемешивание) и (или) экструзионного формования позволяют управлять процессом структурообразования и тепломассопереноса за счет изменения количества контактов между элементами структуры и энергии межмолекулярного взаимодействия.

5. Применение гидрофобных поверхностно-активных веществ позволяет модифицировать внутреннюю и (или) поверхностную структуру кускового торфа, снизить его водопоглонительные свойства, что, в свою очередь, уменьшает зависимость технологии от погодных условий.

Таким образом, проведенный аналитический обзор литературных и патентных источников позволил определить направление исследований по добыче кускового (формованного) гидрофобно-модифицированного торфа с использованием свойств торфяной пористой структуры и дополнительных гидрофобных компонентов.



## 2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения процессов структурообразования в технологии добычи гидрофобно-модифицированного кускового торфа применялась комплексная методика, состоящая из следующих основных этапов: выбор сырьевой базы; научно-технологическое обоснование выбора гидрофобно-модифицирующих и вспомогательных компонентов; подготовка сырьевой торфомассы и формование экспериментальных образцов; оценка прочностных и водно-физических характеристик формованных образцов гидрофобно-модифицированного кускового торфа.

### 2.1. Обоснование выбора торфяного сырья и гидрофобизатора

В качестве сырья для исследований были выбраны следующие виды промышленно добываемого торфа на месторождениях Российской Федерации (*таблица 2.1*): торфяные месторождения «Заплюсские Мхи» (Псковская обл., Плюсский р-н) и «Куровское» (Тверская обл., Старицкий р-н).

Выбор сырья был обусловлен тем, что, прежде всего, необходимо оценить влияние природных факторов на эффективность воздействия гидрофобно-модифицирующего ПАВ на органическое вещество торфа в крайних (близким к минимальному и максимальному) границах диапазона степеней разложения. Кроме этого, учитывалось качество нативного торфяного сырья по способности к формованию и повышенной крошимости при сушке в соответствии с [160].

Таблица 2.1 - Исходные характеристики торфяного сырья

Тип	Вид	Степень разложения, %	Зольность, %	Кислотность, рН
верховой	магелланикум	5...10	0,5	3,5
верховой	пушицево-сфагновый	30	5	4,5
переходный	осоково-сфагновый	35	3,5	4,8

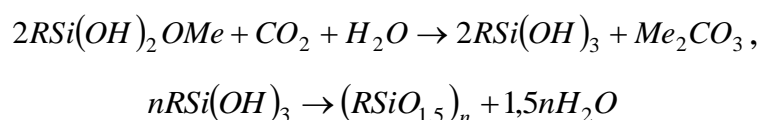
Выбор гидрофобно-модифицирующего ПАВ был обоснован, в первую очередь тем, что оно должно образовывать на пористом материале полимерные водоотталкивающие пленки, с формированием его способности к гидрофобизации изначально гидрофильной поверхности. Вторым условием было требование относительной простоты внесения гидрофобно-модифицирующего состава в торфомассу или нанесения на поверхность формуемых кусков с перспективой технологически обоснованного их применения в промышленном производстве.

Известно, что наиболее близкими к требуемым характеристикам обладают, прежде всего, водные, спиртовые и водно-спиртовые растворы органилсиликонатов натрия и калия [40, 58–60, 72, 100, 137, 146, 234]. Эти препараты [196], обладают следующим строением  $\text{HO}[\text{RSi}(\text{OMe})\text{O}]_n\text{H}$  (где  $n=3\dots 16$ , Me (металл) – Na, K; R –  $\text{CH}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5$ ,  $\text{CH}_2=\text{CH}$ ,  $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5$  и т.д.). В водном растворе они распадаются на мономерные, димерные и тримерные молекулы –  $\text{RSi}(\text{OH})_2\text{OMe}$ . Поскольку вода и спирт хорошо смачивают торфомассу, то с точки зрения носителя активного компонента вода должна иметь априорное преимущество. Спирт же можно рассматривать пока в качестве растворителя только в высокотехнологических процессах при получении продукции с высокой добавленной стоимостью.

Для гидрофобизации материалов наиболее широко используются алкилсиликонаты натрия. Обычно товарной продукцией являются 17...30% спиртово-водные растворы алкилсиликонатов натрия. При испарении из них

растворителя алкилсиликонаты могут быть выделены в виде порошков (как правило, белого цвета). Растворы алкилсиликоната натрия в условиях, защищающих их от доступа углекислого газа воздуха и других реагентов, являются вполне стабильными и могут подвергаться длительному хранению.

При обработке материалов алкилсиликонатами щелочных металлов гидрофобные алкилполисилоксановые слои образуются, прежде всего, в результате их взаимодействия с углекислотой воздуха:



Необходимо отметить, что процесс образования водоотталкивающей поверхностной пленки  $(RSiO_{1.5})_n$  протекает относительно медленно (в течение 24...48 ч). При этом необходимо соблюдать условие - в процессе формирования водоотталкивающей гидрофобизированной поверхности материал не должен **подвергаться сильному увлажнению**. Образующаяся полиалкилсилоксановая пленка обволакивает все частицы материала, контактирующие с гидрофобизирующими растворами, и связывает их между собой, что может приводить к некоторому повышению прочности материала.

Алкилсиликонаты щелочных металлов образуют трудно растворяющиеся в воде соединения почти со всеми растворимыми в воде солями кальция, стронция, бария, цинка, хрома, никеля, кобальта, кадмия, меди, свинца, молибдена, ртути и других металлов. Образование нерастворимых алкилсиликонатов переходных металлов можно использовать для гидрофобизации текстильных тканей и других органических материалов [60].

Преимущества алкилсиликонатов щелочных металлов перед другими гидрофобизаторами заключается в том, что эти вещества можно применять в виде водных растворов, они не имеют запаха, достаточно универсальны и сравнительно дешевы, так как чаще всего их получают из отходов производства. Водные растворы алкилсиликонатов щелочных металлов

могут применяться для объемной гидрофобизации материалов введением добавок непосредственно в соответствующие формовочные массы.

В нашей стране разработаны способы получения метил- и этилсиликонактов натрия из кубовых остатков после ректификации продукции прямого синтеза соответствующих алкилхлорсиланов [72]. Эти кубовые остатки образуются после выделения индивидуальных алкилхлорсиланов и составляют 6...10 мас. % от общего количества продуктов синтеза.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает органилсиликонаты натрия несколько марок в виде 20...30 % водных растворов (таблица 2.2):

- этилсиликонат натрия ГКЖ-10 (МРТУ 6-02-271-63), получаемый из кубовых остатков от перегонки этилхлорсиланов;
- метилсиликонат натрия ГКЖ-11 (МРТУ 6-02-271-63), приготовленный из кубовых остатков после ректификации метилхлорсиланов;
- фенилсиликонат натрия ГКЖ-11Ф (МРТУ 6-02-322-65).

**Таблица 2.2** - Основные свойства алкилсиликонатов натрия

Свойства	Алкилсиликонаты натрия		
	ГКЖ - 10	ГКЖ - 11	ГКЖ - 11 Ф
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	1,19 ± 0,02	1,19 ± 0,02	1,17...1,21
Содержание кремния (не менее), вес. %	4	4	4
Сухой остаток, вес. %	30 ± 5	30 ± 5	25 ... 35
Щелочность (в пересчете на NaOH), вес. %	15 ± 2	15 ± 2	13 ... 17

Эти жидкости имеют щелочную реакцию, неограниченно растворяются в воде и этиловом спирте, не смешиваются с углеводородами. При их использовании не выделяются вредные пары и газы.

В экспериментах в качестве модифицирующей добавки из органилсиликонатов натрия был выбран метилсиликонат натрия - кремнийорганическое соединение ГКЖ-11 (таблица 2.3). Выбор этого гидрофобизатора был обусловлен двумя основными причинами. Во-первых, по условиям технологичности применения - относительной простоте внесения в торфомассу в виде водного раствора. Во-вторых, это соединение имеет щелочную реакцию, что позволяет прогнозировать дополнительный структурообразующий эффект в формованном торфе за счет выделения гуматов натрия.

**Таблица 2.3** - Технические характеристики ГКЖ-11

Внешний вид	Жидкость от бесцветного до темно-коричневого цвета. Допускается наличие мелкодисперсного осадка и механических примесей.
Массовая доля сухого остатка, %, не менее	25
Массовая доля щелочи (в пересчете на NaOH), в %	10 ... 25
Массовая доля кремния, %, не менее	5
Плотность при температуре 20 °С, г/см <sup>3</sup>	1,15 ... 1,40

Кроме того, в качестве гидрофобизаторов широко применяются и полиорганилгидросилоксановые жидкости (таблица 2.4). Их преимущество заключается в том, что они являются практически универсальными гидрофобизаторами для многих видов дисперсных и капиллярно-пористых материалов. Данные жидкости не вызывают коррозии, физиологически безвредны и имеют ряд других преимуществ. Однако, применительно к торфу, недостатком их применения является использование в виде водных эмульсий или растворов в органических растворителях, что несколько затрудняет технологичность гидрофобизации формованной продукции.

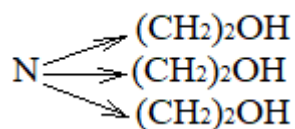
В качестве основного полиорганилгидросилоксанового гидрофобизатора в исследованиях использовалась полиэтилгидросилоксановая жидкость – ГКЖ-94. Как представитель своего класса, она хорошо растворяется в ароматических или хлорированных углеводородах (бензин, уайт-спирит, бензол, толуол и т.д.), но не растворима в низших спиртах и в воде. Поэтому при проведении экспериментов из этой жидкости сначала получали стойкие водные эмульсии, а затем вносили их в формуемую торфомассу. Как правило, в зависимости от структуры и состава обрабатываемого материала раствор ГКЖ-94 в органических растворителях и водных эмульсиях диапазон концентраций варьирует от 0,5 до 15%.

**Таблица 2.4** - Основные свойства полиорганилгидросилоксановых жидкостей

Свойства	Полиорганилгидросилоксаны		
	ГКЖ - 94	ГКЖ - 94М	ЭДЭ - 31Ф
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	990...1000	990...1000	980...1000
Вязкость при 20 °С, сст	45...200	5...100	200
Содержание активного водорода, масс. %	1,30...1,42	1,50...1,80	0,8
рН водной вытяжки (не менее)	6	6	-

Даже относительно стабильные водные эмульсии ГКЖ-94 получить проблематично, уже через несколько секунд после окончания активного перемешивания происходит их расслоение. Поэтому эмульсии для проведения экспериментов получали путем смешивания водного раствора эмульгатора с ГКЖ-94.

В качестве эмульгатора применялся растворимый в воде триэтаноламин (НО-СН<sub>2</sub>СН<sub>2</sub>)<sub>3</sub>N (ТЭА). Его структурная формула:



Внешне это соединение представляет бесцветную жидкость, которая хорошо смешивается с водой. Чистый триэтаноламин – это органическое

соединение, полученное из аммиака, который используется в низких концентрациях в качестве интенсификатора помола в шаровых мельницах, подщелачивающего агента для понижения кислотности косметических составов и в других направлениях.

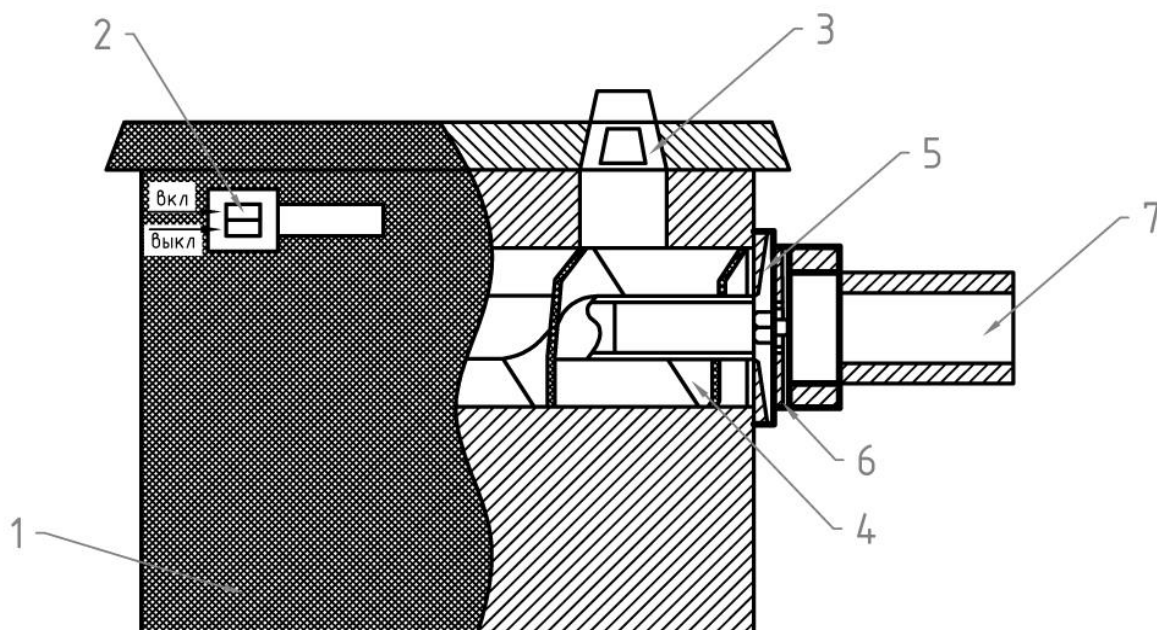
Следует отметить, что применяемые кремнийорганические соединения и эмульгатор являются пожаро- и взрывобезопасными и нетоксичными веществам, широко используемыми в косметической промышленности и производстве строительных материалов.

Таким образом, выбор кремнийорганических соединений ГКЖ-11 и ГКЖ-94 в качестве гидрофобно-модифицирующих добавок в торфомассу был обусловлен ожидаемой эффективностью применения, доступностью, экологической безопасностью, а также относительно невысокой стоимостью.

## **2.2. Методика получения экспериментальных образцов гидрофобно-модифицированного кускового торфа**

Для получения образцов гидрофобно-модифицированного кускового торфа предварительно готовились 4 емкости с торфяной массой с относительной влажностью 68...80 %. В первой емкости находился контрольный торф без добавок. Во вторую, третью и четвертую емкости с торфом вводили добавки в виде водных растворов или водных эмульсий различной концентрации из расчета 0,5...4 % кремнийорганической жидкости (действующего вещества) на сухое вещество торфа [95, 96]. Концентрация действующего вещества устанавливалась по данным, анализ которых приведен в главе 1, с учетом условия минимизации их использования для последующего обоснования экономической эффективности технологии. Далее торфяная масса в емкостях подсушивалась до влажности, соответствующей минимальной границе формования.

Затем из полученного торфяного сырья методом экструзии формовались цилиндрические образцы торфа. Для формования использовалось специальное формующее устройство (*рисунок 2.1*)



**Рисунок 2.1** - Формующее устройство экструзионного типа: 1 – корпус; 2 – выключатель; 3 – устройство для подачи торфомассы; 4 – диспергирующий и транспортирующий шнек; 5 – четырехлопастной нож; 6 – решетка с фильерами; 7 – формующий мундштук.

Для усреднения качественных характеристик (влажность, дисперсность, распределение модификатора и др.) по всему объему торфомассы перед формованием производилось ее предварительное однократное механическое диспергирование на формующем устройстве (рисунок 2.1) без использования формующего мундштука. Затем мундштук устанавливался, и проводилось формование диспергированной торфомассы. Из сформованной торфомассы нарезались цилиндрические куски правильной формы диаметром  $d = 40$  мм и длиной  $l = 60$  мм из условия  $l = 1,5 d$ . В производственных условиях длина торфяного куска равна  $l = 1,5 \dots 2 d$ .

Куски укладывались на специальные поддоны из нержавеющей стали (рисунок 2.2) и отправлялись на сушку в радиационно-конвективном режиме при следующих параметрах: температура  $t = 22 \pm 3^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха  $\varphi = 75 \pm 10\%$ .





**Рисунок 2.2** - Сушка экспериментальных формованных образцов

В процессе сушки ежедневно контролировались основные физико-механические характеристики образцов в соответствии с комплексной методикой изучения процесса их сушки и структурообразования.

### **2.3. Комплексная методика исследования процесса сушки и структурообразования кускового торфа**

Суть комплексной методики исследования процесса сушки и структурообразования экспериментальных образцов заключается в определении их текущей влажности (влагосодержания), линейных размеров и диаметра, а также максимальной разрушающей нагрузки при одноосном сжатии с последующим расчетом площади поверхности сушки, объема, плотности и прочности куска, а также скорости и интенсивности сушки.

Начальная влажность свежесформованных кусков определялась по стандартной методике [69].

Для оперативного контроля за массой, сформованные образцы торфа ежедневно взвешивались на лабораторных электронных весах VIBRA AJ - 2200 SE с точностью до 0,01 г. Их геометрические размеры определялись штангенциркулем с точностью до 0,1 мм: четыре значения диаметра в наиболее характерных по длине куску местах и четыре значения длины. Таким образом, относительная погрешность измерений не превышала 1,5%.

Текущее влагосодержание  $W_i$  в процессе сушки определялось расчетным путем по формуле:

$$W_i = \frac{m_i}{m_c} - 1, \quad (2.1)$$

где  $m_i$  – текущая масса образца торфа в момент взвешивания, кг;  $m_c$  – масса абсолютно сухого вещества в образце торфа (величина постоянная для конкретного образца), кг.

Массу абсолютно сухого вещества определяли в начале проведения эксперимента по формуле:

$$m_c = \frac{m_n}{1 + W_n}, \quad (2.2)$$

где  $m_n$  и  $W_n$  – начальные масса и влагосодержание куска торфа.

Объем цилиндрического образца  $V$ , м<sup>3</sup> определяется исходя из соотношения:

$$V = \frac{\pi d_{cp}^2}{4} \cdot l_{cp}, \quad (2.3)$$

где  $d_{cp}$  – средний диаметр образца, м;  $l_{cp}$  – средняя длина образца, м.

Площадь поверхности испарения принимается равной геометрической площади развернутой поверхности цилиндра

$$F = \frac{\pi d_{cp}^2}{2} + \pi d_{cp} l_{cp}. \quad (2.4)$$

После достижения экспериментальными образцами равновесного влагосодержания  $W_p$  [6] исследование сушки заканчивается. В этой точке парциальное давление водяных паров в окружающем образец воздухе равно парциальному давлению в самом образце. На основании данных наблюдений строится кривая сушки образца торфа  $W = f(\tau)$ . Она позволяет проанализировать процесс сушки, а также является вспомогательным графиком для построения кривой интенсивности сушки  $i = f(W)$ , которая более глубоко характеризует физику этого процесса.

Скорость сушки в данный момент времени находим по формуле:

$$J = -m_c \frac{dW}{d\tau}. \quad (2.5)$$

Таким образом, скорость сушки (кг/с) – это количество влаги, удаляемое из куска в единицу времени. Геометрическая интерпретация уравнения состоит в том, что скорость сушки в данной точке численно равна тангенсу угла наклона касательной к кривой сушки в конкретной точке, умноженному на массу сухого вещества. Графическое дифференцирование не отличается удовлетворительной точностью из-за погрешности при проведении касательной к кривой сушки. При обработке экспериментов применялся более точный метод, который заключался в следующем. Кривая сушки разбивалась на достаточно малые участки  $\Delta\tau$ . Затем по каждому участку определялось изменение влагосодержания  $\Delta W$ . Средняя на рассматриваемом участке скорость сушки рассчитывалась по формуле:

$$J = -m_c \frac{\Delta W}{\Delta\tau}. \quad (2.6)$$

При исследовании сушки кускового торфа скорость удаления влаги недостаточно полно определяет характер и особенности процесса. Происходит это потому, что в процессе сушки, из-за усадки материала, величина поверхности испарения непрерывно уменьшается. Поэтому более полной характеристикой процесса является показатель интенсивности сушки  $i_c$ , который учитывает и величину поверхности испарения. То есть интенсивность сушки — это количество влаги, удаляемое с единицы поверхности материала в единицу времени

$$i_c = -\frac{m_c}{F} \cdot \frac{dW}{d\tau} = -\frac{1}{F} \cdot J. \quad (2.7)$$

Для построения кривой интенсивности сушки строился график изменения  $F = f(W)$ , из которого определялось текущее значение поверхности сушки.

Построенная по экспериментальным данным кривая интенсивности сушки преобразовывалась в прямые участки, характеризующие постоянный и убывающий период интенсивности сушки. Для их построения применялся аналитический метод определения параметров уравнения для приведенных прямых постоянной и убывающей интенсивности сушки.

Для определения уравнения постоянной интенсивности сушки объединялись точки  $i_k$ , незначительно отличающиеся по величине друг от друга. Затем находилось среднеарифметическое значение, которое и будет характеризовать интенсивностью испарения в постоянном периоде:

$$i_{\text{п}} = \frac{\sum i_k}{n_{\text{п}}}, \quad (2.8)$$

где  $n_{\text{п}}$  - количество точек суммирования в постоянном периоде сушки.

Среднюю интенсивность испарения в убывающем периоде сушки определяют следующей образом. Линия убывающего периода должна проходить через точку равновесного влагосодержания  $W_p$ .

Затем находим среднее значение углового коэффициента  $\langle C \rangle$  как среднее арифметическое из текущих значений величин  $C_i$ :

$$\langle C \rangle = \frac{\sum C_i}{n_y}, \quad (2.9)$$

где  $n_y$  - количество точек, отнесенных к убывающему периоду сушки.

Уравнение прямой интенсивности сушки в убывающем периоде имеет следующий вид:

$$i_y = \langle C \rangle \cdot (W - W_p) \quad (2.10)$$

Поскольку торф относится к категории колодных капиллярно-пористых тел, размеры образцов в процессе сушки будут уменьшаться в

результате усадки. Этот процесс характеризуется коэффициентом объемной усадки торфа  $K_{yc}$ , который определяется графоаналитическим методом.

По результатам замеров вычисляется изменение объема образца при уменьшении влагосодержания с  $W_n$  до  $W_p$ . По этим данным строился график зависимости  $V = f(W)$ . Затем методом средних определялись коэффициенты  $a$  и  $b$  уравнения регрессии:

$$V_i = a + b \cdot W_i. \quad (2.11)$$

Коэффициент объемной усадки определяется по формуле:

$$K_{yc} = \frac{dV}{dW} \cdot \frac{1}{V_c} = \frac{|\operatorname{tg} \alpha|}{V_c} = \frac{b}{a}, \quad (2.12)$$

где  $\alpha$  – угол наклона графика;  $V_c$  – определяемый графически на зависимости  $V = f(W)$ .

Таким образом, использование комплексной методики позволяет при проведении одной серии экспериментов определить ряд указанных выше значимых величин, необходимых для анализа их влияния на технологию добычи кускового торфа.

#### 2.4. Методика определения прочности формованного торфа

Прочность – это способность материалов сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим под действием внешних нагрузок. Прочность является одной из важнейших характеристик качества формованной торфяной продукции (в том числе, кускового торфа), зависящей от содержания сухого вещества в единице объема и энергии связи между частицами.

Основными силами, обеспечивающими прочность торфяных систем, являются капиллярные силы, межмолекулярные и водородные связи. Энергия капиллярных сил невелика и равна примерно 0,419 кДж/моль,

энергия межмолекулярных сил Ван-дер-Ваальса – 4 – 8 кДж/моль, энергия водородной связи равна 16,8 – 33,5 кДж/моль.

Механизм формирования прочной структуры торфяных систем при их обезвоживании (сушке) весьма сложен, так как на прочность оказывает влияние не только физико-химическая природа торфяного сырья (степень разложения, содержание гуминовых веществ, тип их надмолекулярных структур и др.), но и технологические факторы (качество перемешивания, диспергирование, наличие дополнительных компонентов, режим сушки и др.).

При испарении влаги из формованного куска (или гранулы) торфа под действием капиллярных сил происходит его усадка, что приводит к увеличению содержания сухого вещества в единице объема влажного материала и, следовательно, числа межмолекулярных и водородных взаимодействий [67]. Это, в конечном итоге, приводит к росту прочности торфа. Таким образом, в идеальном варианте, наибольшая прочность торфа должна достигаться при влагосодержании равном нулю. Однако на этот процесс оказывает влияние объемно-напряженное состояние системы, приводящее к появлению дефектов структуры (например, трещин). Поэтому необходимо создавать условия для возникновения дополнительных межмолекулярных взаимодействий или определять оптимальное содержание влаги в образце.

При исследовании прочностных показателей формованных образцов торфа, как правило, определяют прочность на одноосное сжатие  $R_{сж}$ , и изгиб  $R_{изг}$ . Для определения прочности на одноосное сжатие используется экспериментальная установка, изготовленная на базе машины для испытания пружин серии TLS-S, производства TIME GROUP ING. (рисунок 2.3)



**Рисунок 2.3** - Экспериментальная установка для испытания цилиндрических кусков на сжатие

Цилиндрический образец торфа с предварительно измеренной площадью поперечного сечения (площадь круга)  $S$ ,  $\text{м}^2$  устанавливается на горизонтальную платформу пресса. Затем производится одноосное сжатие образца и измеряется максимальная разрушающая нагрузка  $F_{\text{max}}$  (Н).

Прочность на одноосное сжатие  $R_{\text{сж}}$ , Па определяется по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{F_{\text{max}}}{S}. \quad (2.13)$$

После этого определяется влагосодержание разрушенного образца и строится график зависимости  $R = f(W)$ .

Для торфяных коллоидных капиллярно-пористых систем, в отличие, например, от бетона, цементов, гипса, металлов, полимеров и др. требования ГОСТов по прочностным показателям отсутствуют. И для торфа «прочность», в определенной мере, рассматривается как условное понятие. Причем оно зависит от различных факторов, параметров и характеристик (в том числе и природных) [19, 49, 63, 90, 102, 176, 177]. Если их проанализировать, то факторы, влияющие на прочностные характеристики торфяных систем, подразделяются на две основные группы: природные (тип, вид, кислотность, степень разложения, зольность) и технологические (форма

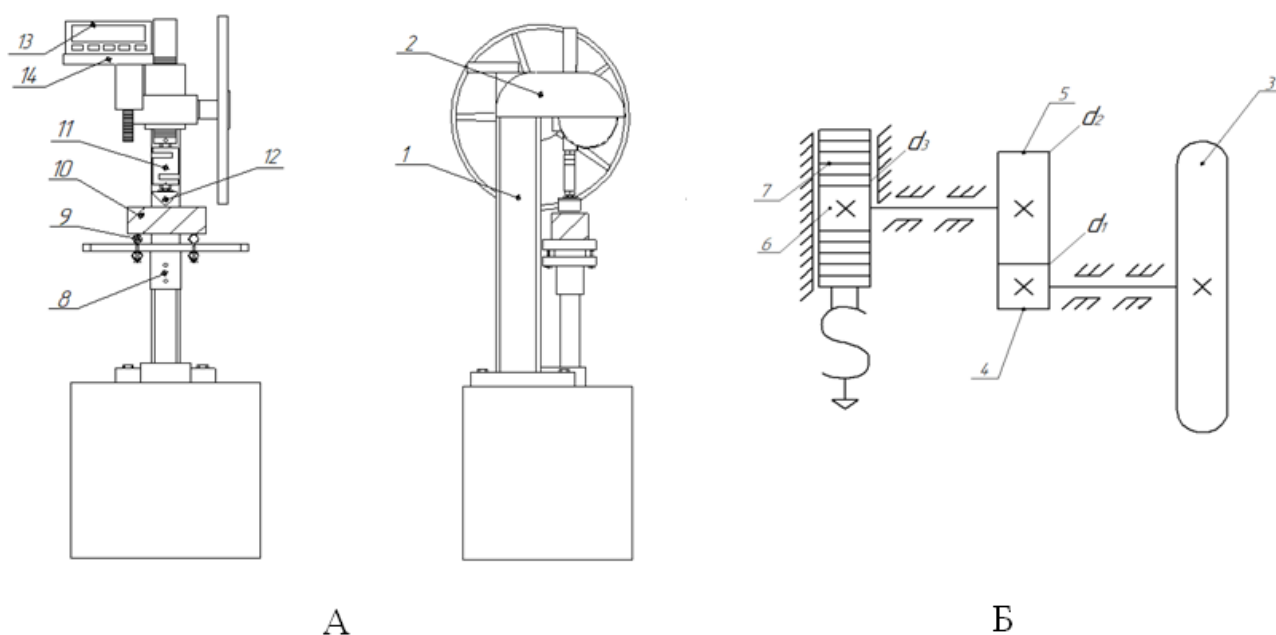
и размер куска, дисперсность торфомассы, режим сушки, начальное и конечное влагосодержание).

Такое количество факторов повышает вероятность оценки влияния каждого из них на конечный показатель прочности и, соответственно, значимого искажения результатов экспериментов и их анализа. При таких методах оценки физико-механических свойств выделяются характеристики, чувствительные к условиям нагружения, масштабному фактору, форме образцов и т. п., что значительно затрудняет выделение фундаментальных свойств самого материала [63]. В связи с этим становится проблематичным простой перенос данных, полученных в лабораторных исследованиях, при прогнозировании процессов структурообразования кускового формованного торфа при его полевой сушке. Но для оценки физики процессов структурообразования испытаниям прочности на одноосное сжатие альтернативы нет.

Тем не менее, учитывая, что большинство операций по производству кускового торфа после его формования (ворочка, валкование, переукладка валков, уборка) связано с деформациями изгиба куска, испытания прочности на изгиб дает дополнительную информацию для обоснования технологических основ этого процесса.

Для обеспечения возможности оперативного контроля качества продукции, разработана и создана конструкция стенда для испытания образцов на прочность с ручным многоступенчатым приводом, преобразующим вращение штурвала в поступательное движение конического наконечника (*рисунок 2.4*) [144, 193, 194].





**Рисунок 2.4** - Устройство (А) и кинематическая схема (Б) стенда для определения разрушающей нагрузки и контроля прочности формованного торфа на изгиб [144]

Стенд состоит из станины 1, кожуха 2, закрывающего механический привод, штурвала 3 диаметром 430 мм, соединенного через шестерню 4, зубчатое колесо 5 и шестерню 6 с вертикально расположенной зубчатой рейкой 7. На столике 8 на установочных опорах 9 размещается испытываемый образец 10. Узел измерения нагрузки выполнен в виде тензометрической S-образной скобы 11 с коническим наконечником 12, который закреплен на зубчатой рейке 7. Тензометрическая скоба 11 соединена с цифровым динамометром ДОУ-3-1И 13, установленным на столике 14 и имеющим верхний предел измерений 1 кН [74].

Методика измерения прочности на изгиб представляет собой следующее: образец кускового торфа 10 располагают на установочных опорах 9 столика 8. Вращением штурвала 3, приводящего в движение механический привод, зубчатая рейка 7, с установленной на ней тензометрической скобой 11 и коническим наконечником 12, перемещается в вертикальном направлении. В результате конический наконечник 12 оказывает давление на испытываемый образец 10, что приводит к деформированию тензометрической скобы 11. От нее в цифровой

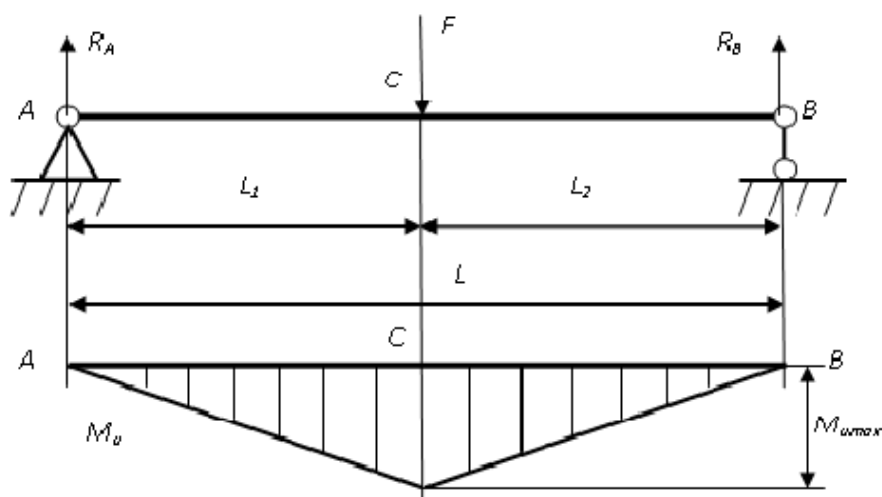
динамометр 13 поступает цифровой сигнал. Цифровой динамометр работает в двух режимах: дискретной фиксации нагрузки и фиксации максимального усилия. При втором варианте цифровой динамометр запоминает максимальную нагрузку, действующую на конический наконечник при разрушении образца, и отражает его на цифровом дисплее [74].

Конструкция механического привода позволяет обеспечить плавное создание разрушающей нагрузки с коэффициентом усиления до 500, в результате чего отсутствует необходимость приложения больших усилий к штурвалу.

Регулируемые установочные опоры позволяют проводить испытания образцов различной формы и размеров: длина испытываемой части от 75 до 300 мм и ширина (высотой) от 1 до 130 мм. Поверхности базирующих установочных опор и конического наконечника исполнены в виде поверхностей с радиусом постоянной кривизны, что снижает риск развития трещин и скалывания образца, а, следовательно – повышает качество получаемых результатов [74].

Приложенная в центре испытываемого на изгиб образца нагрузка  $F$  вызывает равные реакции установочных опор (*рисунок 2.5*) при условии равенства расстояний  $L_1$  и  $L_2$  (м):

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} F \cdot R_A = R_B = \frac{1}{2} F \quad (2.14)$$



**Рисунок 2.5** - Силовая схема создания нагрузки и эпюра изгибающих моментов

Изгибающий момент  $M_{и}$ , Н·м, действующий по всей длине образца имеет максимальное значение в точке  $C$  (точке приложения нагрузки) и определяется по формуле:

$$M_{и\max} = R_A \frac{L}{2} = \frac{1}{2} F \frac{L}{2} = \frac{FL}{4}. \quad (2.15)$$

Прочность образца на изгиб (Па) в наиболее нагруженной точке равно отношению максимального изгибающего момента, действующего в сечении к моменту сопротивления образца изгибу  $W_x$  (м<sup>3</sup>):

$$R_{изг} = \frac{M_{и\max}}{W_x}. \quad (2.16)$$

Зависимость для определения момента сопротивления образца круглого сечения (в нашем случае, цилиндрического образца) следующая

$$W_{x\text{кр}} = \frac{\pi d_0^3}{32}, \quad (2.17)$$

где  $d_0$  – наружный диаметр образца (м).

Таким образом, формула для вычисления изгибающего напряжения для цилиндрического экспериментального образца кускового торфа будет иметь окончательный вид:

$$R_{\text{изг}} = \frac{8FL}{\pi d_0^3}. \quad (2.18)$$

Причем формула (2.18) при определении прочности на изгиб учитывает расстояние между установочными опорами ( $L$ ) и форму поперечного сечения формованного торфа [74].

Также, как и в случае с определением прочности на сжатие, измеряется площадь его поперечного сечения, устанавливается требуемое расстояние между опорами, на которые кладется сам образец. Затем, включается цифровой динамометр (необходим предварительный прогрев в течение 10 мин), обнуляются его показания и далее он переводится в режим фиксации значения максимальной разрушающей нагрузки. К размещенному на установочных опорах испытываемому образцу штурвалом подводится конический наконечник стенда (рисунки 2.6) [74].



**Рисунок 2.6** - Определение прочности образцов кускового торфа цилиндрической формы на изгиб

При медленном вращении штурвала, нагрузка доводится до максимального значения, при котором происходит разрушение образца. Прочность на изгиб вычисляется по полученным значениям максимальной

разрушающей нагрузке по формуле (2.18). В экспериментах использовалось пятикратная повторность. Относительная погрешность измерений не превышала 5%.

## **2.5. Методика исследования водопогложительных и водоотталкивающих характеристик образцов торфа**

Водопоглощаемость – это способность материала поглощать и удерживать влагу. Водопоглощаемость кускового торфа зависит от многих факторов, основными из которых является степень разложения, зольность и дисперсность торфомассы. В технологии добычи кускового торфа необходимо стремиться к предельно возможному снижению этой величины. Для регулирования и прогнозирования процесса поглощения влаги торфом необходимо знать его физические закономерности.

Водопоглощаемость определяется как выраженное в процентах (или реже в долях единицы) отношения массы, впитанной торфом воды, к начальной массе образца:

$$B_{\tau}^w = \frac{m_{\tau} - m_{\text{н}}}{m_{\text{н}}}, \quad (2.19)$$

где  $B_{\tau}^w$  – водопоглощение торфа при влажности  $w$  за  $\tau$ , ч;  $m_{\tau}$  – масса торфа после увлажнения в течение времени  $\tau$ , ч;  $m_{\text{н}}$  – начальная масса торфа при определенной влажности.

Водопоглощаемость зависит как от самого типа и вида торфа, так и от внутри- и межагрегатных связей в его структуре. Например, известно [107], что при одинаковом начальном влагосодержании и равной степени разложения низинный тип торфа поглощает влагу в меньшем количестве и набухает медленнее чем верховой. В процессе впитывания влаги торф увеличивается в размере за счет набухания отдельных компонентов его твердого (в основном органического) вещества. На практике принято величину водопоглощения торфа определять при нахождении его в воде

(полном погружении) в течение 48 ч, поскольку к этому времени процесс водопоглощения практически заканчивается. Хотя в действительности поглощение влаги может протекать в течение и более длительного промежутка времени.

В экспериментах по теме диссертационной работы для определения водопоглощения, предварительно взвешенные и с определенной влажностью образцы торфа, помещались в сетчатые мешочки (из полимерного материала), затем в пластиковые емкости с дистиллированной водой. Исследования проводились при температуре  $t = 22 \pm 3^\circ\text{C}$  (см. раздел 2.2), с таким расчетом, что величина водопоглощения зависела только от физико-химических свойств образцов и времени [38, 39. 76, 95–98, 151].

По истечению определенного промежутка времени образцы торфа доставались из емкостей и после гравитационного удаления из них свободно стекающей влаги, взвешиванием определяли количество впитанной воды. Замеры массы образцов производились через 30 мин, 1, 3, 5, 24 и 48 часов от начала опыта. Принятые временные интервалы позволяли определить характерные фазы впитывания.

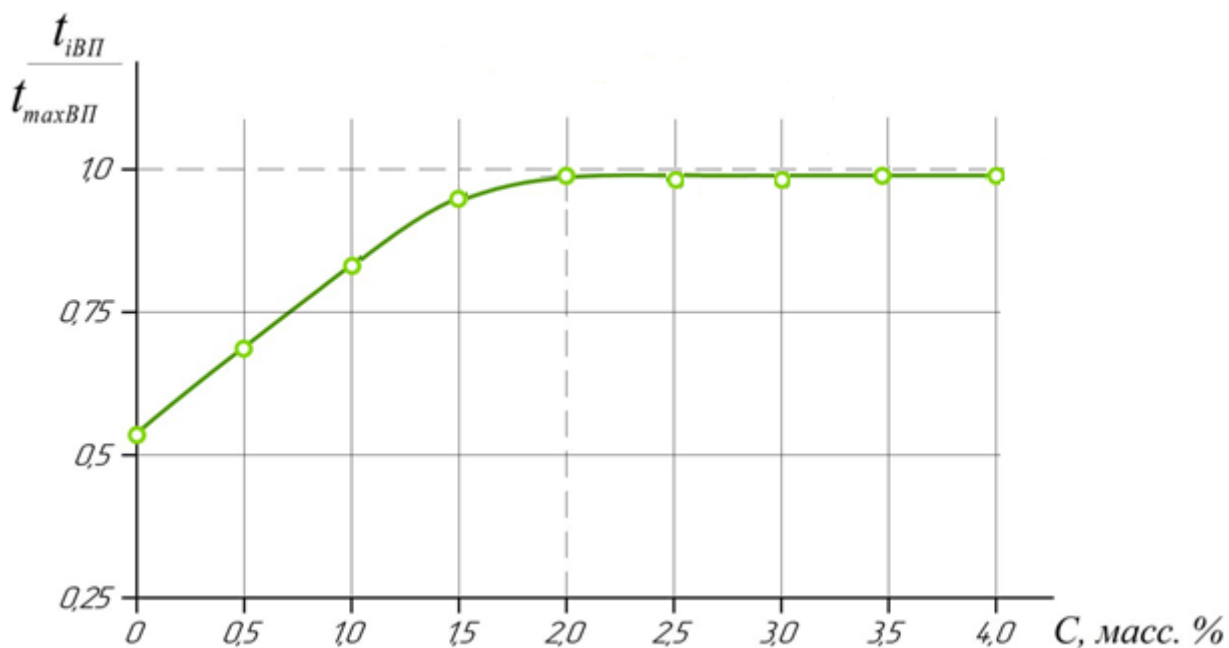
Определение величины водопоглощения представляет особый интерес при оценке свойств кусковой продукции при натуральной влажности. Величина водопоглощения сразу показывает то возможное количество воды, которое может поглотиться торфом. Установлено, что чем больше начальная влажность продукции, тем меньше она поглощает воды [35].

При определении водоотталкивающих свойств гидрофобно-модифицированного формованного кускового торфа на поверхность кусков наносились капли воды (рисунок 2.7), далее секундомером засекали время полного впитывания каждой капли.



**Рисунок 2.7** - Эксперимент по определению водоотталкивающих свойств торфа

Перед началом осуществления процесса обработки всего объема торфомассы гидрофобизирующими добавками проводилась оценка концентрации ГКЖ, необходимой для достижения максимально возможного водоотталкивания капель воды, на небольшой ее части (достаточной для формирования 3...5 образцов с каждой из исследуемых концентраций). После их сушки до равновесного влагосодержания, замерялось время впитывания капли контрольными образцами (без добавок) и добавками с концентрациями 0,5...4 масс. % с шагом 0,5 %. Максимальное время впитывания  $t_{\max \text{ вп}}$  рассчитывалось как среднее арифметическое по десяти измерениям кусков с концентрацией 4 % (по соображениям экономической эффективности). Время впитывания куском с  $i$ -той концентрацией  $t_{i \text{ вп}}$  рассчитывалось по такой же методике. Затем по результатам предварительных оценочных экспериментов был построен график зависимости  $t_{i \text{ вп}}/t_{\max \text{ вп}} = f(C_{\text{доб}})$ , на основании анализа которого (рисунок 2.8) были выбраны концентрации для проведения серии крупномасштабных экспериментов (разделы 2.1...2.4).



**Рисунок 2.8** – Зависимость относительной водоотталкивающей способности  $t_{iВП} / t_{maxВП}$  кускового торфа (в долях от единицы) от концентрации добавки,  $C$  (масс.%)

В предварительных экспериментах было установлено, что пленки этилгидросилоксана достаточно надежно и стабильно изолируют гидрофобную пористую структуру торфа от проникновения капельножидкой влаги начиная с концентрации гидрофобизатора 2 % и при повышении концентрации не гидрофобность практически не изменяется.

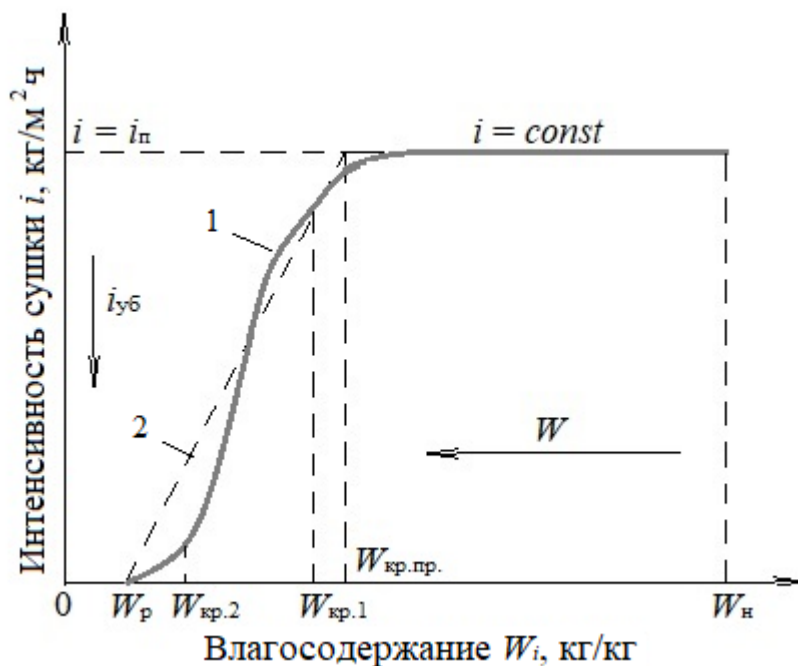
## 2.6. Дополненная методика по расчету продолжительности сушки гидрофобно-модифицированного кускового торфа

Методика расчета продолжительности сушки кускового торфа была разработана на основе теоретических и экспериментальных исследований Всесоюзного научно-исследовательского института торфяной промышленности (ВНИИТП), Калининского филиала ВНИИТП, а также Калининского политехнического института (ныне – Тверской государственный технический университет). Однако в условиях предварительной гидрофобной обработки торфомассы перед формованием



изменяется ряд ее физико-химических характеристик, которые необходимо учесть при прогнозировании продолжительности сушки торфяных кусков.

Для анализа влияния гидрофобной модификации торфомассы на продолжительность сушки кускового торфа кривые интенсивности, обычно представляются в виде принципиальной схемы расчета (рисунок 2.9) [6].



**Рисунок 2.9** - Принципиальный график интенсивности сушки кускового (формованного) торфа

Известно [7], что характер кривой интенсивности (наличие постоянного и убывающего периодов интенсивности обезвоживания) сушки формованного торфа связан с наличием в его объеме капиллярно-пористой структуры. Численные значения характерных точек на кривой будут зависеть от условий внутреннего массопереноса (размер пор и капилляров, плотность, гидрофобность) и внешних условий (температура, относительная влажность воздуха, атмосферное давление и др.). Постоянный период будет продолжаться до тех пор, пока дефицит влаги на поверхности (зоне) испарения куска будет компенсироваться ее подпиткой из центральных зон. При этом скорость испарения будет примерно совпадать со скоростью влагопереноса в зону испарения (рисунок 2.9). Как только внутренний влагоперенос замедлится, система перейдет в убывающий период

интенсивности сушки, который будет продолжаться до равновесного влагосодержания  $W_p$ . Точка перехода из постоянного в убывающий период – первое критическое влагосодержание  $W_{кр пр}$ . Интенсивность сушки кускового торфа в убывающем периоде уменьшается по достаточно сложной зависимости (рисунок 2.9, кривая 1). С целью упрощения расчетной формулы эта кривая заменяется прямой 2, соединяющей точку приведенного критического влагосодержания  $W_{кр пр}$  с равновесным влагосодержанием  $W_p$ . В этом случае интенсивность сушки в убывающем периоде (при  $W < W_{кр пр}$ ) будет равняться

$$i_{уб} = i_{п} \frac{W - W_p}{W_{кр пр} - W_p}, \quad (2.20)$$

где  $i_{п}$  – интенсивность сушки в постоянном периоде (при  $W < W_{кр пр}$ ), кг/(м<sup>2</sup>·ч).

Интенсивность сушки в постоянном периоде рассчитывается по формуле

$$i_{п} = \alpha \cdot i_{и} \cdot A \cdot K_c \exp(-\beta \cdot K_c), \quad (2.21)$$

где  $\alpha$  – постоянная испарителя;  $i_{и}$  – испаряемость с водонасыщенной поверхности испарителя Н.М. Топольницкого, кг/(м<sup>2</sup>·ч);  $A$  – постоянная формы куска (для цилиндрического куска  $A = 5,33$ );  $K_c$  – критерий слоя, который представляет собой отношение толщины куска торфа прямоугольного поперечного сечения ( $h_{пл}$ ) к высоте куска ( $h_k$ ), то есть

$K_c = \frac{h_{пл}}{h_k}$ , расположенных на одной и той же площади поля сушки;  $\beta$  –

величина, зависящая от степени разложения и качества переработки торфомассы, которое будет оказывать влияние на величину объемной усадки.

Таким образом,

$$A = d_{н} \frac{f_{н}}{V_{н}}; \quad K_{сл} = \frac{P_c \cdot (1 + W_{н})}{d_{н} \cdot \gamma_{н}},$$

где  $d_{н}$  – начальный диаметр куска, м<sup>2</sup>;  $W_{н}$  – начальное влагосодержание куска, кг/кг.

Постоянная  $\alpha$  определяется глубиной сосуда почвенного испарителя и цветом используемого в нем песка. Для белого кварцевого песка, помещаемого в сосуд на глубину 50 мм,  $\alpha = 0,588$ , а для черного песка  $\alpha = 0,525$ . Произведение  $A \cdot K_c$  равно отношению геометрической поверхности кусков торфа  $F_n$  к площади поля сушки  $F_{\text{п}}$ , на которой они расположены

$$\frac{F_n}{F_{\text{п}}} = A \cdot K_c = \frac{P_c \cdot (1+W)}{\gamma_n} \cdot \frac{f_n}{V_n}, \quad (2.22)$$

где  $P_c$  – загрузка поля по сухому веществу торфа, кг/м<sup>2</sup>;  $f_n$ ,  $V_n$  и  $\gamma_n$  – соответственно геометрическая поверхность, объем и плотность отдельного куска в начале процесса сушки. Эмпирический коэффициент  $\beta$  изменяется в диапазоне 0,75...1,1 и зависит от величины усадки

$$\beta = \frac{2,5}{2,2 + K_{\text{yc}}}, \quad (2.23)$$

где  $K_{\text{yc}}$  – среднее значение коэффициента объемной усадки торфа, которое зависит от качественной характеристики торфяной залежи и степени механического диспергирования торфа. В диссертационной работе **коэффициент усадки определялся экспериментальным путем**, а в методике ВНИИТП, он берется по усредненным данным, указанным в справочной литературе [7].

Продолжительность сушки кускового торфа в постоянном периоде определяется по формуле

$$\tau_n = \frac{P_c}{i_n} \cdot \frac{\bar{F}_n}{F_n} \cdot (W_n - W_i) \cdot K_3, \quad (2.24)$$

где  $\tau_n$  – продолжительность сушки торфа от начального  $W_n$  до текущего  $W_i$  влагосодержания. Здесь необходимо подчеркнуть, что текущее влагосодержание определяется соотношением  $W_i \geq W_{\text{кр пр}}$ .  $\bar{F}_n$  – средняя площадь поверхности куска в диапазоне влагосодержания от  $W_n$  до  $W_i$ .

В стандартной методике ВНИИТП коэффициент удлинения сушки за счет влагообмена куска с влажной залежью  $K_3$  определяется исходя из того условия, что при величине влагосодержания верхнего

двадцатимиллиметрового слоя залежи более 5 кг/кг сушка будет удлиняться до 20 %. При гидрофобной обработке торфомассы **фактор удлинения сушки учитываться не будет**, и  $K_3 = 1$ .

Для оценки уменьшения площади поверхности куска в процессе сушки в постоянном периоде целесообразно ввести коэффициент  $K_{\text{пн}} = \bar{F}_{\text{п}} / F_{\text{н}}$ . Он показывает, как будет изменяться площадь поверхности испарения куска в процессе сушки в постоянном периоде и рассчитывается по формуле [7]

$$K_{\text{пн}} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (W_{\text{н}} + W_{\text{кп}}) \cdot K_{\text{ус}}}{1 + K_{\text{ус}} W_{\text{н}}} \right]^2}. \quad (2.25)$$

При этом, делается допущение, что площадь поверхности испарения будет равняться площади поверхности куска, что на самом деле не соответствует действительности. Реально площадь испарения за счет неровности поверхности будет намного больше, но измерить ее при реализации технологии экономически оправданными средствами не представляется возможным

Продолжительность сушки кускового торфа в убывающем периоде

$$\tau_y = \frac{P_c}{i_{\text{п}}} \cdot \frac{F_{\text{н}}}{F_y} (W_{\text{кпн}} - W_{\text{п}}) \ln \frac{W_{\text{кпн}} - W_{\text{п}}}{W_{\text{к}} - W_{\text{п}}} K_3, \quad (2.26)$$

где  $\bar{F}_y$  – средняя площадь поверхности куска в диапазоне влагосодержания от  $W_{\text{кпн}}$  до конечного  $W_{\text{к}}$ . Коэффициент  $K_{\text{фв}} = \bar{F}_y / F_{\text{н}}$  показывает изменение площади поверхности куска, но, в отличие от (2.25) в убывающем периоде он рассчитывается по формуле

$$K_{\text{фв}} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (W_{\text{кпн}} + W_{\text{кп}}) K_{\text{ус}}}{1 + K_{\text{ус}} W_{\text{н}}} \right]^2}. \quad (2.27)$$

Приведенное первое критическое влагосодержание

$$W_{\text{кп}} = W_{\text{п}} + B \left[ \frac{i_{\text{п}} \cdot d_{\text{н}} (1 + W_{\text{н}})}{A \gamma_{\text{н}}} \cdot \frac{4}{\pi} 10^5 - 0,9 \right], \quad (2.28)$$

где  $W_{\text{п}}$  – среднее влагосодержание поверхности куска торфа, кг/кг;  
 $B$  – величина, обратно пропорциональная коэффициенту диффузии, Н/м<sup>2</sup>.  
 Значения  $W_{\text{п}}$  и  $B$  определяются в зависимости от коэффициента объемной усадки торфяного куска

$$W_{\text{п}} = 1,02 \left( \frac{1}{K_{\text{yc}}} \right)^{0,316}. \quad (2.29)$$

$$B = 0,365 - 0,117 \cdot K_{\text{yc}}, \text{ если } K_{\text{yc}} \leq 0,9; \quad (2.30)$$

$$B = 0,26, \text{ если } K_{\text{yc}} > 0,9 \quad (2.31)$$

При меньшей величине конечного влагосодержания  $W_{\text{к}}$  по сравнению с критическим  $W_{\text{кп}}$ , что соответствует подавляющему большинству случаев, общая продолжительность сушки от начального влагосодержания до конечного будет равна сумме длительности постоянного и убывающего периодов

$$\tau_{\text{o}} = \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{y}}. \quad (2.32)$$

Осадки ожидаемо увеличивают влажность кусков торфа, поэтому необходимо дополнительное время для испарения поглощенной влаги. Продолжительность сушки  $\tau_{\text{oc}}$  с учетом выпадающих в период сушки осадков определяется по формуле

$$\tau_{\text{oc}} = \frac{\tau_{\text{o}} \cdot i_{\text{п}}}{i_{\text{п}} - h_{\text{oc}} \cdot K_{\text{oc}}}, \quad (2.33)$$

где  $h_{\text{oc}}$  – среднегодовое количество осадков кг/(м<sup>2</sup> ч);  $K_{\text{oc}}$  – коэффициент поглощения осадков кусковым торфом

$$K_{\text{oc}} = \frac{3,9}{R_{\text{т}}} + 0,015(W_{\text{н}} + W_{\text{к}}). \quad (2.34)$$

Таким образом, зависимость интенсивности и продолжительности сушки торфа от почвенно-природных факторов определяется величинами  $\beta$ ,  $K_3$ ,  $K_{FP}$  и  $K_{FY}$ , а также  $W_{II}$  и  $B$ . С увеличением коэффициента  $\beta$  (по сути, – степени разложения и степени механического диспергирования) увеличивается коэффициент объемной усадки, а интенсивность сушки в постоянном периоде возрастает. Обусловлено это изменением внутреннего влагопереноса в узких порах, величины альбедо поверхности куска и расположения кусков торфа на поле сушки относительно друг друга.

Зависимость интенсивности сушки в постоянном периоде от метеорологических условий определяется величиной комплексного показателя метеорологических условий сушки (испаряемости  $i_{II}$ ). Испаряемость при конвективном режиме зависит от температуры, относительной влажности воздуха и скорости ветра, а при радиационно-конвективном – в наибольшей степени от величины солнечной радиации.

Очень важным является то, что к зависимости интенсивности и продолжительности сушки от технологических факторов, определяемых формой и размерами куска (величины  $A$  и  $d$ ), степенью механического диспергирования торфа и условиями расположения кусков на поле сушки ( $K_c$ ), добавляется степень гидрофобизации их структуры. Она будет оказывать критически значимое влияние на начальное влагосодержание формирования (его снижение за счет увеличения пластичности торфомассы), влагообмен с залежью (практическое отсутствие), коэффициент поглощения осадков (снижение), что однозначно должно привести к уменьшению длительности технологического цикла и значительного улучшения технико-экономических показателей добычи кускового торфа. В ряде случаев для выявления количественных показателей зависимости интенсивности и продолжительности сушки торфа от того или иного фактора или параметра необходимо сочетание теоретического и эмпирического подходов (глава 4).

## Выводы по главе 2

1. Обоснован выбор торфяного сырья и гидрофобизатора.
2. Цилиндрические образцы гидрофобно-модифицированного кускового торфа были сформованы методом экструзии из предварительного подготовленной торфяной массы влажностью 68-80%.
3. В процессе сушки ежедневно контролировались основные физико-механические характеристики образцов в соответствии с комплексной методикой изучения процесса их сушки и структурообразования.
4. При исследовании прочностных показателей формованных образцов торфа, определялась прочность на одноосное сжатие и изгиб.
5. При исследовании водопоглотительных характеристик кускового торфа использовались показатели объемного поглощения воды и поверхностного капельного смачивания.
6. Раскрыта суть дополнений в методику по расчету продолжительности сушки гидрофобно-модифицированного кускового торфа, заключающихся в учете снижения коэффициента поглощения осадков, уточнения коэффициента объемной усадки, а также сокращение времени сушки за счет ликвидации влагообмена с подстилающей залежью.

### **3. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНОЙ МОДИФИКАЦИИ НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СУШКЕ И НАМОКАЦИИ КУСКОВОГО ТОРФА**

#### **3.1. Исследование процессов сушки гидрофобно-модифицированного кускового торфа**

Процесс сушки является одним из основных технологических процессов при добыче торфяного сырья практически всеми применяемыми способами [38, 39, 76, 95–98, 219, 220]. Исключение, пожалуй, могут составлять лишь те технологии добычи, которые обеспечивают торфом перерабатывающие производства по получению на его основе жидких продуктов сельскохозяйственного и медицинского назначения. То есть для технологий, не предусматривающих искусственной сушки.

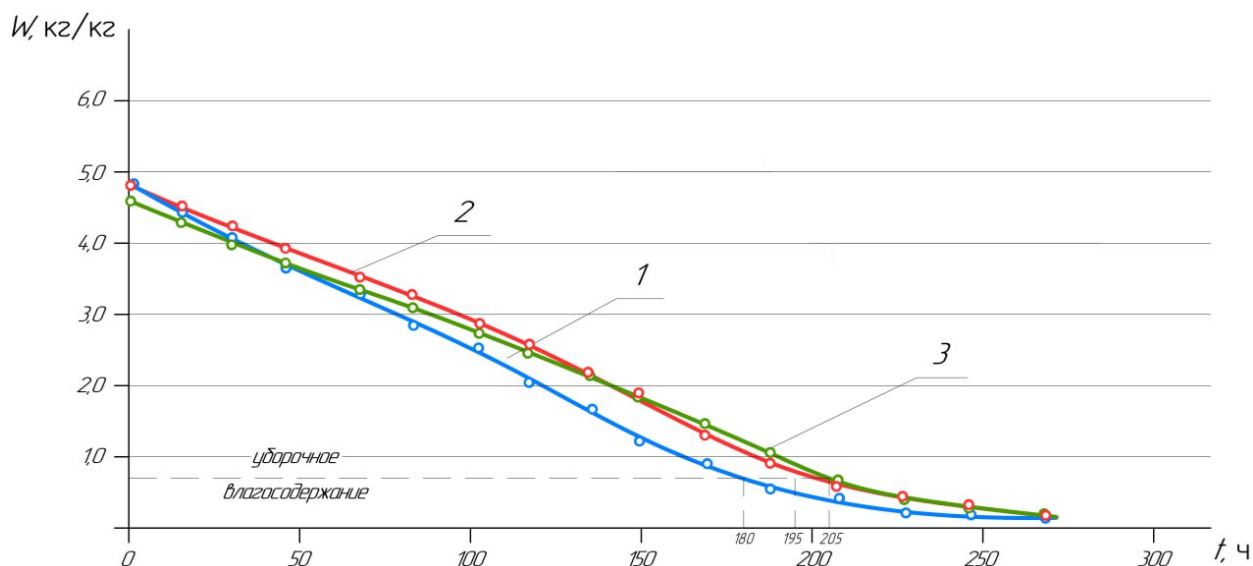
В отличие от фрезерного способа добычи торфа, в котором продолжительность технологического цикла составляет 1 или 2 дня, при производстве кускового торфа, практически все время цикла (свыше 95 %) приходится на сушку расстила торфяных кусков. Поэтому продолжительность цикла составляет от 20 до 55 дней. Это связано с большей начальной влажностью кускового торфа (~ 82...88 %) по сравнению с фрезерным (~ 75...79 %), высокой загрузкой поля сушки, особенностями обезвоживания и намочания и других менее значимых факторов.

Таким образом, снижение времени сушки кускового торфа является основополагающим фактором интенсификации технологии его добычи.

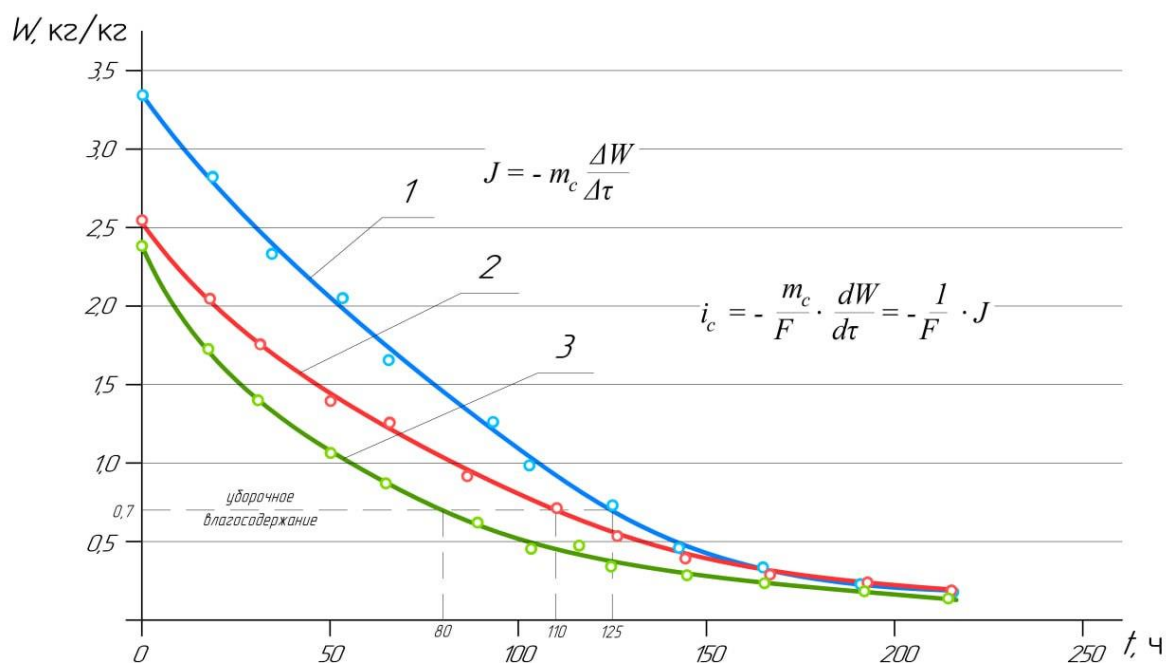
Проводимые ранее в основных научно-исследовательских организациях исследования по изучению процессов сушки кускового торфа в лабораторных и полевых условиях [6] показали, что их закономерности практически не зависят от режима обезвоживания, а отличаются только по скорости и интенсивности сушки. Эта дает возможность анализа данных процессов, протекающих в образцах в лабораторных условиях при относительно «мягком» радиационно-конвективном теплоподводе и переноса их на «жесткий» режим, протекающий в полевых условиях.



Сравнительный анализ кривых сушки (*рисунок 3.1, рисунок 3.2*) для исследуемых видов торфа показывает их существенные различия при изменении степени разложения торфяного сырья. В первую очередь это относится к начальному влагосодержанию формования. Его величина для торфа с низкой степенью разложения варьирует от 4,60 кг/кг до 4,83 кг/кг (*рисунок 3.1*), что находится в пределах ошибки измерения и не зависит от наличия гидрофобизирующего агента в формуемой торфомассе. Для переходного торфа с высокой степенью разложения (*рисунок 3.2*) его колебания составляют 2,39...3,33 кг/кг с явно выраженной тенденцией к снижению по мере увеличения концентрации модифицирующей добавки. При этом необходимо отметить, что показатель начального влагосодержания (например, более высокий в торфе низкой степени разложения), в основном, зависит от природных характеристик торфа. В этом случае ожидаемо, что время сушки до равновесного влагосодержания торфа с низкой степенью разложения составляет 260 часов (применительно к технологии добычи – 26 суток). Время сушки до уборочной влажности (~ 40 %) составит примерно 180 часов (18 суток). Причем характер кривых сушки для этого торфа и его композиций на протяжении всего процесса не изменяется. Это свидетельствует о том, что гидрофобная добавка этилгидросилоксана в исследуемом диапазоне концентраций не оказывает влияния на процесс внутреннего влагопереноса при сушке торфа низкой степени разложения.



**Рисунок 3.1** - Кривые сушки кускового торфа (верховой торф,  $R_{\tau} = 5 \dots 10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

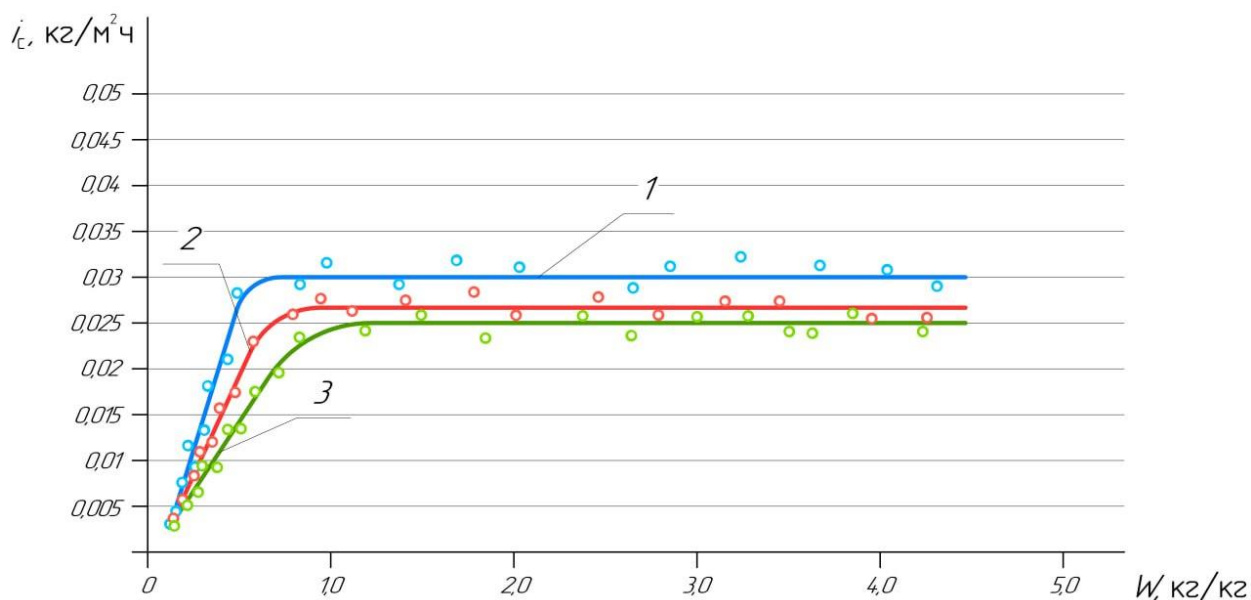


**Рисунок 3.2** - Кривые сушки кускового торфа (переходный торф,  $R_{\tau} = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

Если же проанализировать зависимости влагосодержания от времени у переходного торфа с высокой степенью разложения, то здесь картина совершенно другая (рисунок 3.2). До равновесного влагосодержания образцы высыхают за 200 часов, а до уборочного за 120 часов, что ниже

соответственно на 29 % и 34 % по сравнению с предыдущим экспериментом. При этом необходимо обратить внимание на то, что влияние кремнийорганической добавки особенно ощутимо на протяжении всего процесса сушки (особенно на его начальном этапе) и постепенно уменьшается в зоне относительно низких влагосодержаний. Однако главным фактором здесь является уменьшение начальной влажности формования, которое впоследствии сокращает процесс сушки.

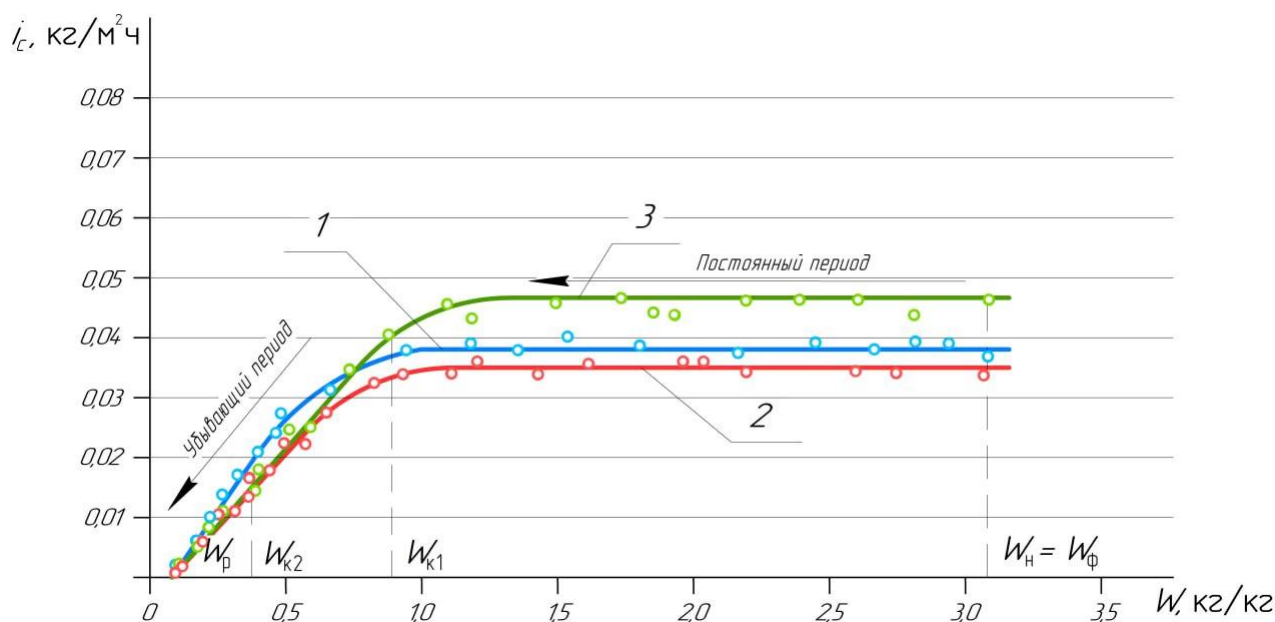
Более детальную информацию об особенностях процесса сушки композиционных гидрофобно-модифицированных составов позволяет получить анализ кривых интенсивности сушки (рисунк 3.3, рисунок 3.4).



**Рисунок 3.3** - Кривые интенсивности сушки кускового торфа (верховой торф,  $R_T = 5 \dots 10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

Здесь хорошо заметны ярко выраженные постоянный и убывающий периоды интенсивности сушки, разделяемые точкой (областью) первого критического влагосодержания  $W_{кр1}$ . В области низких влагосодержаний (ниже 0,5 кг/кг) выделяется еще одна точка второго критического влагосодержания  $W_{кр2}$ . В настоящее время специалисты в области сушки формованных дисперсных материалов связывают наличие этих периодов с особенностями капиллярно-пористой структуры, и фазового состояния жидкости в процессе влагопереноса в системе [7].

При общем примерно одинаковом характере изменения интенсивности сушки в исследуемых торфяных образцах наблюдается некоторое снижение показателя при наличии добавки и увеличении ее концентрации. Причем наибольшее различие достигается в области высоких и средних (для конкретного вида образцов) влагосодержаний. Например, в верховом торфе низкой степени разложения при влагосодержании равном 4 кг/кг снижение на 20 %; при 2,5 кг/кг на 30 %; при 1 кг/кг тоже на 30 %, а уже с  $W = 0,5$  кг/кг интенсивность испарения из образцов с добавками начинает повышаться, достигая в максимуме 20 % роста.



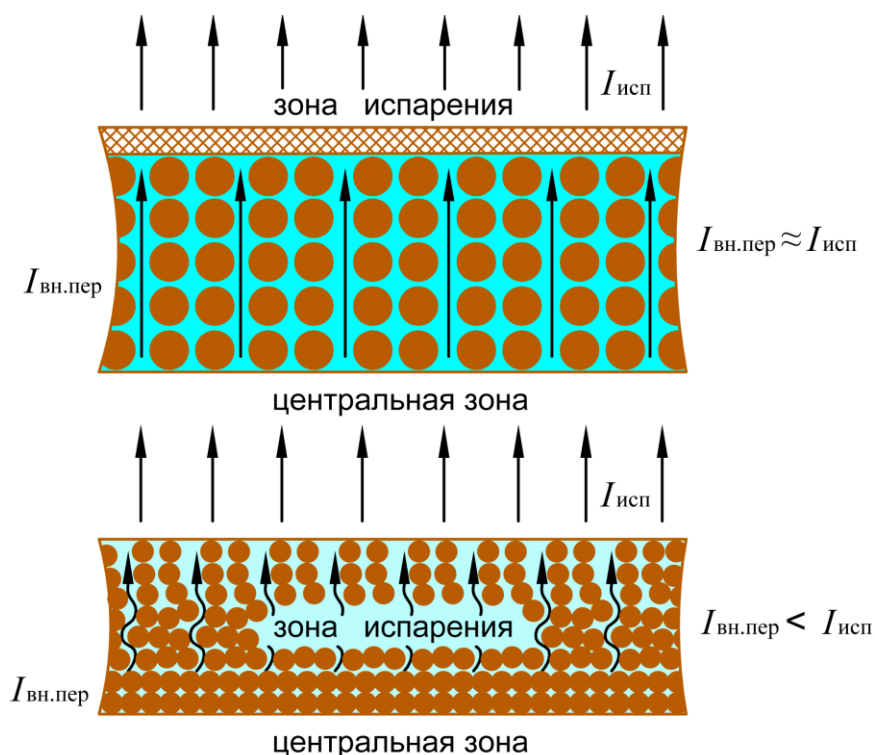
**Рисунок 3.4** - Кривые интенсивности сушки кускового торфа (переходный торф,  $R_T = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

Примерно такие же закономерности наблюдаются и в переходном торфе с высокой степенью разложения, хотя численные значения  $\Delta i_c$  здесь ниже на 10...15%, что особенно заметно в убывающем периоде.

Вероятнее всего, это связано с меньшим диапазоном влажности в таких системах, не позволяющим условно синхронизировать процесс испарения с внутренним влагопереносом.

В целом предлагается следующий механизм сушки формованных (метод экструзии в вязкопластичном состоянии) торфяных систем в

диапазоне от эксплуатационной (формовочной) до равновесной влажностей (рисунк 3.5). На начальном этапе сушки при испарении влаги с поверхности куска, образуется зона с пониженным поверхностным влагосодержанием  $W_{\text{п}}$ , а в центральной зоне куска влагосодержание  $W_{\text{ц}}$  будет выше. Таким образом, поток жидкой влаги будет направлен по системе капилляров из центральной зоны на поверхность для ликвидации дефицита, возникающего на поверхности. В этом случае скорости внешнего  $I_{\text{исп}}$  и внутреннего  $I_{\text{вн.пер}}$  влагопереноса будут примерно равны до тех пор, пока влаги в центральной зоне будет хватать для ликвидации ее дефицита в зоне испарения. Таким механизмом процесса влагопереноса обуславливается постоянный период сушки (рисунк 2.9) от  $W_{\text{н}}$  до  $W_{\text{кр}1}$ .



**Рисунок 3.5** - Схема процесса сушки кускового торфа

После того, как запаса влаги в центральной зоне куска не будет хватать для обеспечения непрерывной ее транспортировки в зону поверхностную испарения, последняя будет углубляться. В идеальном варианте зона

испарения будет расширяться вплоть до центральной части формованного торфа. Скорость внутреннего влагопереноса при этом будет снижаться по мере уменьшения среднего влагосодержания ( $I_{\text{вн.пер}} < I_{\text{исп}}$ ), а во влагопотоке постепенно начнет преобладать перенос в виде пара. На кривой интенсивности сушки эта часть убывающего периода продолжается от  $W_{\text{кр 1}}$  до  $W_{\text{кр 2}}$ . и, наконец от  $W_{\text{кр 2}}$  до  $W_{\text{р}}$  перенос осуществляется исключительно в виде пара.

Таким образом, снижение начальной влажности формирования для средне и высокоразложившегося торфа обусловлено физической адсорбцией цепей этилгидросилоксана в результате образования водородных связей с поверхностными гидроксильными группами преимущественно гуминовых кислот с образованием мономолекулярного слоя. Этот слой будет снижать предельное сопротивление сдвигу до оптимальных значений, при которых осуществляется формирование при одновременном снижении влажности.

Детальный механизм дальнейшей гидрофобизации системы, совмещенный со структурообразованием при сушке, будет рассмотрен ниже.

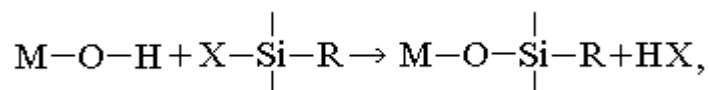
### **3.2. Исследование процессов структурообразования гидрофобно-модифицированного кускового торфа**

Основные подходы к объяснению физико-химической природы процессов структурообразования при сушке коллоидных капиллярно-пористых систем, к которым относится кусковой торф, достаточно подробно изложены в *разделе 1.1*. Но, в связи с тем, что кремнийорганические добавки в ряде случаев (*раздел 3.1*) оказывают влияние на внутренний влагоперенос, а также, вероятно, будут количественно и качественно трансформировать механизм межмолекулярного взаимодействия в системе, поэтому необходимо детальное изучение процессов формирования структуры при сушке.

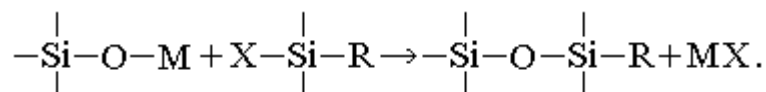
Если проанализировать основные теории, объясняющие природу взаимодействия кремнийорганических покрытий с обрабатываемым

материалом, то можно выделить две основные. В первой основную роль отводят химическим взаимодействием с поверхностью, а во второй – ван-дер-ваальсовым силам. В основном, исследователи [53, 54, 59, 78, 81, 146] склоняются к теории химических взаимодействий, поскольку устойчивые гидрофобные покрытия образуются кремнийорганическими полимерами, в которых у атома кремния имеются реакционные функциональные группы, реагирующие с обрабатываемым материалом.

Однако здесь необходимо обратить внимание на тот факт, что данная теория разрабатывалась применительно к минеральным силикатным материалам, как правило, с гидратированной поверхностью. То есть содержащие связанные с поверхностными атомами гидроксильные группы. При обработке таких материалов кремнийорганическими составами, имеющими реакционноспособные функциональные группы  $RSiX_3$ ,  $(RSiXO)_n$ ,  $R_2SiX_2$ , в которых  $X$  может быть представлен галогеном, водородом, а также более сложными соединениями типа  $OH$ ,  $NCO$ ,  $NCS$  и др. Эти функциональные группы взаимодействуют с поверхностными группами  $OH$  с химической фиксацией гидрофобной пленки по схеме:



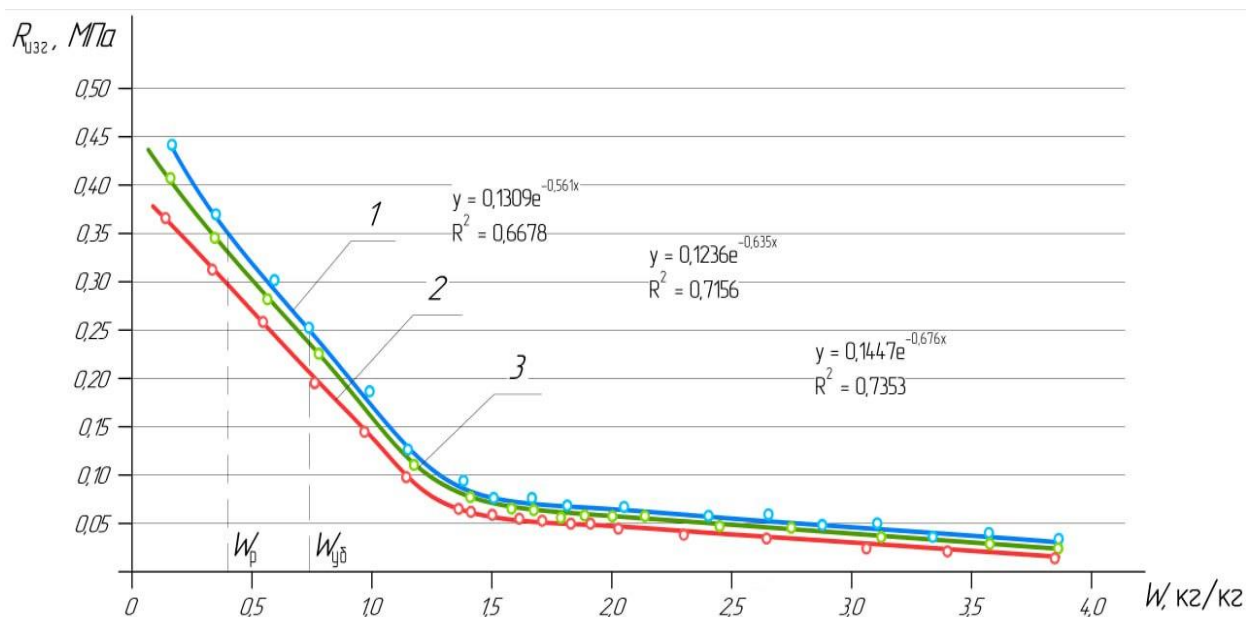
где  $M = Al, Mg, Ca$  и т. п. Если силикатный материал имеет группы  $Si-O-M$ , то образуются новые связи  $Si-O-Si$ :



Если же обработке подвергается торфяная система, представленная, в основном, органическим веществом, то изменяется функционирование обозначенного выше механизма по причине сравнительно небольшого количества таких соединений. При этом частичная реализация будет происходить при наличии силикатных материалов в минеральной части торфяных систем. Причем, по мере увеличения зольности торфа, а именно привнесенных минеральных компонентов (за счет водной и ветровой эрозии,

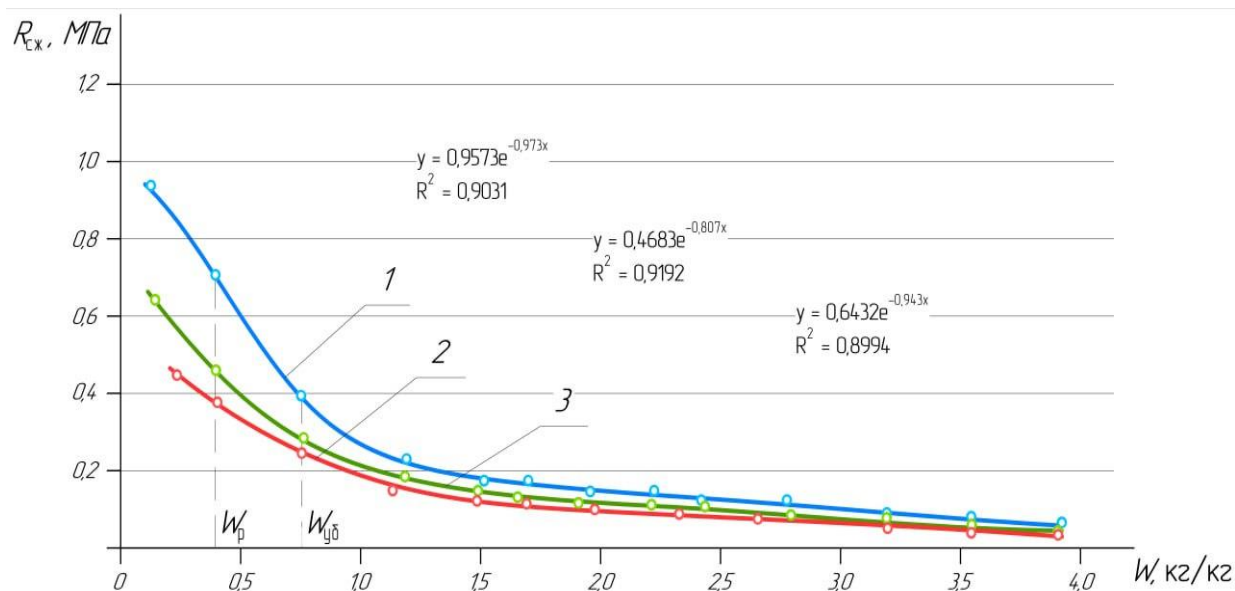
зазольения при прочистке осушительной системы месторождения и т. п.), реализация подобных схем образования водоотталкивающих пленок будет возрастать. В низкочольных видах торфа гидрофобные соединения могут удерживаться силами Ван-дер-Ваальса или при более высоких концентрациях – за счет сорбционных процессов в его пористой структуре. Вполне естественно, что такой механизм будет оказывать влияние на структурную прочность коллоидных капиллярно-пористых торфяных систем.

Это подтверждает анализ экспериментальных данных зависимости прочности от влагосодержания для исследуемых видов торфа (рисунк 3.6 – рисунок 3.9). Во всех без исключения экспериментах наблюдается некоторая потеря прочности при использовании ГКЖ-94. Однако абсолютная величина снижения прочности больше у торфа с высокой степенью разложения.

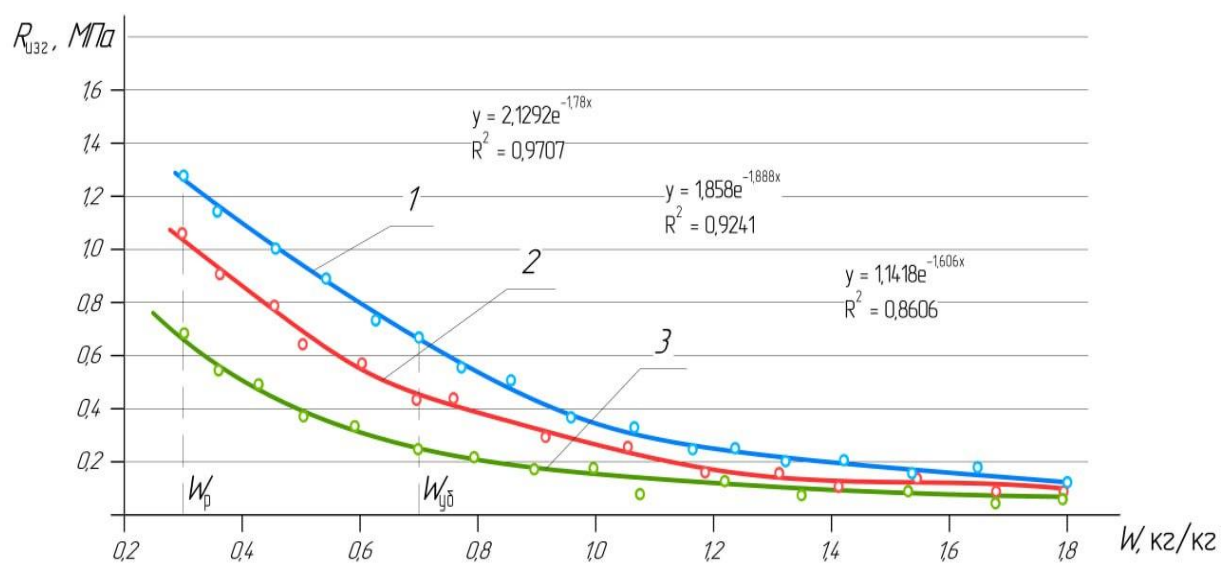


**Рисунок 3.6** - Зависимость прочности на изгиб от влагосодержания кускового торфа (верховой торф,  $R_T = 5...10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

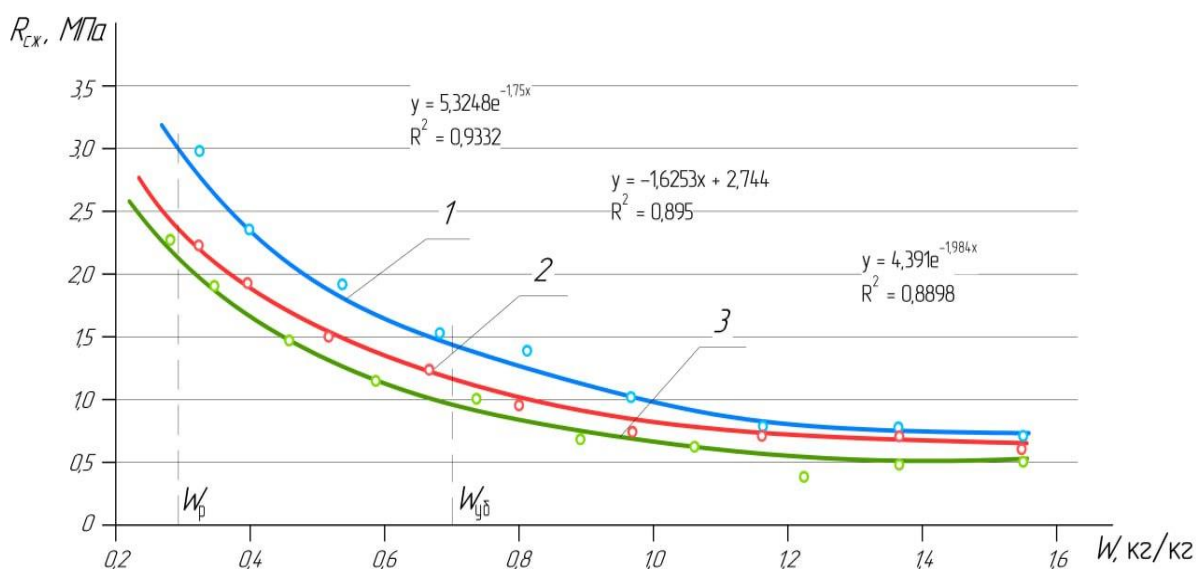




**Рисунок 3.7** - Зависимость прочности на сжатие от влагосодержания кускового торфа (верховой торф,  $R_T = 5...10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.



**Рисунок 3.8** - Зависимость прочности на изгиб от влагосодержания кускового торфа (переходный торф,  $R_T = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.



**Рисунок 3.9** - Зависимость прочности на сжатие от влагосодержания кускового торфа (переходный торф,  $R_T = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

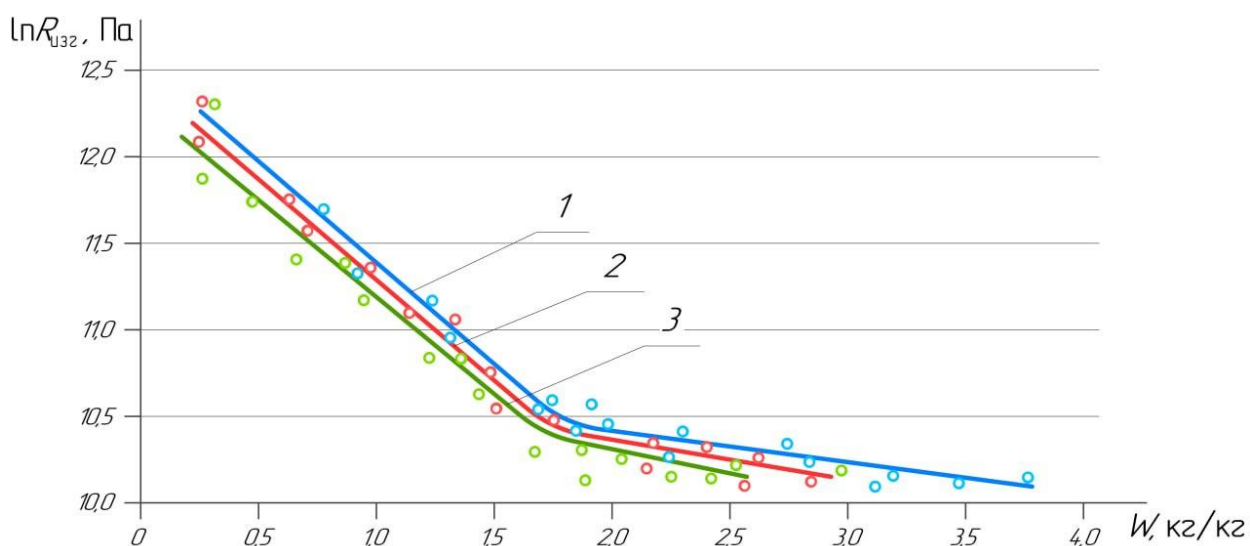
Для упрощения задачи по интерпретации полученных экспериментальных данных, проанализируем прочностные показатели в двух важных для реализации технологии добычи кускового торфа точках, характеризующих равновесное  $W_p = 0,3$  кг/кг и уборочное  $W_{yb} = 0,7$  кг/кг влагосодержания (таблица 3.1).

Для верхового торфа с низкой степенью разложения отрицательное влияние добавок на прочность особенно заметно в зоне уборочного влагосодержания. В зависимости от концентрации этилгидросилоксана отмечается снижение прочности образцов только при испытании на сжатие на 32...48 % при равновесном влагосодержании и на 31...44 % - при уборочном влагосодержании. То есть, снижение примерно одинаково, причем выявленных закономерностей от величины концентрации добавки здесь не отмечается. Испытание образцов на изгиб не выявило изменений прочности образцов в исследуемых зонах влагосодержаний.

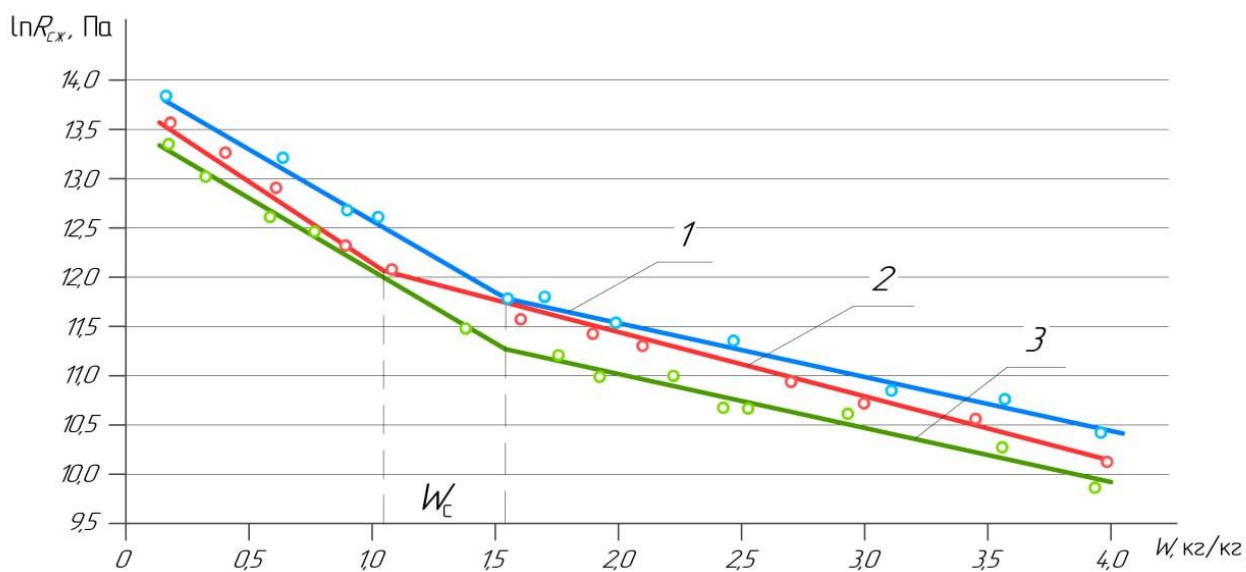
**Таблица 3.1** - Зависимость прочности при сушке экспериментальных образцов от концентрации ГКЖ-94

Характеристика торфа	Концентрация добавки, %	Прочность, МПа			
		$W_p = 0,3$ кг/кг		$W_{y6} = 0,7$ 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

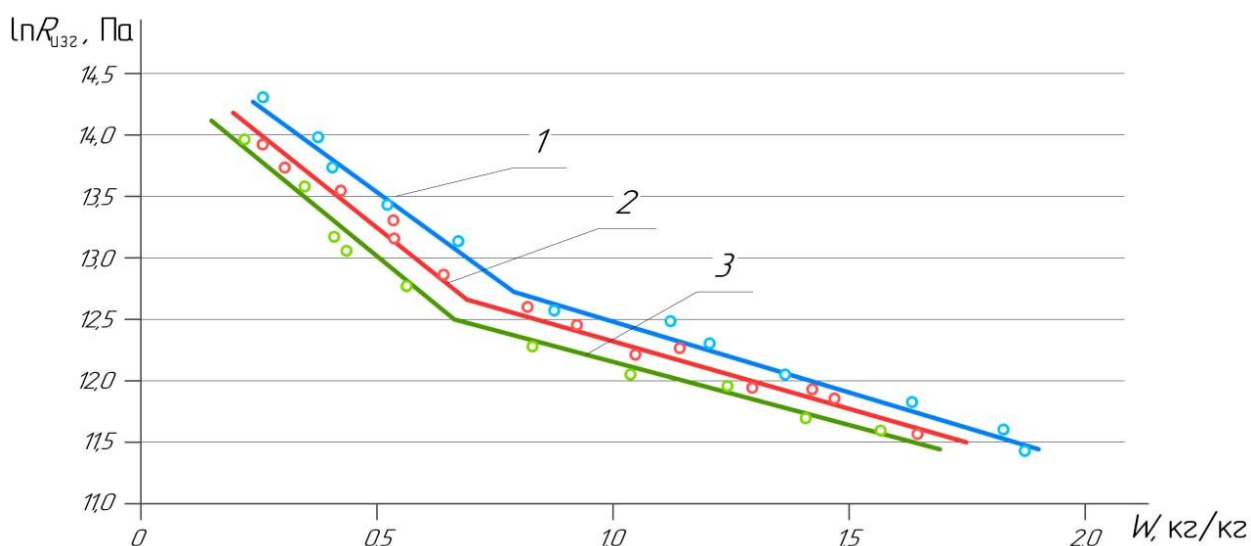
У переходного торфа с высокой степенью разложения отмечается отрицательное влияние добавок во всех исследуемых точках при испытаниях на изгиб и сжатие. Например, при равновесном влагосодержании снижение прочности составляет 19...47 % при изгибе и 23...24 % при сжатии, а при уборочном влагосодержании – 23...44 % при изгибе и 8...30 % при сжатии. Причем, здесь в отличие от предыдущего торфа отмечается явная тенденция зависимости прочности от концентрации гидрофобной добавки. По-видимому, на этот процесс оказывает влияние большое содержание гуминовых веществ в данном торфе, обладающих дополнительным структурообразующим воздействием на систему. Но для формулирования более точной гипотезы необходим анализ зависимости прочности от влагосодержания в полулогарифмических координатах (*рисунок 3.10 – рисунок 3.13*).



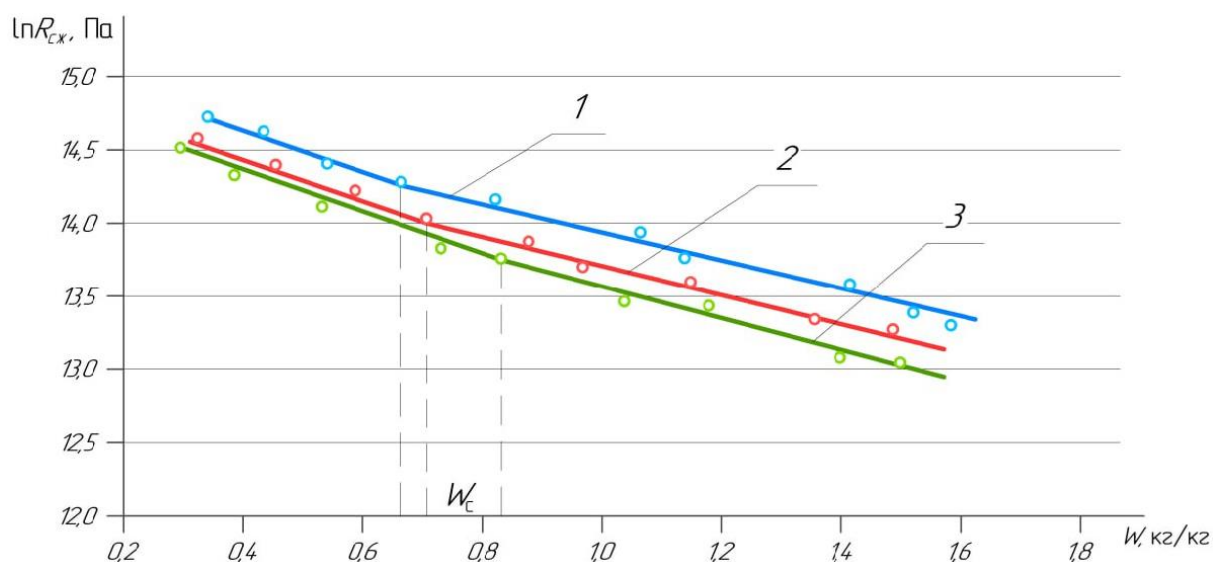
**Рисунок 3.10** - Зависимость натурального логарифма прочности на изгиб от влагосодержания кускового торфа (верховой торф,  $R_T = 5 \dots 10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.



**Рисунок 3.11** - Зависимость натурального логарифма прочности на сжатие от влагосодержания кускового торфа (верховой торф,  $R_T = 5 \dots 10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.



**Рисунок 3.12** - Зависимость натурального логарифма прочности на изгиб от влагосодержания кускового торфа (переходный торф,  $R_T = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.



**Рисунок 3.13** - Зависимость натурального логарифма прочности на сжатие от влагосодержания кускового торфа (1) (переходный торф,  $R_T = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

Анализ зависимости  $\ln R = f(W)$  образцов на основе слаборазложившегося верхового торфа показывает адекватность модели С.С. Корчунова и А.Е. Афанасьева со своими коэффициентами структурообразования (таблица 3.2) для расчета изменения прочности в процессе сушки

$$R = R_{ow} \cdot \exp(-\lambda \cdot W), \quad (3.1)$$

где  $R_{ow}$  – максимально возможная (теоретическая) прочность при влагосодержании образца равном нулю;  $\lambda = (\rho \cdot k_v) / (c \cdot \gamma_0)$  – коэффициент упрочнения структуры, определяемый плотностью твердой фазы  $\rho$ , плотностью сухого торфа  $\gamma_0$ , коэффициентом усадки  $K_{yc}$  и уплотнения  $c$ , определяемого по компрессионной кривой.

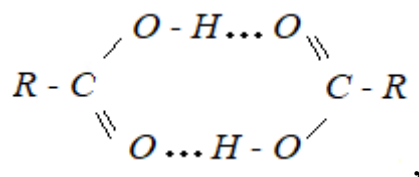
**Таблица. 3.2** - Основные характеристики структурообразования при сушке экспериментальных образцов

Характеристика торфа	Концентрация добавки, %	$R_{ow}$ , МПа	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$W_c$ , 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

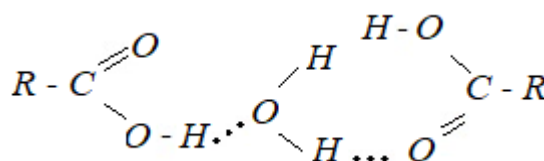
По принятым в настоящее время экспертным сообществом методикам, основные количественные характеристики структурообразования определяются по анализу изменения прочности на сжатие. При этом качественная закономерность процесса роста прочности на изгиб также будет соответствовать существующим гипотезам и теориям, подробно рассмотренным в *разделе 1.1*. График зависимости  $\ln R = f(W)$  представляет собой ломанную линию, разбиваемую сингулярной точкой  $W_c$  на два прямолинейных участка, соответствующим, согласно [32], двум периодам структурообразования системы. В первом периоде, который начинается при формовочном влагосодержании  $W_\phi$ , совпадающем с начальным  $W_H$ , основную роль в формировании структурной прочности играют ван-дер-ваальсовы взаимодействия, энергия связи  $E_{св}$  которых в торфяных системах составляет от 4 до 8 КДж/моль. Здесь отмечаются все разновидности межмолекулярных взаимодействий: индукционное, ориентационное и

дисперсионное. При прочих равных условиях их энергия зависит от расстояния ( $r^6$ ) между центрами диполей. Поэтому, по мере удаления влаги из системы и взаимосвязанных с влагопереносом усадочных процессов расстояние между молекулами уменьшается, силы взаимодействия увеличиваются и, соответственно, линейно возрастает прочность. Здесь необходимо отметить именно превалирующее действие межмолекулярных сил, поскольку, наряду с ними есть и другие виды взаимодействий.

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 (в основном в гуминовых кислотах) 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. Причем здесь речь идет не только о непосредственном взаимодействии молекул [104]



но и связываемых через молекулы воды



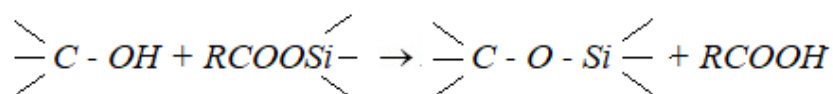
Более того, такой механизм представляется наиболее вероятным, поскольку высушивать торф до нулевой влажности в полевых условиях не представляется возможным.

Однако, при использовании добавки этилгидросилоксана, на рассмотренный выше базовый механизм структурообразования оказывает влияние фактор его взаимодействия с низкоразложившимися (целлюлоза,

гемицеллюлоза) и высокоразложившимися (гуминовые кислоты) компонентами органического вещества торфа.

В идеальном случае, образование гидрофобных водоотталкивающих покрытий на низкоразложившихся структурных элементах торфа, основано на химическом взаимодействии активных функциональных групп кремнийорганического соединения с гидроксильными группами целлюлозы. В реальных условиях здесь также могут быть задействованы молекулы сорбированной воды.

Взаимодействие целлюлозы с этилгидросилоксаном по схеме:



приводит к образованию хемосорбированной водоотталкивающей пленки. При этом ориентация углеводородных радикалов в сторону, противоположную защищаемым (изолируемым) структурным элементам обуславливает ее водоотталкивающие свойства. Кроме этого, дополнительный гидрофобный эффект возникает за счет того, что в реакции участвуют гидроксильные группы целлюлозы - потенциальные центры сорбции влаги в материале. И, наконец, 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.

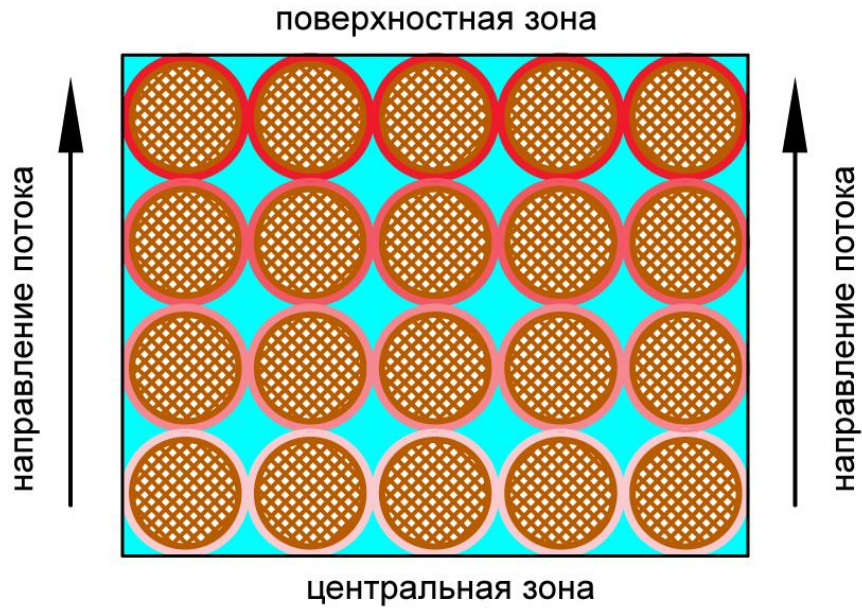
Необходимо отметить, что устойчивый хемосорбционный механизм связывания кремнийорганического покрытия возможен только на полностью обезжиренных поверхностях. В торфяных системах, имеющих в своем составе битумные компоненты, он будет реализован лишь частично с увеличением эффективности при снижении степени разложения торфа, что и было установлено в экспериментах. Однако экранирование битумными компонентами будет фрагментарным из-за неравномерности их распределения в торфе, и их наличие будет дополнять гидрофобизацию



материала, обработанного добавками этилгидросилоксана, применительно к тем участкам, на которые будет невозможна реализация механизма хемосорбции.

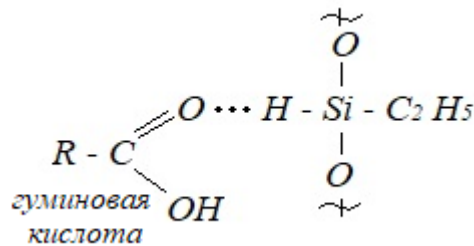
Таким образом, в процессе сушки торфяных кусков, за первой стадией физической адсорбции молекул этилгидросилоксана за счет водородных связей с поверхностными гидроксильными группами гуминовых кислот с образованием мономолекулярного слоя следует вторая стадия. Она протекает гораздо медленнее, и в исследуемом диапазоне температур ее длительность составляет от десятков часов до нескольких дней после окончания процесса сушки (при достижении  $W_p$ ). На этой стадии молекулы этилгидросилоксана присоединяются к поверхности за счет химической реакции с поверхностными гидроксильными группами [213]. В принципе использование и других типов гидросилоксанов помимо образования водородной связи, позволяет обеспечить ковалентное связывание с поверхностью, за счет функциональной группы Si-H [242].

Таким образом, реальный процесс при внесении суспензированного гидрофобизатора в торфомассы с ее последующим формованием и сушкой кусков в отличие от модельного (пропитка обрабатываемой структуры раствором гидрофобизатора в органическом растворителе) представляется следующим (*рисунок 3.14*). По мере удаления влаги при приближении к зоне испарения концентрация активного компонента на структурных элементах органического вещества торфа будет возрастать, достигая максимальной концентрации на поверхности обрабатываемого материала.

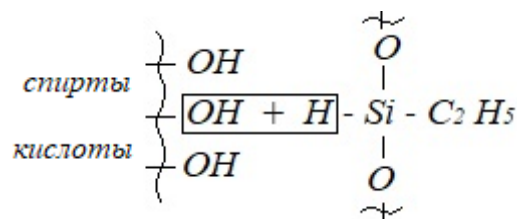


**Рисунок 3.14** - Схема формирования гидрофобных покрытий при переносе влаги в процессе сушки кускового торфа

Этот процесс продолжается вплоть до критического влагосодержания и в нем, в основном, задействован объемный механизм сорбции. Затем, при достижении  $W_i = W_{кр}$  начинается формирование водородных взаимодействий между гидроксильными группами гуминовых кислот (и частично целлюлозы) с образованием мономолекулярного слоя по схеме:



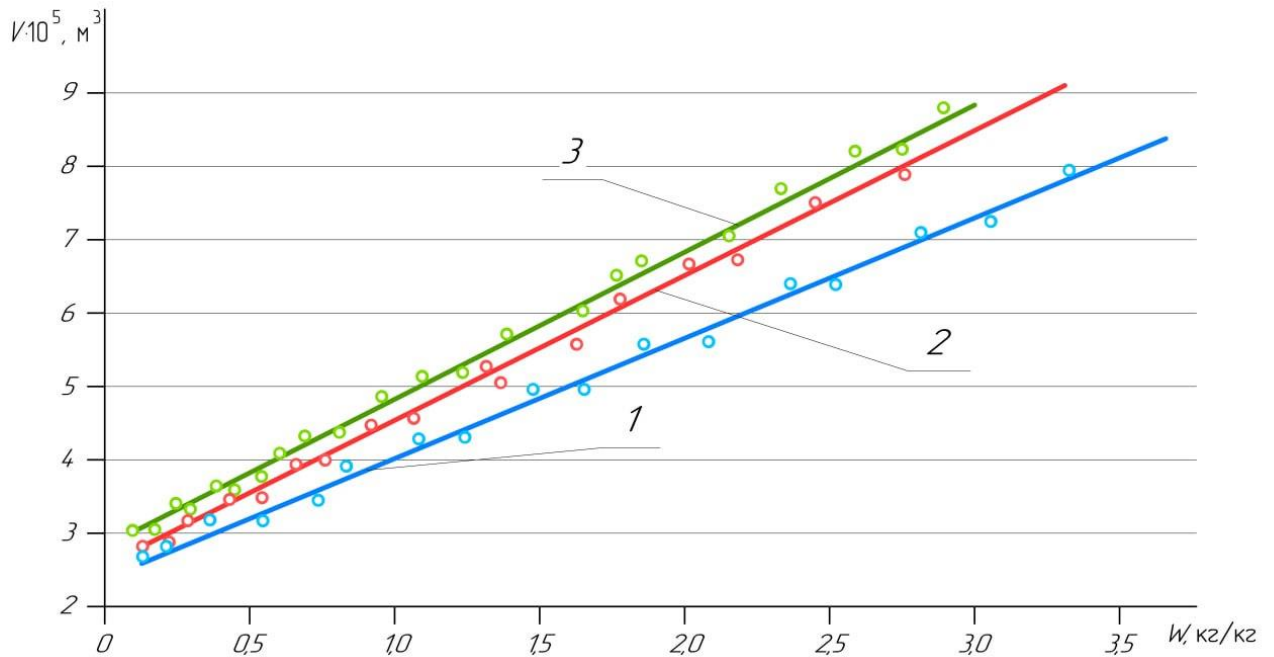
При окончании процесса сушки при  $W_i \leq W_p$  появляются предпосылки для присоединения молекул этилгидросилоксана к поверхности за счет химической реакции с поверхностными гидроксильными группами по схеме



Однако, в нашем случае вторая стадия (реализация ковалентных связей) маловероятна или может протекать лишь частично при условии полного удаления влаги (например, при искусственной досушке кусков торфа при температуре до 100°C).

При этом совершенно очевидна причина частичной потери прочности торфяных систем при включении в процесс их структурообразования молекул этилгидросилоксана – уменьшение количества водородных связей между макромолекулами гуминовых веществ за счет их частичной реализации на образование связей с молекулами гидрофобизатора. То есть этилгидросилоксан является своего рода источником «дефектов структуры» в торфяной системе. Тем не менее, потери прочности не являются критичными по сравнению с положительным эффектом гидрофобизации.

Не менее важным с точки зрения технологии добычи кускового торфа является анализ усадочных процессов, протекающих при сушке вязкопластичной торфомассы. Особенности ее сушки и усадки связаны с деформационными процессами в коллоидном капиллярно-пористом материале, что влияет на массоперенос, поскольку изменяются размеры частиц, а также форма и диаметр пор и капилляров. В этом смысле усадка является сложным для теоретического обоснования физико-механическим процессом, количественные показатели которого (для конкретного вида сырья, параметров диспергирования, порового раствора и др.) могут быть получены только эмпирически (*рисунок 3.15*).

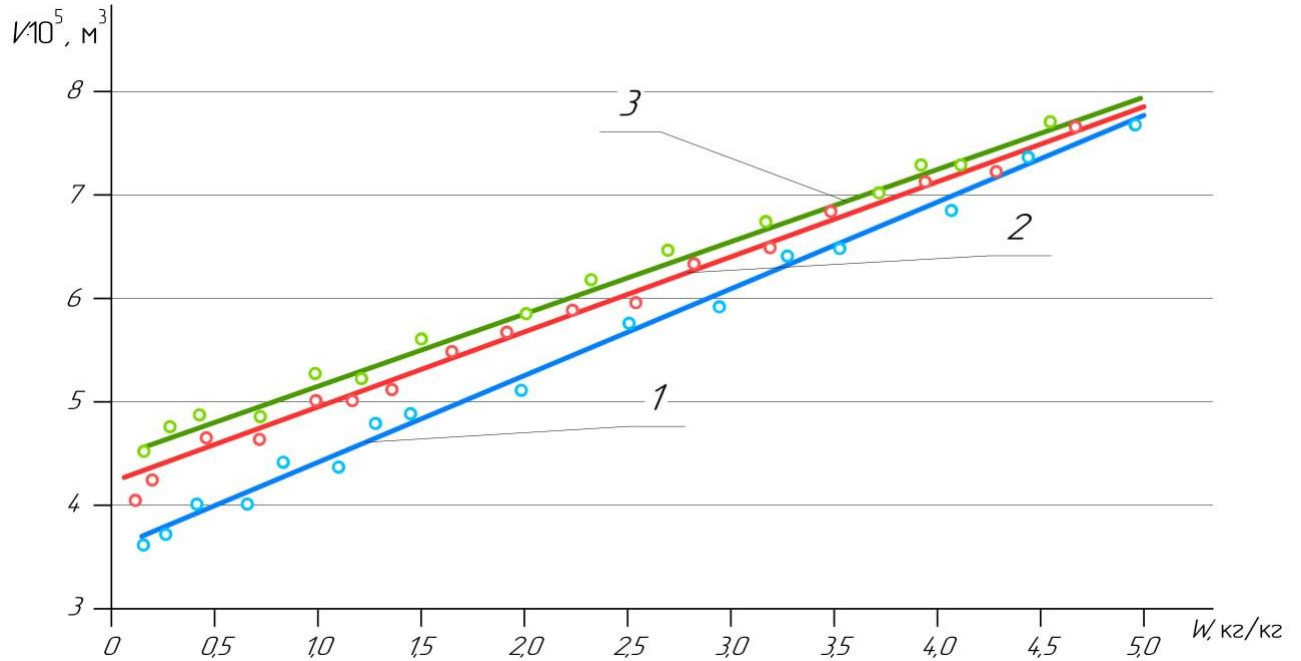


**Рисунок 3.15** - Изменение объема кускового торфа (*1*) (переходный торф,  $R_T = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС *1* – 0%; *2* – 2%; *3* – 4%.

В переходном торфе с высокой степенью разложения значения коэффициента объемной усадки варьируют от 0,734 до 0,853, что свидетельствует о небольшом влиянии гидрофобно-модифицирующей добавки на процесс усадки этого торфа. Более существенное значение здесь имеет конечный объем куска. Использование модификатора позволяет снизить значение начального влагосодержания с 3,33 кг/кг до 2,39...2,54 кг/кг. Это позволяет в реальном технологическом процессе снизить временные и энергетические затраты на сушку, а также не допускать критического снижения размеров готовой продукции (ниже 25 мм), поскольку кусковой торф с такими размерами относится к категории мелочи [69], а его процентное содержание в готовой продукции регламентируется ГОСТ 9172-71 (с изменениями 01.01.1989 г.). В кусковом торфе из низинного сырья содержание мелочи не должно превышать 20 %, а из верхового – 10 %.

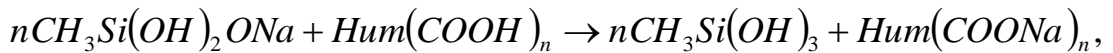
Если же проанализировать усадочные процессы в верховом слаборазложившемся торфе (рисунки 3.16), то здесь отмечается существенное влияние этилгидросилоксана на значение коэффициента усадки – он снижается по сравнению с контрольным образцом в 1,94...2,34 раза в зависимости от концентрации действующего вещества (таблица 3.2). Причем

по абсолютным величинам коэффициенты усадки значительно уступают торфу с высоким содержанием гуминовых веществ.

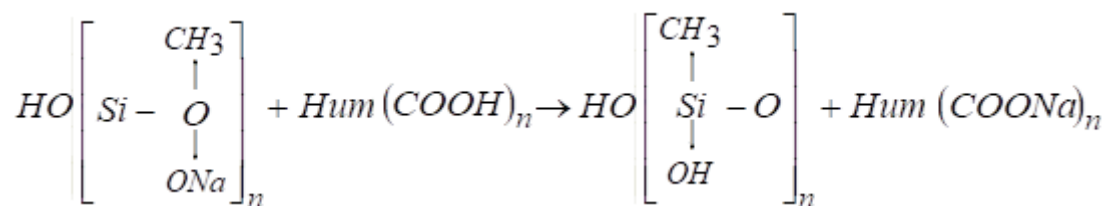


**Рисунок 3.16** - Изменение объема кускового торфа (1) (верховой торф,  $R_T = 5 \dots 10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

Для оценки влияния на процесс структурообразования водорастворимых гидрофобизаторов была проведена серия экспериментов с водными растворами метилсиликоната натрия ГКЖ-11. В *главе 2* подробно рассмотрены свойства этой гидрофобной добавки, которая имеет достаточно высокий показатель рН и, соответственно, обладает щелочными свойствами. Таким образом, при обработке ею торфяной массы одновременно с образованием гидрофобной пленки из нерастворимых гуминовых кислот органического вещества торфа будут образовываться водорастворимые гуматы натрия по схеме:



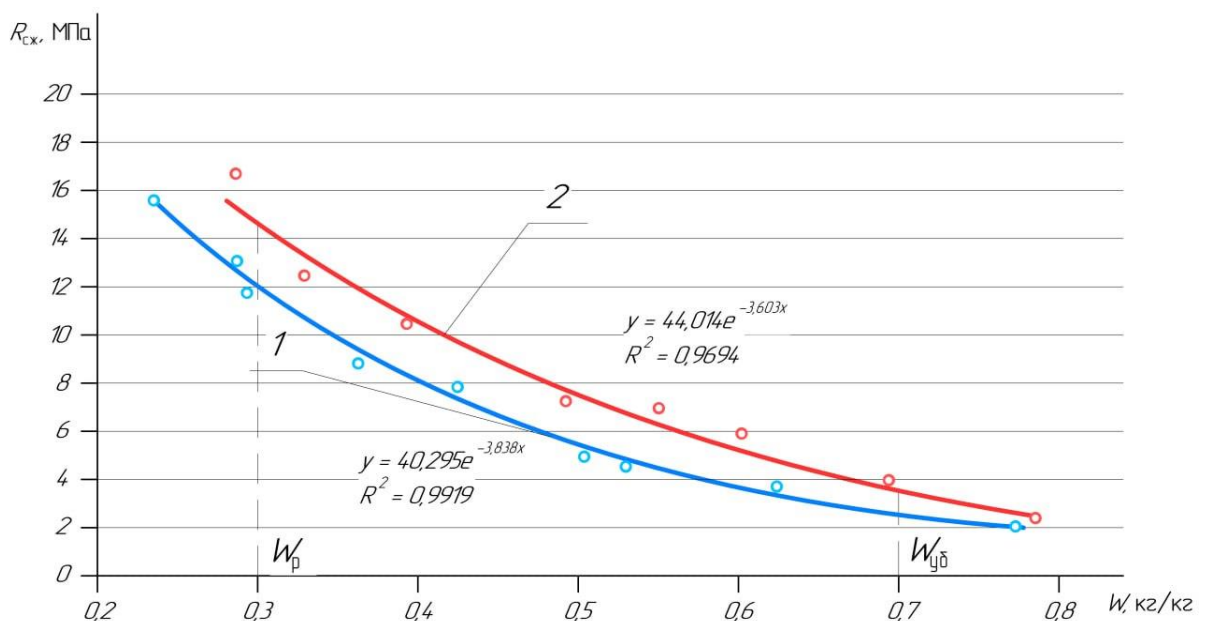
или в виде структурной формулы



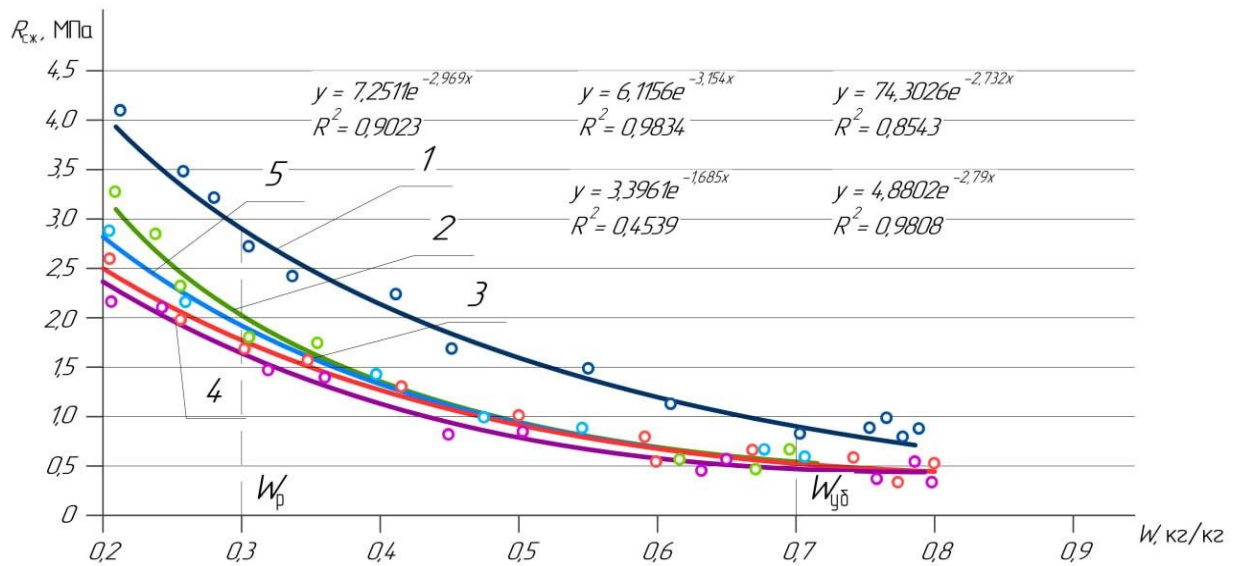
В связи с этим возникает вопрос, связанный с определением основного процесса в этой схеме, который формирует конечные свойства обрабатываемого материала: образование гидрофобного покрытия в соответствии с (стр. 51) или проявление гидрофильности гуматов щелочного металла (в данном случае натрия). Для ответа на него необходимо изучить структурообразующий эффект действия гуматов на торфяную систему и конечные водно-физические свойства кускового торфа при уборочном и равновесном влагосодержаниях. С учетом нативной кислотности торфяного сырья и щелочных свойств метилсиликоната натрия, его концентрация в экспериментах составила от 0,5 до 3 %.

В качестве сырья для исследований были использованы два вида верхового торфа с низкой ( $R_T = 5...10\%$ ) и высокой ( $R_T = 30\%$ ) степенями разложения, радикально различающихся по содержания в них гуминовых веществ (рисунок 3.17 – рисунок 3.18).

В торфе с высокой степенью разложения при внесении добавки заметно осязаемое увеличение прочности во втором периоде структурообразования на протяжении всего диапазона изменения влажности.



**Рисунок 3.17** - Зависимость прочности на одноосное сжатие от влагосодержания кускового торфа (верховой торф,  $R_T = 30\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ГКЖ-11 1 – 0%; 2 – 1.



**Рисунок 3.18** - Зависимость прочности на одноосное сжатие от влагосодержания кускового торфа (верховой торф,  $R_T = 5...10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ГКЖ-11 I – 0%; 2 – 0,5%; 3 – 1%; 4 – 2%; 5 – 3%.

Анализ такой же зависимости торфа с низкой степенью разложения показывает тенденцию снижения прочности по мере увеличения концентрации добавки метилсиликоната натрия. То есть, здесь основополагающим фактором, влияющим на прочность торфяных систем, является наличие в них гуминовых веществ. В соответствии с работами *Лиштвана И.И.* их водные растворы можно рассматривать в качестве полукolloидно-высокомолекулярных систем типа полиэлектролитов с признаками микромозаичной гетерогенности [101–107]. В этом случае, в зависимости от степени гидролитической диссоциации кислых и основных функциональных групп макромолекулы гуминовых веществ могут находиться в различных конформационных состояниях, определяющих энергию связи и количество между ними контактов. Естественно, что эти факторы будут в конечном итоге определять и прочность всей системы. Отдельные части надмолекулярных структур гуминовых веществ ориентируются таким образом, что образуются упорядоченные участки ассоциатов за счет водородных связей и через катионы. Это становится возможным за счет гибкости макромолекул (особенно до значения  $W_c$ ), броуновского движения их звеньев и неоднородности в размещении

неионогенных и недиссоциированных функциональных групп. В свою очередь участки ассоциатов макромолекул в общей массе аморфного гуминового вещества являются своеобразными новыми центрами структурообразования.

Образующиеся при использовании метилсиликоната натрия (*стр.101*) гуматы натрия являются стабилизатором дисперсной системы. При наличии неорганических катионов раствор гумата натрия в воде (порovýй раствор кускового торфа) изменяет свои коллоидно-химические свойства и агрегативную устойчивость. И если в гидрофильную полукolloидную систему гумата натрия попадают поливалентные катионы (например,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  и т. п.), то образуется дисперсия, в агрегатах которой наряду с гидрофильными участками имеются и гидрофобные. Они могут присутствовать в нативном торфе, или вводятся в систему искусственным путем, и способствуют агрегации частиц и образования прочных структурных каркасов. При увеличении количества катионов (более полном замещении обменной емкости) появляется возможность образования коагуляционных структур первого и второго рода.

Таким образом, поскольку в торфяных системах пространственный структурный каркас создается, в основном, за счет водородных связей их прочность будет обуславливаться большим количеством гуминовых веществ. Что и подтверждается экспериментальными данными (*таблица 3.3*).



**Таблица 3.3** - Зависимость прочности на сжатие при сушке экспериментальных образцов от концентрации ГКЖ-11

Характеристика торфа	Концентрация добавки, %	Прочность на сжатие, МПа	
		$W_p = 0,3$ кг/кг	$W_{y6} = 0,7$ 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

Для анализа потенциально возможных максимальных показателей прочности эксперимент по сушке проводился при конвективном теплоподводе (свободная конвекция) в «сверхмягком» режиме. Относительная влажность воздуха на протяжении всего эксперимента поддерживалась в диапазоне  $\varphi = 90...95$  %, что обеспечивало низкоинтенсивную усадку с обеспечением условий для реализации максимально возможного количества водородных взаимодействий между элементами структуры. Прочность контрольных образцов верхового торфа с высокой степенью разложения при равновесном влагосодержании выше в 4,3 раза по сравнению с верховым торфом низкой степени разложения. Эта же закономерность наблюдается и при уборочном влагосодержании, хотя здесь рост прочности несколько ниже – в 3,1 раза. То есть гуминовые вещества обеспечивают формирование более прочной пространственной структуры в верховом высоко разложившемся торфе. Таким образом, здесь при удалении влаги осуществляется переход из молекулярно-дисперсного состояния в коагуляционную структуру первого рода (преобладание сил притяжения дисперсной фазы), затем происходит компактное агрегирование и последующее образование коагуляционной структуры второго рода. То есть

в конце процесса сушки торфяной кусок является агрегативно-устойчивой системой, причем степень ее агрегативной устойчивости увеличивается при переходе от  $W_{y6}$  к  $W_p$  и формируется структура второго рода. Дисперсные частицы (как правило, макромолекулы и ассоциаты макромолекул) занимают энергетически более выгодное положение с формированием структуры с трехмерной упорядоченностью.

Наличие в торфяной системе даже небольших концентраций гумата щелочного металла - натрия (растворим в воде) позволяет в целом усилить структурообразующий эффект при сушке за счет изменения химического состава дисперсионной среды, приводящий к повышению прочности образца на 17...29 % (таблица 3.3).

Таким образом, несмотря на незначительное понижение прочности при использовании добавок этилгидросилоксана (ГКЖ-94), ее величина остается стабильно высокой и достаточной для проведения всех операций технологического процесса добычи кускового торфа. Эффект существенного повышения прочности в торфе средней и высокой степени разложения при применении метилсиликонатов щелочных металлов может быть направлен на создания высокопрочных органических структур.

### **3.3. Исследование водно-физических свойств гидрофобно-модифицированного кускового торфа**

Основным фактором, оказывающим влияние на эффективность технологии добычи кускового торфа, является наличие атмосферных осадков. Кроме того, увлажнение сушимого расстила осуществляется за счет влагообмена кусков с подстилающей залежью. При этом предусматривается возможность регулирования качественными характеристиками торфомассы и, соответственно, торфяных кусков на протяжении всего технологического процесса их производства. К таким характеристикам, прежде всего,

относятся плотность, степень механического диспергирования, наличие модифицирующих добавок, форма, площадь поверхности, размер пор и капилляров и т. п.

Количество поглощенной воды торфом в технологии его добычи характеризуется коэффициентом поглощения осадков  $K_{oc}$ , который определяется по формуле:

$$K_{oc} = \frac{(W_{oc} - W_0)P_c}{h_{oc}},$$

где  $W_{oc}$  и  $W_0$  – соответственно влагосодержание после выпадения осадков и начальное влагосодержание, кг/кг;  $P_c$  – загрузка поля по сухому веществу, кг/м<sup>2</sup> и  $h_{oc}$  – количество выпавших осадков, кг/м<sup>2</sup>.

Теоретически определение коэффициента поглощения осадков достаточно проблематично, поэтому для конкретных условий он определяется эмпирически, а для технологических расчетов принимается по справочным данным для конкретной области, которые в свою очередь составляются по средним многолетним метеорологическим наблюдениям. В диссертационной работе для оценки влияния гидрофобно-модифицирующих добавок на  $K_{oc}$ , предлагается ввести поправочный коэффициент, определяемый по времени смачиваемости поверхности каплями воды в соответствии с методикой, рассмотренной в *разделе 2.5*.

Анализ водоотталкивающих свойств формованного торфа осуществлялся по результатам экспериментов по смачиванию поверхности гидрофобно-модифицированного торфа с различными концентрациями добавок и контрольного образца. Способность к смачиванию твердых тел водой определяется соотношением адгезии жидкости к твердому телу и когезии в самой жидкости. Это соотношение характеризуется краевым углом смачивания  $\Theta$  между поверхностями жидкости и твердого тела [146]. Однако в случае с формованными торфяными системами, несмотря на их гидрофобность, увеличивающуюся при сушке, угол смачивания редко превышает 90° (*рисунок 3.19*). То есть формально – поверхность

гидрофильна. На самом деле здесь большое влияние оказывает капиллярное впитывание воды, которое снижает величину  $\Theta$ . Причем на протяжении достаточно большого диапазона влажностей угол смачивания остается равным нулю (абсолютно гидрофильная поверхность). Примерное значение этого диапазона в зависимости от конкретного вида торфа составляет от 3...3,5 кг/кг до формовочного влагосодержания.



**Рисунок 3.19** - Образцы кускового торфа с нанесенными на их поверхность каплями воды спустя 5 минут с начала эксперимента

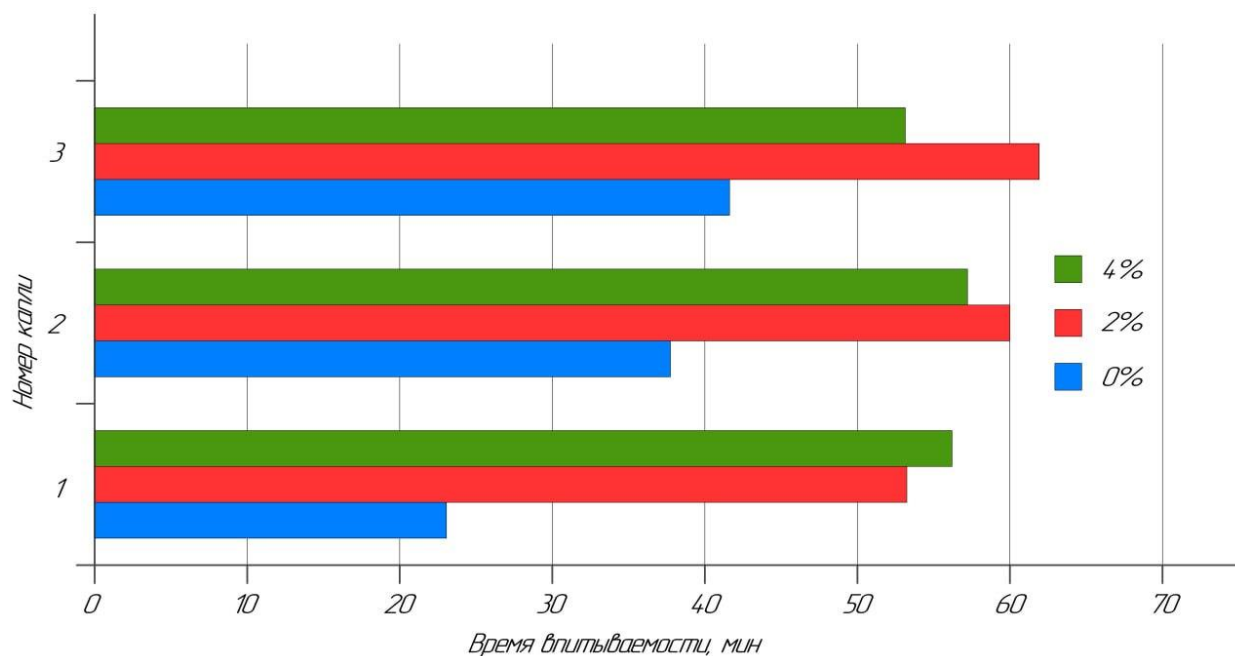
Характерно то, что угол смачивания уменьшается с течением времени. Это вызвано тем, что происходит постепенное удаление воздуха из пор и капилляров и замещение его водой (при прочих равных условиях). Поэтому временем окончания эксперимента считалось время, когда капля полностью впиталась в торфяной кусок (*таблица 3.4*).

**Таблица 3.4** - Результаты исследования водоотталкивающих свойств экспериментальных образцов, модифицированных добавкой ГКЖ-11

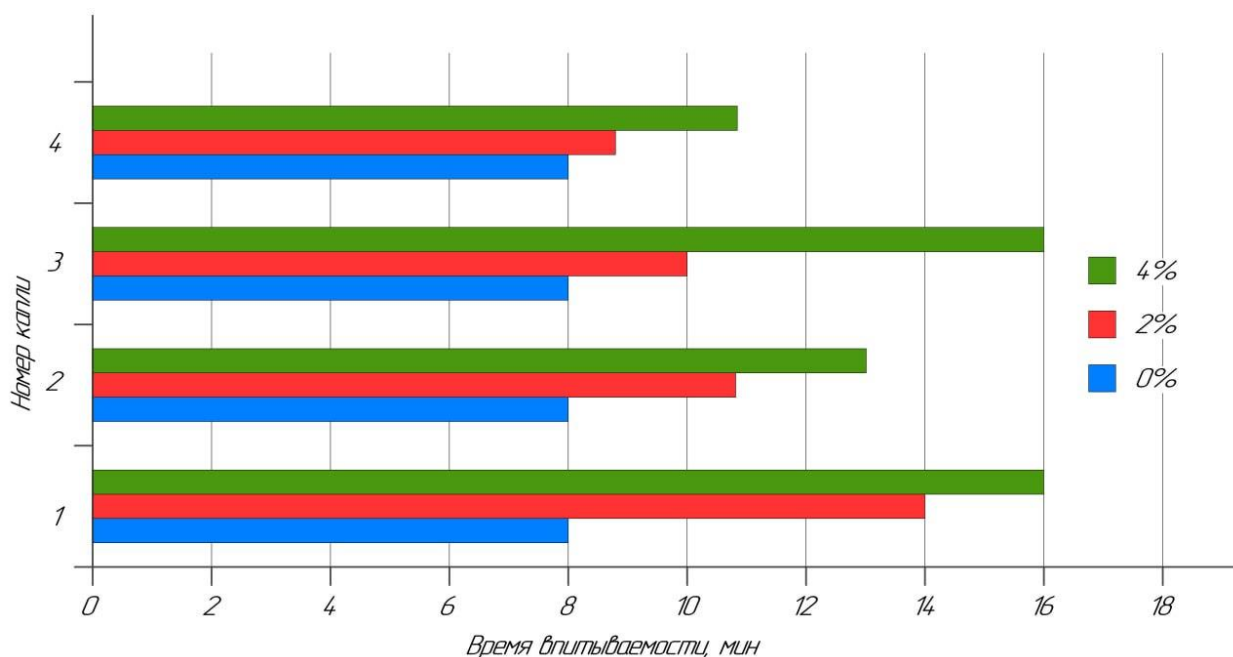
Вид торфа	Время полного впитывания капли воды, мин в зависимости от концентрации добавки, %			
	0	1	2	3
Пушицево-сфагновый, $R_T = 30\%$	115	154	133	142
Магелланикум, $R_T = 5...10\%$	181	189	203	191

Анализ экспериментальных данных по капельному смачиванию поверхности торфяных кусков показывает незначительное увеличение времени впитывания влаги в случае с пушицево-сфагновым торфом. Это происходит по причине положительного влияния на смачиваемость механизма образования гидрофильных гуматов натрия в соответствии с реакцией (стр.101), которое нивелирует гидрофобные свойства полисилоксановых пленок, образовавшегося по схеме (стр.51). Причем повышение концентрации гидрофобизатора не приводит к увеличению эффективности гидрофобного эффекта. Вероятнее всего, это связано с тем, что даже минимальная концентрация позволяет сформировать водоотталкивающее покрытие на пористой структуре торфа. В магелланикум торфе гидрофобный эффект от применения ГКЖ-11 выражен еще слабее.

Совершенно другая картина наблюдается при использовании водонерастворимого ГКЖ-94 (рисунок 3.20 – рисунок 3.21).



**Рис.3.20** - Зависимость времени впитывания влаги контрольного и гидрофобно-модифицированных добавкой ГКЖ-94 образцов (переходный торф,  $R_T = 35\%$ )



**Рис.3.21** - Зависимость времени впитывания влаги контрольного и гидрофобно-модифицированных добавкой ГКЖ-94 образцов (верховой торф,  $R_T = 5...10\%$ )

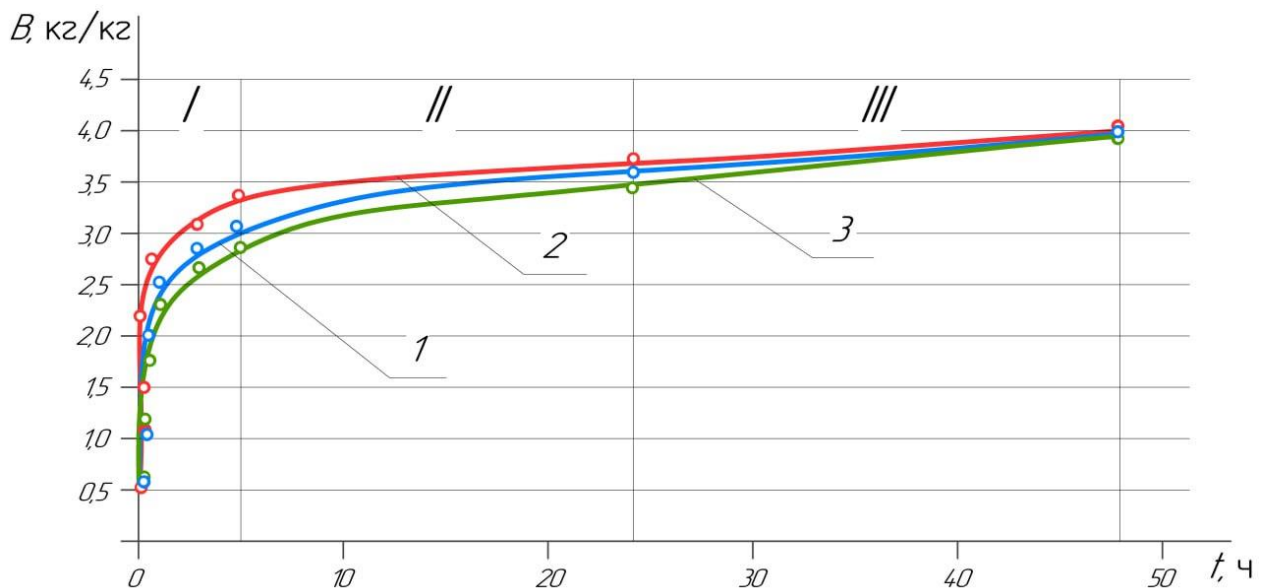
Пленки этилгидросилоксана достаточно надежно изолируют гидрофобную пористую структуру торфа от проникновения капельно-жидкой влаги, причем это относится ко всем исследуемым видам торфа – увеличения времени смачивания поверхности от 1,4 до 2,7 раза. Вероятнее всего, такое расхождение по времени связано с качеством перемешивания торфомассы перед формованием.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что использование гидрофобной обработки эмульсией этилгидросилоксана торфомассы перед формованием позволяет гарантировать снижение коэффициента поглощения осадков в среднем в два раза. Это существенно снижает зависимость добычи кускового торфа от атмосферных осадков.

Еще одним показателем, определяющим качество кускового торфа, является его водопоглощение (глава 2). В науке о торфе водопоглощение определяется за 48 часов его нахождения в воде в полностью погруженном состоянии. Величина поглотительной способности торфа после сушки зависит от многих факторов, основными из которых являются ботанический состав, плотность, степень разложения, дисперсность (степень

диспергирования торфомассы перед формованием), влажность и ряд других. Совокупность этих факторов формирует характер внутри- и межагрегатных связей и, в конечном итоге, структуру торфяного куска. В процессе впитывания влаги сухим веществом торфа увеличивается его объем за счет набухания элементов структуры и увеличения межструктурного пространства. На кинетику этого процесса также влияет степень обратимой (сорбция воздуха в пористом пространстве) и необратимой (окислительные процессы при сушке и термической обработке) гидрофобизации. Как правило, интенсивность и величина водопоглощения выше в верховом торфе низкой степени разложения.

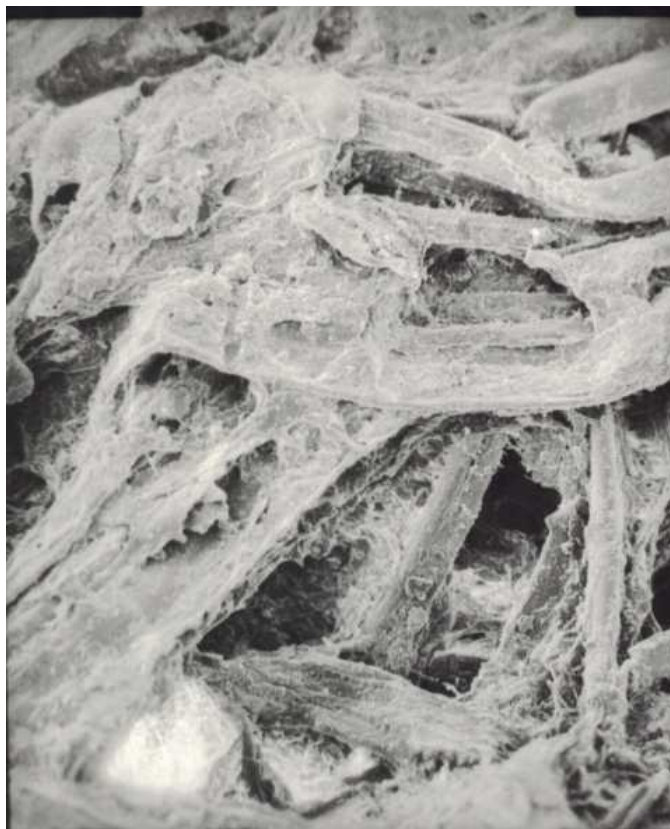
Проведенные эксперименты также не стали исключением (рисунки 3.22). Максимальная величина водопоглощения была достигнута за 48 часов верховым торфом и составила около 4 кг/кг. Гидрофобизация структуры сильно не повлияла на величину максимального водопоглощения, снизив ее всего лишь на 5...7 %<sup>13</sup>.



**Рисунок 3.22** - Кинетика водопоглощения кускового торфа за 48 часов, (верховой торф,  $R_T = 5...10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

<sup>13</sup> Это не снижение относительной влажности, а процент снижения максимального в данном эксперименте влагосодержания по сравнению с контрольным образцом.

Сравнительно высокой величины водопоглощения удалось достигнуть за счет значительного содержания в куске слаборазложившихся растительных остатков и достаточно большого объема пор. Анализ данных, полученных методом электронной микроскопии (*рисунок 3.23*) показывает, что степени механического диспергирования, применяемого перед формованием, недостаточно для придания частицам таких размеров, которые обеспечивали бы упорядоченность структуры торфяного куска. С точки зрения его прочностных показателей это является негативным фактором, а с позиций обеспечения высоких сорбционных свойств (объемное поглощение) – позитивным. Но, в целом комплекс операций, связанных с механическим диспергированием торфомассы, ее уплотнением при формовании, усадкой и окислительными процессами при сушке кусков снижает полную влагоемкость такого торфа по сравнению с нативным сырьем более чем в три раза (с 12...15 кг/кг до 4 кг/кг).

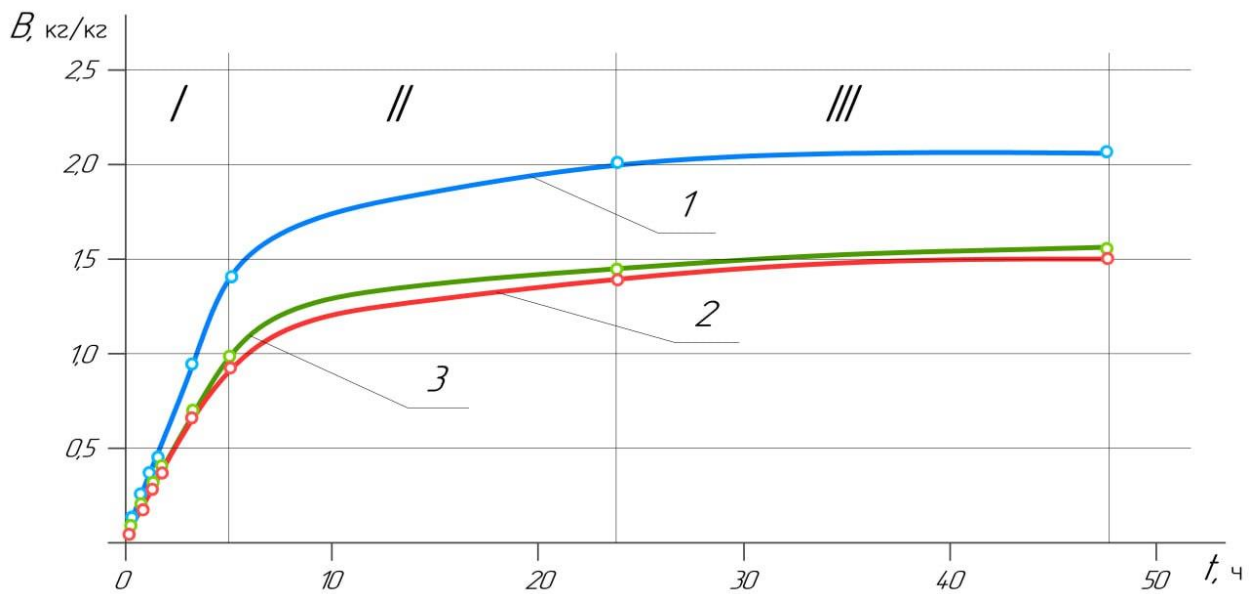


**Рисунок 3.23** - Фрагмент структуры торфяного куска, полученного из верхового торфа низкой степени разложения (500-кратное увеличение)



Относительно невысокое влияние гидрофобизации на такую структуру, по-видимому, объясняется недостаточной при проведении экспериментов концентрацией гидрофобного компонента для изоляции такой разветвленной системы макро-, мезо- и микропор (рисунки 3.23). Лимитирующим фактором в данном контексте являлась экономическая эффективность разрабатываемой технологии – для использования кускового торфа на топливо применение высоких концентраций полисилоксановых добавок не целесообразно.

Максимальная величина водопоглощения за 48 часов кусков переходного высокоразложившегося торфа достигла чуть больше 2 кг/кг (рисунок 3.24). Для торфа высокой степени разложения снижение величины максимального водопоглощения при использовании гидрофобизатора было существенно и достигло около 30 %.



**Рисунок 3.24** - Кинетика водопоглощения кускового торфа за 48 часов, (переходный торф,  $R_T = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

Двукратное падение максимального водопоглощения в таком торфе стало возможным за счет изменения его нативной структуры и применения вышеуказанного воздействия при технологических операциях добычи кускового торфа (рисунок 3.25).



**Рисунок 3.25** - Фрагмент структуры торфяного куска, полученного из переходного торфа высокой степени разложения (500-кратное увеличение)

При анализе структуры торфяного куска хорошо заметно отсутствие относительно крупных пор, присутствующих в низкоразложившемся торфе (*рисунки 3.23 и 3.25*). Кроме того, необходимо обратить внимание на фрагменты разложившихся растительных остатков и агрегаты гуминовых веществ.

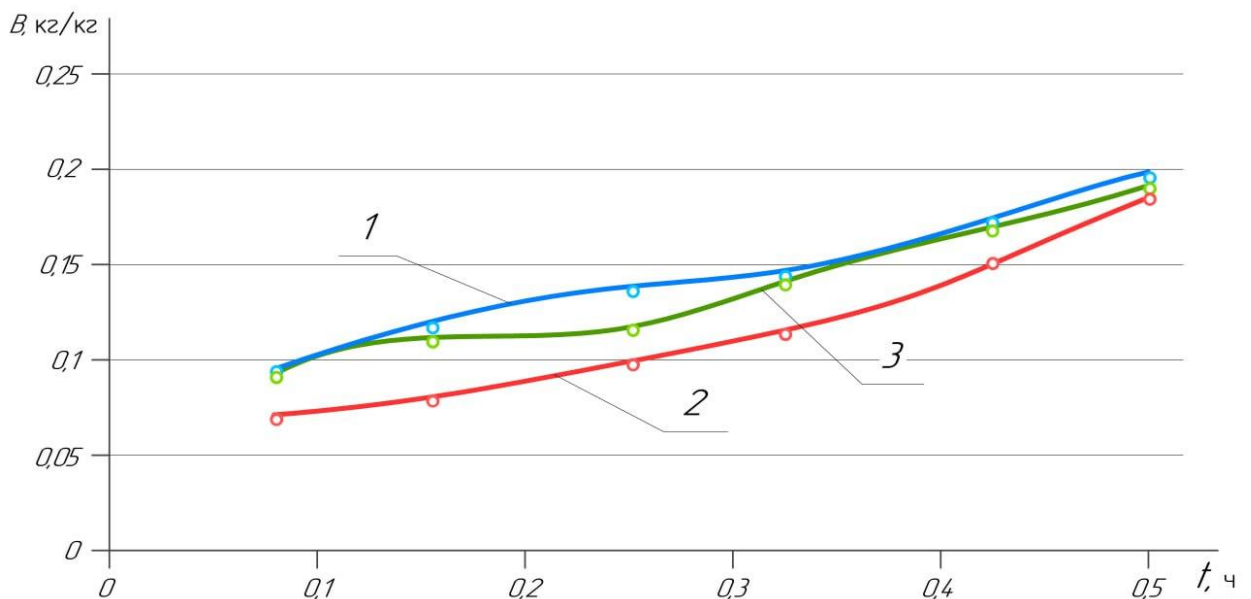
В процессе поглощения влаги формованным<sup>14</sup> торфом выделяются три характерные для этого процесса стадии: начальная (сорбционно-капиллярная), промежуточная (переходная) и заключительная (энтропийно-осмотическая).

На первой стадии (около 30 минут с начала процесса поглощения) происходит гидратация с последующим насыщением активных центров макромолекул гидрофильных компонентов органического вещества торфа (*рисунок 3.26*). На этой стадии наблюдается выделение тепла. Влага, попадая внутрь надмолекулярных структур торфа, ослабляет их межструктурные связи. В дальнейшем, за счет расклинивающего давления макромолекулы, формирующие ассоциаты и агрегаты торфа, становятся более подвижными. В

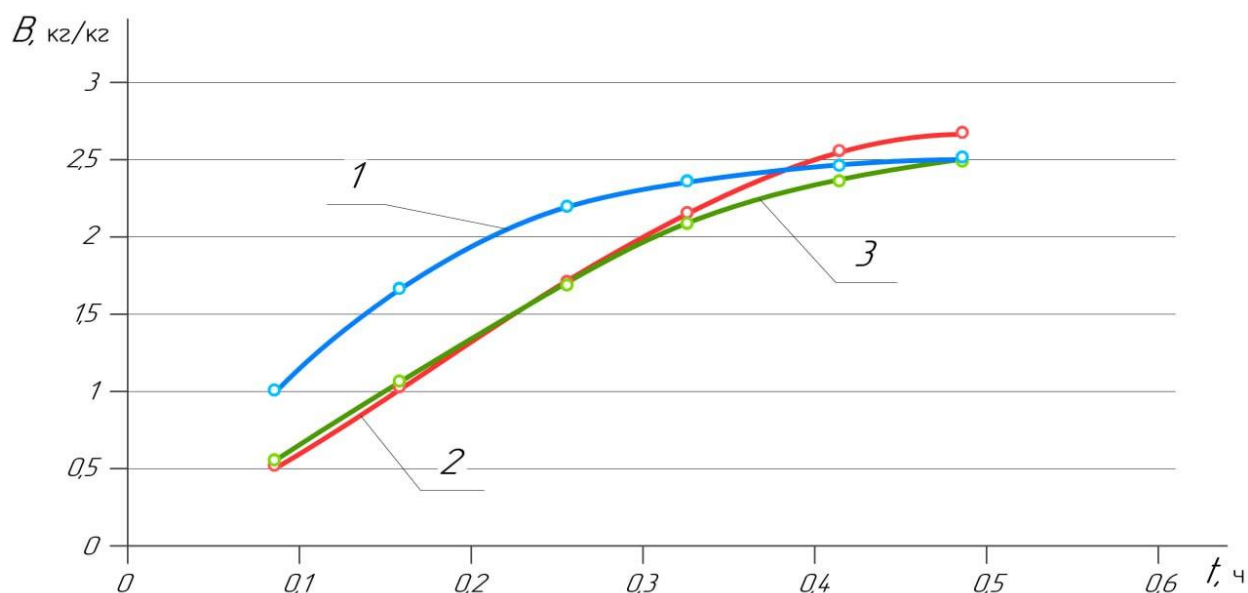
<sup>14</sup> В принципе закономерности соблюдаются и для фрезерного торфа, однако в кусковой продукции характерные стадии водопоглощения выделены более ярко.

формованных кусках торфа одновременно с постепенным смачиванием торфа происходит заполнение порового пространства водой. Этому способствует сеть капилляров, которая обеспечивает проникновения молекул воды внутрь надмолекулярных структур торфа. Данный процесс носит обратный сушке характер, сопровождаемый набуханием. Причем гистерезисные явления не позволяют достигать максимального объема торфяного куска, с которого начинался процесс его сушки. То есть, значение коэффициента набухания всегда будет меньше коэффициента усадки. Величина приращения между этими коэффициентами будет увеличиваться по мере увеличения степени разложения торфа.

Как правило, на этой сравнительно быстропротекающей стадии поглощения влаги, торфяная система сорбирует основную часть из всего количества воды. Например, для верхового торфа низкой степени разложения на первой стадии впитывается от 60 до 70% жидкости (рисунок 3.27), в зависимости от концентрации гидрофобного компонента. Однако для переходного торфа с высокой степенью разложения количество сорбированной влаги составило всего 9,5...10%, а основная ее часть впиталась на второй (переходной стадии) процесса.

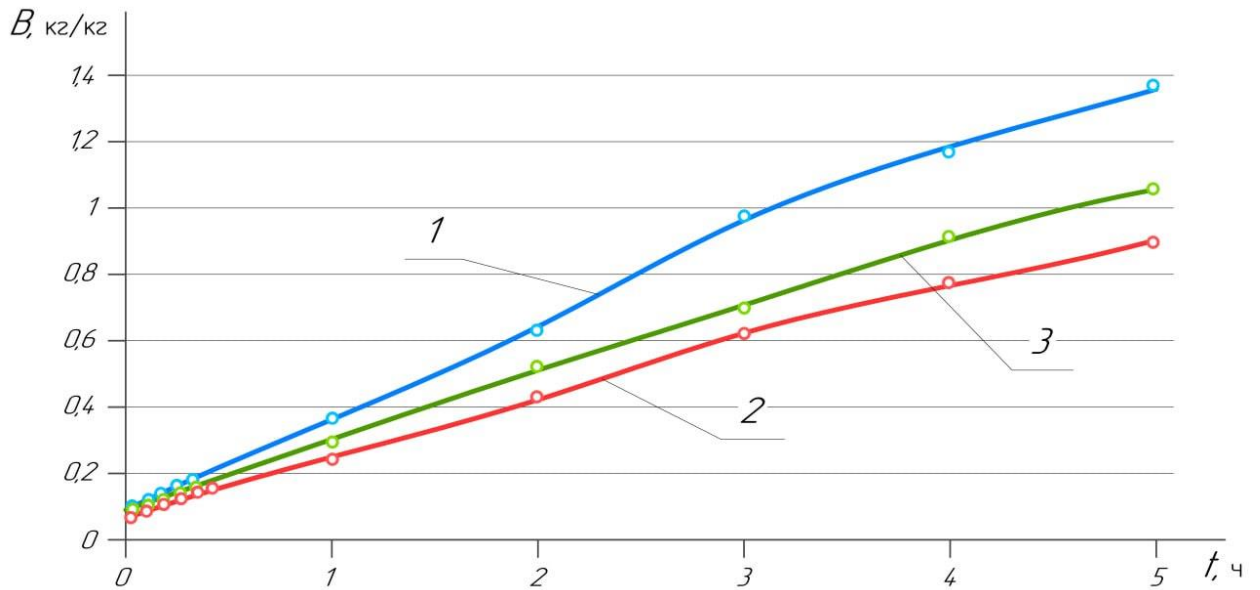


**Рисунок 3.26** - Кинетика водопоглощения кускового торфа за первые 0,5 часа, (переходный торф,  $R_{\tau} = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

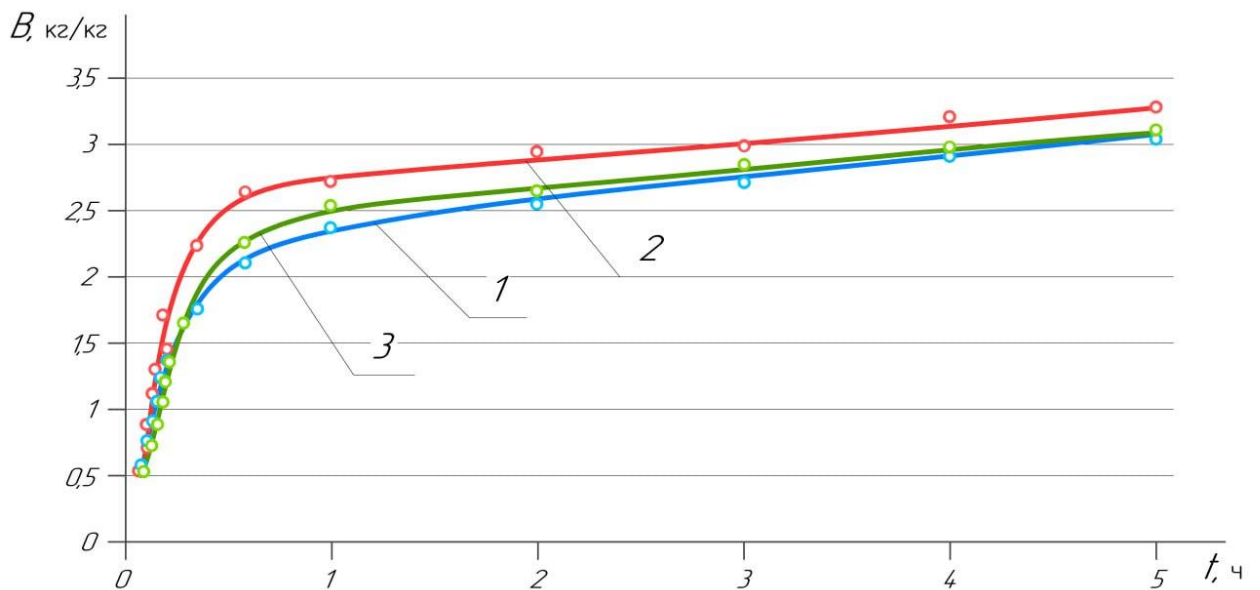


**Рисунок 3.27** - Кинетика водопоглощения кускового торфа за первые 0,5 часа, (верховой торф,  $R_T = 5 \dots 10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

Следующая переходная стадия начинается примерно с 30 минут и продолжается до 5...10 часов. На этой стадии по мере заполнения водой порового пространства скорость ее впитывания заметно снижается. Здесь происходит насыщение микропор и других менее доступных участков макро- и микроструктуры кускового торфа. Необходимо отметить, что именно на этих двух стадиях наиболее эффективно проявляется действие гидрофобного модификатора ГКЖ-94 (рисунок 3.28).



**Рисунок 3.28** - Кинетика водопоглощения кускового торфа в диапазоне 0,5...5 часов, (переходный торф,  $R_\tau = 35\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.



**Рисунок 3.29** - Кинетика водопоглощения кускового торфа в диапазоне 0,5...5 часов, (верховой торф,  $R_\tau = 5...10\%$ ) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 4%.

При более высокой степени разложения кремнийорганическое покрытие позволяет снизить интенсивность и величину водопоглощения примерно в 1,3...1,5 раз (рисунок 3.29).

В энтропийно-осмотической стадии медленное впитывание влаги торфом происходит за счет энтропийного набухания надмолекулярных

структур продуктов биохимического распада и растительных остатков болотных торфообразователей. При влагосодержаниях близких к максимальной влагоемкости, также наблюдается диффундирование макромолекул органических компонентов торфа в дисперсионную среду с последующим «вымыванием» более крупных агрегатов и ассоциатов. Это объясняет некоторое снижение влагосодержания при более длительном процессе поглощения (*рисунки 3.22 и 3.24*).

Поскольку молекулы воды быстрее проникают в торфяную матрицу, по сравнению с миграцией макромолекул органического вещества в воду, замедленная скорость их перегруппировки создает определенный градиент концентраций, между гелеобразной структурой ассоциата и дисперсионной средой. Это в конечном итоге приводит к значительным различиям в активности среды. Это различие в активности растворителя определяет проявление осмотического давления и давления набухания в процессе поглощения влаги формованными торфяными системами. Эти виды давления на заключительном этапе водопоглощения имеют достаточно большой удельный вес, так как наряду с наличием в торфе гелеобразных пространственных структур, образованных из продуктов распада, имеются остатки растений-торфообразователей, которые, по сути, являются полупроницаемыми мембранами.

Известно [107], что торфяные системы относятся к ограниченно набухающим, в которых поглощение жидкой фазы имеет осмотическую природу, которая характеризуется проникновением молекул воды внутрь гелеобразной структуры. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока напряжения в пористой матрице набухающих коагуляционных структур и структур переплетения не уравновесят давления набухания. Вначале третьей стадии скорость проникновения молекул воды достаточно велика, но затем наблюдается ее уменьшение, и торфяная система достигает равновесного состояния с уменьшением энтропии [107].

Характерно, что механизм водопоглощения формованного торфа, особенно из сырья переходного типа высокой степени разложения, отличается большой сложностью. Его крайне неоднородная структура способствует тому, что поглощение влаги дисперсиями высокомолекулярных полимеров целлюлозной природы (растительными остатками) сопровождается ее впитыванием продуктами биохимического распада (гуминовые вещества и их соли). Эти оба механизма реализуются, начиная с первой стадии процесса, одновременно с сорбцией влаги в ячейках порового пространства структур переплетения и надмолекулярных образований продуктов распада и компонентов углеводного комплекса органического вещества торфа.

Водопоглощение абсолютно-сухого торфа на начальном этапе затруднено, в основном, из-за сорбции воздуха в его пористом пространстве. Этим объясняется относительно невысокая емкость водопоглощения переходного торфа на первой стадии (*рисунок 3.24*). В дальнейшем, молекулы воды, сорбируясь на активных центрах, вытесняют воздух и становятся первичными центрами сорбции, которые в дальнейшем формируют объем полисорбированной воды. Затем, по мере гидрофилизации структуры происходит интенсивное впитывание влаги за счет капиллярных явлений. Молекулы воды разрушают непосредственные взаимодействия элементов структуры торфа через функциональные группы (водородная связь) и ионы (ионные взаимодействия). Далее происходит образование пленок жидкости на микрогетерогенных участках, которые ослабляют межмолекулярное взаимодействие за счет проявления прослойками среды расклинивающего давления [19].

Процесс водопоглощения несколько упрощается при смещении влажности от нулевых значений в область более высоких значений – скорость сорбции растет, а емкость падает. В связи с достаточно большим набором факторов, влияющих на этот процесс, оптимизацию необходимо проводить, используя экспериментальные методы исследования. Для

технологии добычи кускового торфа наиболее благоприятным является детально исследуемый диапазон между равновесным и уборочным влагосодержаниями. В этом диапазоне достигается синергетический эффект от воздействия природных и технологических факторов. То есть на водопоглощение и связанный с этим процесс увеличения объема кускового торфа оказывает влияние его физическое состояние. При прочих равных условиях это - исходное влагосодержание, степень разложения и компактность надмолекулярных структур. В экспериментах наблюдалось более высокое увеличение объема при увлажнении торфа низкой степени разложения, у которого элементы макроструктуры имеют меньшую энергию связи [15]. Переходный торф с высокой степенью разложения набухает менее интенсивно, вследствие более прочных межмолекулярных связей. Набухание отдельных компактных агрегатов начиналось по мере увлажнения поверхностного слоя с распространением влаготтока в их центральные части. Обработка гидрофобизирующим составом ГКЖ-94 позволяла снизить объем набухания кусков примерно в два раза по сравнению с контрольными образцами. Причем это характерно для всех исследуемых видов торфа. Основной причиной ограниченного набухания кусков является то, что кремнийорганическая пленка на поверхности пространственных коагуляционных структур и структур переплетения затрудняет поступление в них влаги. В результате этого упорядоченные участки с поперечными водородными связями, органоминеральными производными и неполярными углеводородными (битумными системами), достаточно длительное время остаются стабильными. Тем не менее, в конечном итоге влага будет проникать в поры, в том числе за счет гидрофобного отталкивания от модифицированной поверхности. Поэтому при объемном механизме сорбции не наблюдается практически двукратного снижения (замедления) времени водопоглощения, как в случае с поверхностным смачиванием (*рисунок 3.19*).

При отсутствии искусственной (обработка модификатором) или естественной (сушка до влагосодержаний близких к равновесному)



гидрофобизации торфа процесс гидратации легкодоступных активных центров компонентов органического вещества торфа (целлюлоза, гуминовые вещества, лигнин и др.) происходит достаточно быстро (30...60 секунд). Это же относится и к капиллярному впитыванию при условии обеспечения гидрофильности стенкам капилляров. При таких условиях диффузия молекул воды в труднодоступные участки надмолекулярных структур (прежде всего, целлюлозы) приводит к ослаблению и разрыву межагрегатных связей, вследствие чего процесс насыщения куска водой происходит достаточно интенсивно. Это хорошо заметно при анализе кинетики водопоглощения верхового слаборазложившегося торфа (рисунки 3.22).

### Выводы по главе 3

Таким образом, при анализе результатов научных исследований, приведенных в главе 3, сделаны следующие выводы.

1. Добавка этилгидросилоксана в концентрации 2...4 % в торфяное сырье со степенью разложения выше средней ( $R_T > 20\%$ ) позволяет снизить начальную влажность формования при добыче кускового торфа с 77 %, как минимум до 70...72 %, что уменьшает количество удаляемой влаги в технологии добычи на 0,81...1,04 кг в расчете на килограмм сухого вещества (при сушке до уборочного влагосодержания). Для торфа низкой степени разложения эффект несколько слабее – с 84...88 % до 80...82 %, но тем не менее он также является значимым.

2. Гидрофобные добавки в исследуемых концентрациях не снижают интенсивность сушки кускового торфа.

3. При использовании добавок этилгидросилоксана наблюдается незначительное понижение прочности, однако ее величина остается стабильно высокой и достаточной для проведения всех операций технологического процесса добычи кускового торфа. Эффект снижения прочности усиливается при увеличении степени разложения торфа.

4. Применение добавок метилсиликоната натрия позволяет увеличить прочность торфяных кусков из сырья высокой степени разложения.

5. Обработка структуры торфяного сырья перед формованием этилгидросилоксановыми пленками увеличивает время смачивания поверхности в 1,4...2,7 раза, что позволяет снизить коэффициент поглощения осадков, в среднем, в два раза и свести к нулевым значениям удлинение сушки за счет влагообмена с залежью.

6. Максимальная величина водопоглощения кускового торфа из сырья высокой степени разложения при обработке этилгидросилоксаном снижается на 30 %.

## 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОФОБНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО КУСКОВОГО ТОРФА

### 4.1. Общие принципы функционирования технологии производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях

Реализация на практике технологии добычи гидрофобно-модифицированного торфа возможна в нескольких направлениях [68].

Первым и наиболее приемлемым решением является адаптация принципа гидрофобной модификации торфомассы (объемный способ внесения модификатора) перед формованием при добыче кускового торфа экскаваторным способом с последующим использованием модернизированной стилочной машины (*рисунок 4.1*). Поскольку результаты исследований (*глава 3*) обосновывают снижение влажности формования на 5 %, то для исходного сырья она составляет не более 75...80 % в зависимости от типа торфа и степени его разложения. В технологии торфяного производства близким по таким значениям влажности сырья можно отнести некоторые разновидности фрезерного торфа сельскохозяйственного назначения ( $w_{y6} \approx 65...75\%$ ), а также торф, находящийся на площадях, подготовленных для фрезерного способа его добычи [129–131]. Кроме того, возможны варианты нетрадиционных технологий добычи [211–213], предполагающие досушку торфомассы на откосах навалов, сделанных одноковшовым экскаватором. Например, к таким вариантам можно отнести технологии, разработанные *Кремчевым Э.А.* [147, 214–216] и *Шахматовым К.Л.* [186].

Вторым технологическим решением является использование фрезформовочного способа добычи кускового торфа с вариантом модернизации фрезформовочной машины. В этом случае параметры технологических площадей не будут отличаться от существующих. Схемы работы технологического оборудования практически не изменятся. Ожидаемо произойдет снижение коэффициента использования циклового времени ( $K_{ц}$ ) за счет появления дополнительного времени на заправку

емкости гидрофобным модификатором. Кроме того, необходимо изменение конструкции фрезформовочной машины за счет установки устройства для внесения гидрофобного модификатора. По моему мнению, технически осуществить это будет сложнее, чем объемное внесение в бункер стилочной машины [129–131].



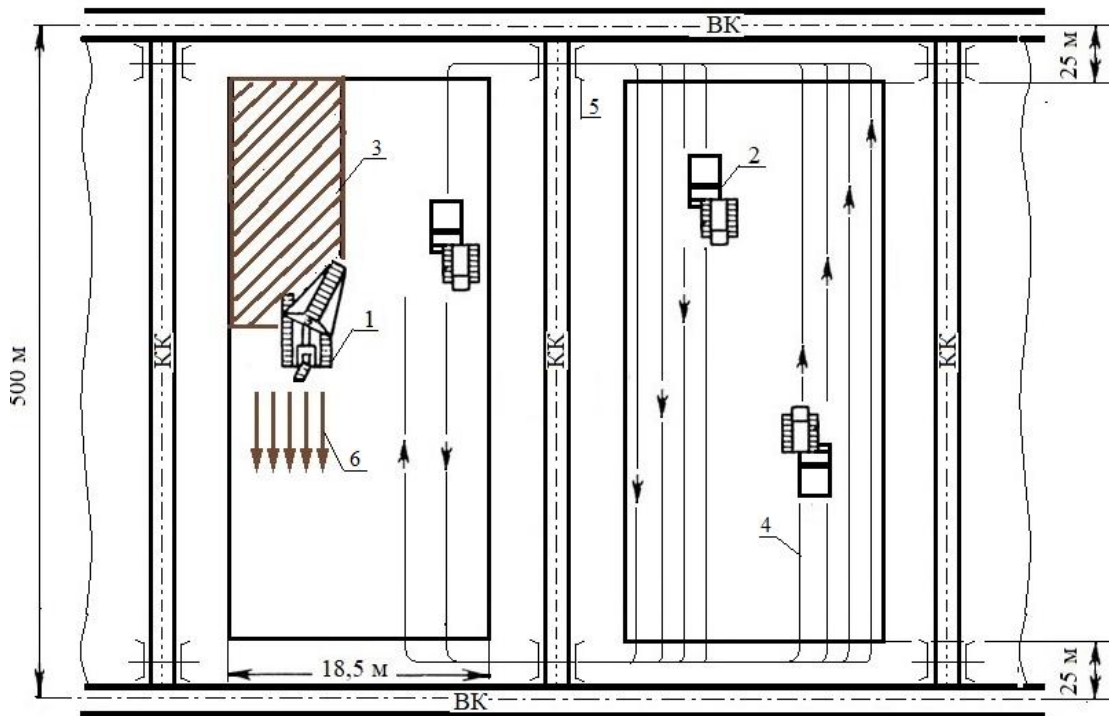
Рисунок 4.1 - Структурная схема технологии добычи (производства) кускового торфа

Таким образом, к основному технологическому процессу целесообразно отнести добычу кускового торфа на площадях для добычи фрезерного торфа – как вновь подготовленных, так и ранее эксплуатируемых, но обладающих промышленными запасами полезного ископаемого. Средняя влажность верхнего добываемого слоя (0,3 м) соответствует эксплуатационной влажности в технологии добычи фрезерного торфа – 75...79 %, то есть требования по данному параметру, обоснованные в работе соблюдены.

Работа осуществляется на двух смежных картах шириной 20 м или 40 м, в зависимости от типа торфяного месторождения и длиной 500 м (*рисунок 4.2 – рисунок 4.4*)<sup>15</sup>. На одной карте производится экскавация залежи, а на второй – стилка торфяных кусков, с последующей их сушкой и уборкой. Исходя из основных технологических параметров объема экскавируемого на карте торфа достаточно для выполнения 7–10 технологических циклов [129–131].

---

<sup>15</sup> На рисунках 4.2...4.4 рассмотрен вариант работы на торфяном месторождении верхового типа.



**Рисунок 4.2** - Схема работы 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)

Для экскавации торфяного сырья используется одноковшовый экскаватор МТП-71 или наиболее подходящие под этот тип экскаватора аналоги, способные работать на слабых грунтах. Экскавация осуществляется на глубину 0,3 м с последующей погрузкой торфомассы в бункер стилочной машины. Ширина забоя экскаватора будет зависеть от его технических характеристик и составляет около 4 м. На стилочной машине в процессе переработки торфомассы включается система подачи гидрофобного модификатора (раздел 4.4) с таким расчетом, чтобы требуемый объем суспензии в конце процесса стилки полностью был внесен в торфомассу (500...600 литров на  $10 \text{ м}^3$ ). Далее следующая стилочная машина становится под загрузку, а груженная машина едет к месту стилки на смежную карту. Во время стилки в бункере машина работает перемешивающее устройство. Плечо транспортировки торфомассы к месту стилки составляет в среднем

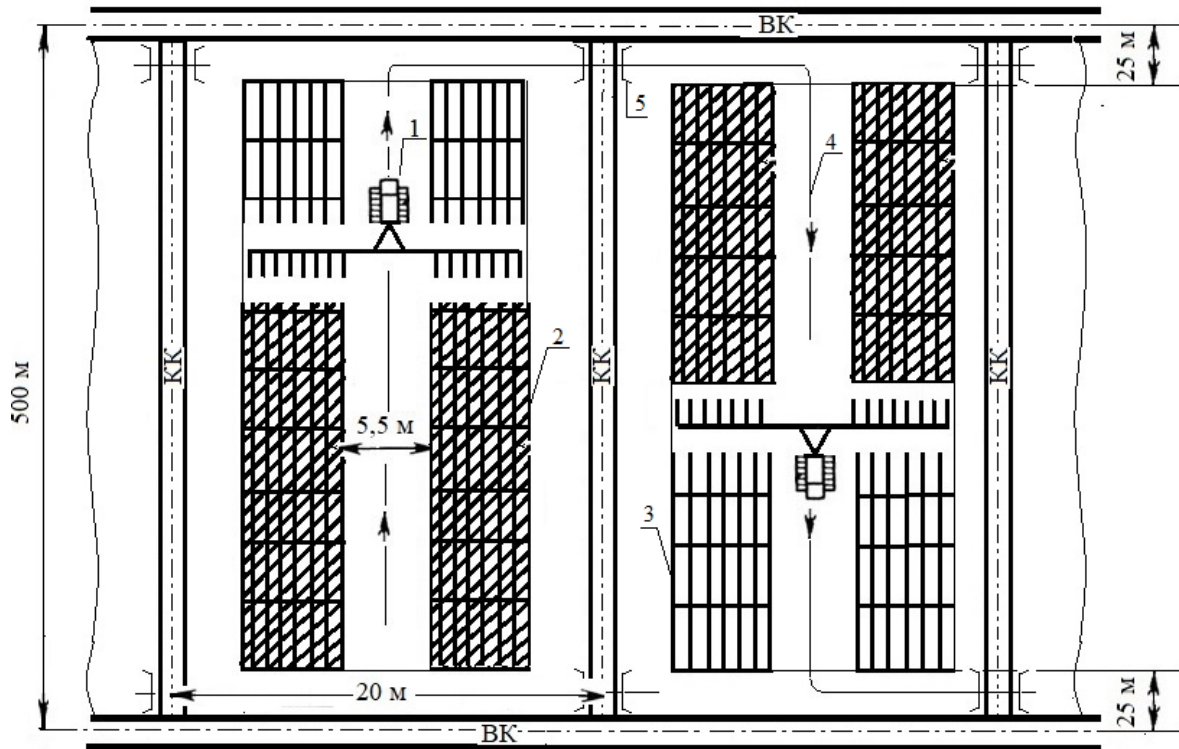
200...250 м. Длина стилки корректируется площадью поперечного сечения мундштука (формирующий агрегат) и составляет 400...450 м, что соответствует длине карты. Стилочная машина осуществляет стилку лентами (или волнистыми лентами) с правой стороны по ходу движения, начиная от края картового канала. Расстояние от края картового канала до места начала стилки составляет 0,2...0,3 м. После окончания стилки, при которой весь торф, находящийся в бункере, выстилается в виде ленты или внаброс (в зависимости от вида стилки) на всю длину карты, машина едет к месту забоя экскаватора под загрузку. Количество стилочных машин определяется расчетом по производительности оборудования исходя из условия непрерывной работы экскаватора (*приложение Д*). Стилка на поверхности карты осуществляется с двух сторон карты за счет последовательных проходов стилочных машин со стороны картовых каналов. В результате в конце технологической операции расстил торфяных кусков будет находиться слева и справа от центра карты вдоль осей картовых каналов. А посередине карты останется не застланная торфом полоса шириной 5,5 м, необходимая для проезда оборудования и выполнения остальных технологических операций.

Следующей технологической операцией является ворочка кускового торфа (*рисунок 4.3*). Ее выполнение необходимо для интенсификации процесса сушки торфяного растила. Операция выполняется специальным оборудованием с пассивными или активным рабочим органом<sup>16</sup>, который отрывает торфяной кусок от залежи, что позволяет нарушить их капиллярный влагообмен, и переворачивает его. При этом существует высокая вероятность того, что более влажные части куска будут направлены вверх. Сушка осуществляется в конвективном и радиационно-конвективном режимах. В действующих в настоящее время технологиях обычно

---

<sup>16</sup> Машина для ворочки с пассивным рабочим органом – тип РРК-19 (пр-во Финляндии) агрегированная с гусеничным или колесным трактором; с активным рабочим органом – самоходная, тип МТК-21 (пр-во СССР, а также более современный аналог, пр-во Ирландия).

выполняются две ворочки (или одна ворочка и валкование) при достижении кусками влажностей 70...75 % и 60...65 % - первая и вторая<sup>17</sup> ворочки соответственно. При выполнении ворочки кускового торфа машина РРК-19 работает по зигзагообразной схеме (рисунок 4.3).



**Рисунок 4.3** - Схема работы оборудования на технологической операции «ворочка» кускового торфа (1 – машина для ворочки кускового торфа; 2 – растил торфа после работы стиличной машины; 3 – растил торфа после ворочки; 4 – траектория движения машины для ворочки; 5 – мост-переезд через картовый канал)

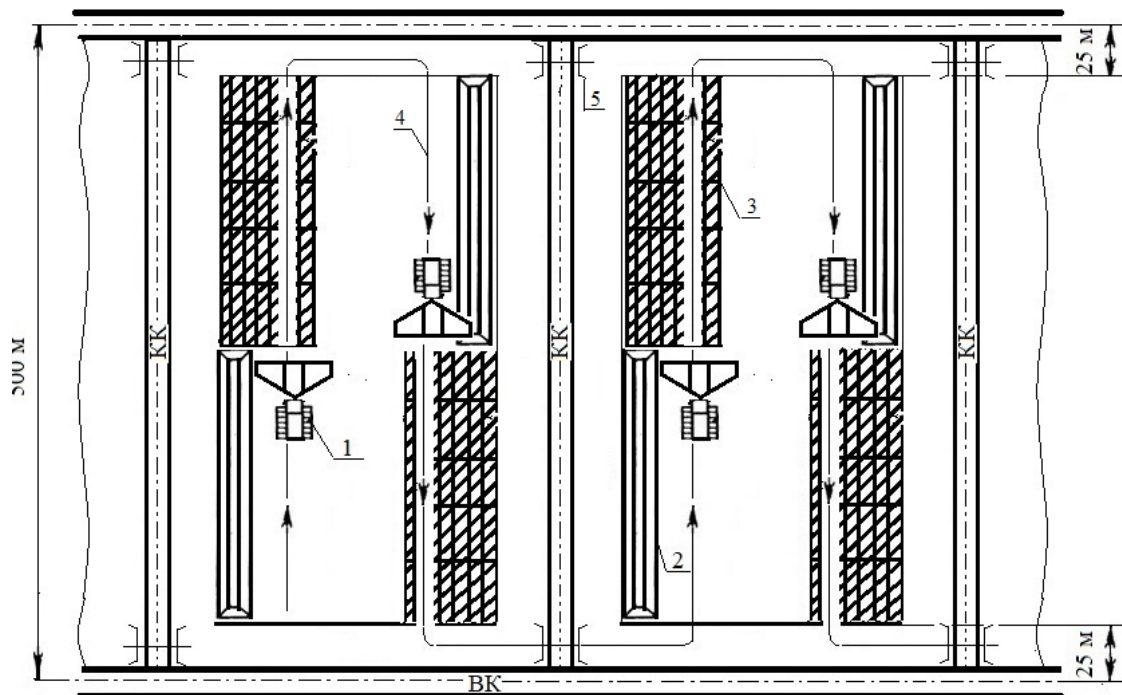
В разрабатываемой технологии, зависимость времени сушки от капиллярного влагообмена с залежью не значительно (раздел 4.2) и влажность формирования практически совпадает по величине с влажностью ворочки в стандартной технологии. Поэтому целесообразно выполнять одну ворочку или, что бывает реже, при хорошей интенсивности сушки вообще обходится без этой операции. Это позволяет сократить время технологического цикла добычи кускового торфа (приложение Д), а также

<sup>17</sup> В ряде случаев, по технологическим соображениям, вместо второй ворочки применяется валкование с последующей переукладкой валков.



затраты на горюче-смазочные материалы (*приложение Д*), что в конечном итоге сказывается на экономической эффективности технологии.

Основной целью операции «валкование» является сбор торфа из растила в валок треугольной (реже трапециевидной) формы (*рисунок 4.4*) для выполнения следующей операции – уборки (*рисунок 4.5*) с использованием максимальной эффективности работы уборочного оборудования (погрузчика непрерывного действия).



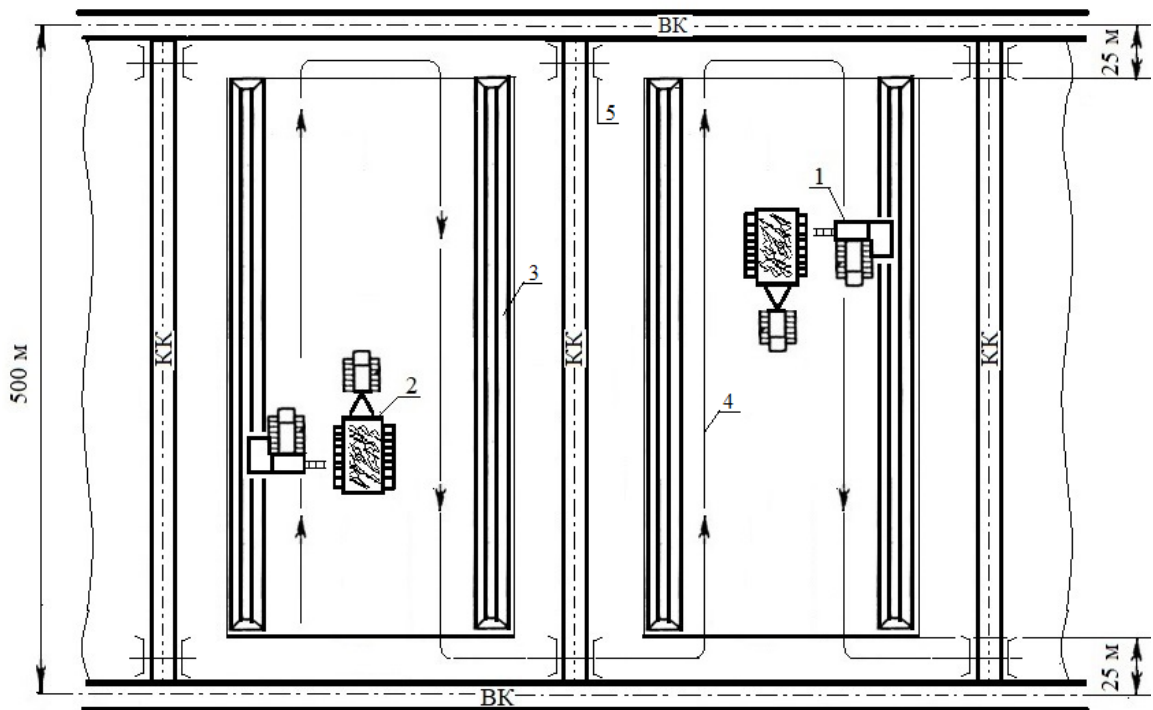
**Рисунок 4.4** - Схема работы оборудования на технологической операции «валкование» кускового торфа

(1 – валкователь кускового торфа; 2 – растил торфа до валкования;  
3 – валок кускового торфа; 4 – траектория движения валкователя;  
5 – мост-переезд через картовый канал)

В ряде случаев, например, при сильной солнечной активности или использовании торфяного сырья с повышенной крошимостью [160], предварительное валкование кускового торфа производится для создания более благоприятных для структурообразования «мягких» условий сушки. В этом случае наружные слои торфяного валка сохнут при «жестком» радиационном режиме, а внутренние при радиационно-конвективном. При этом обеспечивается условие примерного равенства интенсивности внутреннего и внешнего массопереноса и совпадения скорости

обезвоживания торфяного куска со скоростью его усадки. Однако, такой подход требует переукладки валка для выравнивания влажности перед его уборкой.

Валкование осуществляется валкователями с фронтальным (типа КА-4.0) или боковым (типа МТК-22) расположением рабочего органа, которые работают по зигзагообразной схеме. Наиболее предпочтительным вариантом является использование валкователей с фронтальным расположением рабочего органа, поскольку они имеют большую ширину захвата и позволяют убирать торф из растила в один валок (рисунк 4.4).



**Рисунок 4.5** - Схема работы оборудования на технологической операции «уборка» кускового торфа (1 – машина для уборки кускового торфа; 2 – трактор с прицепом для транспортировки торфа к месту складирования; 3 – валок кускового торфа; 4 – траектория движения уборочной машины; 5 – мост-переезд через картовый канал)

Далее осуществляется уборка торфа из валка в саморазгружающийся тракторный прицеп погрузчиком непрерывного действия и транспортировка (на схемах рисунок 4.2 – рисунок 4.5 не показано) его в складочные единицы – штабеля. Целесообразно размещать штабеля за пределами технологической площадки на суходолах, вблизи постоянных транспортных коммуникаций и т. п. для удобства транспортировки готовой продукции потребителю. В тоже

время, в связи с высокой производительностью погрузчика (до 1500 м<sup>3</sup>/час) количество тракторных прицепов должно обеспечивать его непрерывную работу. Поэтому расстояние транспортировки убранный торфа от места погрузки до складочной единицы не должно превышать двух километров (*приложение Д*). Штабель треугольного или трапецеидального сечения формируется фронтальным погрузчиком на высоту, определяемую его конструктивными параметрами, как правило, от 3 до 6 м.

Рассмотренная выше технологическая схема является базовой, однако возможна ее реализация в различных вариантах, например с применением искусственной досушки в вентилируемых штабелях или складочных помещениях [71]. Возможны также варианты с использованием в качестве сырья для формирования некондиционного фрезерного торфа повышенной влажности (невысранные штабели с торфом сельскохозяйственного назначения).

Достаточно большую перспективу имеет реализация данной технологии в районах с вечной мерзлотой, поскольку позволяет значительно сокращать продолжительность технологического цикла [218, 221].

На картах, предназначенных для сушки кускового торфа, необходимо проводить межцикловую подготовку после уборки торфа перед выстилкой новых лент. Подготовка заключается в удалении отходов кускового торфа, которые представляют собой торфяные частицы размером менее 25 мм (торфяная мелочь, образующаяся при разрушении кусков торфа). Данный размер соответствует размеру частиц фрезерного торфа, что позволяет применять для его уборки уборочные машины. Причем, если использовать бункерные уборочные машины с механическим принципом сбора, необходимо проводить дополнительную операцию валкования. Поэтому рекомендуется использовать бункерные уборочные машины с пневматическим принципом сбора, отличающиеся щадящим действием на торфяную залежь и не требующим применения дополнительного оборудования. Оптимальный угол наклона всасывающего сопла будет

определяться экспериментальным путем, в зависимости от качественной характеристики торфяного сырья и физико-механических свойств фрагментов формованного кускового торфа (торфяной мелочи) в соответствии с патентом РФ на изобретение № 2760605 «Пневматическая лабораторная установка для исследования скорости всасывания торфяной крошки» (*приложение E*) [145].

#### 4.2. Сравнительный анализ продолжительности сушки кускового торфа при проведении гидрофобной модификации

Для анализа влияния гидрофобной модификации торфомассы на продолжительность сушки кускового выберем сырьевую базу торфяного месторождения «Куровское», торфяное сырье которого использовалось при проведении диссертационных исследований, и было рекомендовано в качестве основного для добычи кускового торфа на топливо. Размеры кусков торфа и физико-химические свойства торфомассы соответствуют экспериментальным значениям (60 и 80 мм). Начальное влагосодержание при формовании кусков в действующей технологии принимаем равным  $W_n = 4,56$  кг/кг ( $w = 82\%$ ), в разрабатываемой -  $W_n = 3,35$  кг/кг ( $w = 77\%$ ). Это соответствует разнице в относительной влажности формования в 5 %, которая уменьшается при использовании гидрофобизатора.

В соответствии с приведенной методикой (*раздел 2.6*), интенсивность сушки постоянном периоде будет равна:

действующая технология

$$i_{\text{п}} = 0,588 \cdot 0,342 \cdot 5,33 \cdot 0,785 \exp(-0,852 \cdot 0,785) = 0,431 \text{ кг/м}^2\text{ч}$$

разрабатываемая технология

$$i_{\text{п}} = 0,588 \cdot 0,342 \cdot 5,33 \cdot 0,785 \exp(-0,818 \cdot 0,785) = 0,443 \text{ кг/м}^2\text{ч}$$

Незначительное (около 3 %) увеличение интенсивности сушки в постоянном периоде при использовании гидрофобной обработки торфяной

массы связано с некоторой интенсификацией усадочных процессов. Таким образом, величина, зависящая от усадки торфа, будет равна:

$$\text{действующая технология } \beta = \frac{2,5}{2,2 + 0,734} = 0,852;$$

$$\text{разрабатываемая технология } \beta = \frac{2,5}{2,2 + 0,853} = 0,818.$$

Удельная загрузка поля сушки по абсолютно сухому веществу торфа  $P_c$  в рамках:

действующей технологии

$$d_n = 60 \text{ мм: } P_c = \frac{0,785 \cdot 1031,33 \cdot 0,06}{1 + 4,56} = 8,74 \text{ кг/м}^2;$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } P_c = \frac{0,785 \cdot 1031,33 \cdot 0,08}{1 + 4,56} = 11,65 \text{ кг/м}^2;$$

разрабатываемой технологии

$$d_n = 60 \text{ мм: } P_c = \frac{0,785 \cdot 1007,36 \cdot 0,06}{1 + 3,35} = 10,9 \text{ кг/м}^2;$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } P_c = \frac{0,785 \cdot 1007,36 \cdot 0,08}{1 + 3,35} = 14,54 \text{ кг/м}^2.$$

Интенсивность сушки в убывающем периоде будет равна:

действующая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } i_{y\delta} = 0,431 \frac{0,7 - 0,3}{1,8 - 0,3} = 0,115 \text{ кг/м}^2 \text{ ч};$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } i_{y\delta} = 0,431 \frac{0,7 - 0,3}{2,11 - 0,3} = 0,095 \text{ кг/м}^2 \text{ ч};$$

разрабатываемая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } i_{y\delta} = 0,443 \frac{0,7 - 0,3}{1,56 - 0,3} = 0,141 \text{ кг/м}^2 \text{ ч};$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } i_{y\delta} = 0,443 \frac{0,7 - 0,3}{1,8 - 0,3} = 0,118 \text{ кг/м}^2 \text{ ч}.$$

Приведенное первое критическое влагосодержание  
действующая технология

$$d_H = 60 \text{ мм: } W_{\text{кп}} = 1,125 + 0,279 \left[ \frac{0,431 \cdot 0,06(1+4,56)}{5,33 \cdot 1031,33} \cdot \frac{4}{3,14} 10^5 - 0,9 \right] = 1,8 \text{ кг/кг}$$

$$d_H = 80 \text{ мм: } W_{\text{кп}} = 1,125 + 0,279 \left[ \frac{0,431 \cdot 0,08(1+4,56)}{5,33 \cdot 1031,33} \cdot \frac{4}{3,14} 10^5 - 0,9 \right] = 2,11 \text{ кг/кг}$$

разрабатываемая технология

$$d_H = 60 \text{ мм: } W_{\text{кп}} = 1,073 + 0,265 \left[ \frac{0,443 \cdot 0,06(1+3,35)}{5,33 \cdot 1007,36} \cdot \frac{4}{3,14} 10^5 - 0,9 \right] = 1,56 \text{ кг/кг}$$

$$d_H = 80 \text{ мм: } W_{\text{кп}} = 1,073 + 0,265 \left[ \frac{0,431 \cdot 0,08(1+3,35)}{5,33 \cdot 1007,36} \cdot \frac{4}{3,14} 10^5 - 0,9 \right] = 1,8 \text{ кг/кг}$$

Среднее влагосодержание поверхности куска торфа и величина  
обратная коэффициенту диффузии влаги:

действующая технология

$$W_{\text{п}} = 1,02 \left( \frac{1}{0,734} \right)^{0,316} = 1,125;$$

$$B = 0,365 - 0,117 \cdot 0,734 = 0,279, \text{ так как } K_{\text{yc}} \leq 0,9$$

разрабатываемая технология

$$W_{\text{п}} = 1,02 \left( \frac{1}{0,853} \right)^{0,316} = 1,073;$$

$$B = 0,365 - 0,117 \cdot 0,853 = 0,265, \text{ так как } K_{\text{yc}} \leq 0,9.$$

Рассчитываем коэффициент изменения площади поверхности куска в  
процессе сушки в постоянном периоде:

действующая технология

$$d_H = 60 \text{ мм: } K_{\text{ФП}} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (4,56 + 1,8) \cdot 0,734}{1 + 0,734 \cdot 4,56} \right]^2} = 0,84;$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } K_{\text{ФП}} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (4,56 + 2,11) \cdot 0,734}{1 + 0,734 \cdot 4,56} \right]^2} = 0,86;$$

разрабатываемая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } K_{\text{ФП}} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (3,35 + 1,56) \cdot 0,853}{1 + 0,853 \cdot 3,35} \right]^2} = 0,86;$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } K_{\text{ФП}} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (3,35 + 1,8) \cdot 0,853}{1 + 0,853 \cdot 3,35} \right]^2} = 0,88.$$

Продолжительность сушки кускового торфа в постоянном периоде:

действующая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } \tau_{\text{п}} = \frac{8,74}{0,431 \cdot 0,84} \cdot (4,56 - 1,8) \cdot 1,0 = 66,63 \text{ час};$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } \tau_{\text{п}} = \frac{11,65}{0,431 \cdot 0,86} \cdot (4,56 - 2,11) \cdot 1,0 = 77 \text{ час};$$

разрабатываемая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } \tau_{\text{п}} = \frac{10,9}{0,443 \cdot 0,86} \cdot (3,35 - 1,56) \cdot 1,0 = 51,21 \text{ час};$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } \tau_{\text{п}} = \frac{14,54}{0,443 \cdot 0,88} \cdot (3,35 - 1,8) \cdot 1,0 = 57,8 \text{ час}.$$

Продолжительность сушки кускового торфа в убывающем периоде:

действующая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } \tau_{\text{уб}} = \frac{8,74}{0,431 \cdot 0,58} \cdot (1,8 - 0,3) \ln \frac{1,8 - 0,3}{0,7 - 0,3} \cdot 1,0 = 69,31 \text{ час};$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } \tau_{\text{уб}} = \frac{11,65}{0,431 \cdot 0,6} \cdot (2,11 - 0,3) \ln \frac{2,11 - 0,3}{0,7 - 0,3} \cdot 1,0 = 123,1 \text{ час};$$

разрабатываемая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } \tau_{y6} = \frac{10,9}{0,443 \cdot 0,64} \cdot (1,56 - 0,3) \ln \frac{1,56 - 0,3}{0,7 - 0,3} \cdot 1,0 = 55,58 \text{ час};$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } \tau_{y6} = \frac{14,54}{0,443 \cdot 0,66} \cdot (1,8 - 0,3) \ln \frac{1,8 - 0,3}{0,7 - 0,3} \cdot 1,0 = 98,6 \text{ час.}$$

Рассчитываем коэффициент изменения площади поверхности куска в процессе сушки в убывающем периоде:

действующая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } K_{FY} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (1,8 + 0,7) \cdot 0,734}{1 + 0,734 \cdot 4,56} \right]^2} = 0,58;$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } K_{FY} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (2,11 + 0,7) \cdot 0,734}{1 + 0,734 \cdot 4,56} \right]^2} = 0,6;$$

разрабатываемая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } K_{FY} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (1,56 + 0,7) \cdot 0,853}{1 + 0,853 \cdot 3,35} \right]^2} = 0,64;$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } K_{FY} = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \cdot (1,56 + 0,7) \cdot 0,853}{1 + 0,853 \cdot 3,35} \right]^2} = 0,66.$$

Общая продолжительность сушки:

действующая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } \tau_o = 66,63 + 69,31 = 135,94 \text{ час};$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } \tau_o = 77 + 123,1 = 200,1 \text{ час};$$

разрабатываемая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } \tau_o = 51,21 + 55,58 = 106,79 \text{ час};$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } \tau_o = 57,8 + 98,6 = 156,4 \text{ час.}$$



Коэффициент поглощения осадков:

$$\text{действующая технология } K_{\text{ос}} = \frac{3,9}{35} + 0,015(4,56 + 0,7) = 0,19;$$

$$\text{разрабатываемая технология } K_{\text{ос}} = 0,5 \left( \frac{3,9}{35} + 0,015(3,35 + 0,7) \right) = 0,086.$$

Таким образом, продолжительность сушки с учетом осадков ( $\tau_{\text{ос}}$ , ч)

действующая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } \tau_{\text{ос}} = \frac{135,94 \cdot 0,431}{0,431 - 0,224 \cdot 0,19} = 150,83 \text{ час;}$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } \tau_{\text{ос}} = \frac{200,1 \cdot 0,431}{0,431 - 0,224 \cdot 0,19} = 222,02 \text{ час;}$$

разрабатываемая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } \tau_{\text{ос}} = \frac{106,79 \cdot 0,443}{0,443 - 0,224 \cdot 0,086} = 111,64 \text{ час;}$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } \tau_{\text{ос}} = \frac{156,4 \cdot 0,443}{0,443 - 0,224 \cdot 0,086} = 163,5 \text{ час.}$$

Расчетное количество технологических циклов за сезон:

действующая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } n_{\text{ц}} = \frac{124 - 8,5 - 15,083}{15,083} = 6,65 \text{ циклов;}$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } n_{\text{ц}} = \frac{124 - 8,5 - 22,202}{22,202} = 4,2 \text{ цикла;}$$

разрабатываемая технология

$$d_{\text{н}} = 60 \text{ мм: } n_{\text{ц}} = \frac{124 - 8,5 - 11,164}{11,164} = 9,35 \text{ циклов;}$$

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм: } n_{\text{ц}} = \frac{124 - 8,5 - 16,35}{16,35} = 6,06 \text{ циклов.}$$

Расчетные цикловой и сезонный сборы:

действующая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } q_{\text{ц}} = 10 \cdot 8,74 \cdot (1 + 0,5) \cdot 0,9 = 117,99 \text{ т/Га};$$

$$q_c = 117,99 \cdot 6,65 = 784,63 \text{ т/Га};$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } q_{\text{ц}} = 10 \cdot 11,65 \cdot (1 + 0,5) \cdot 0,9 = 157,28 \text{ т/Га};$$

$$q_c = 157,28 \cdot 4,2 = 660,56 \text{ т/Га};$$

разрабатываемая технология

$$d_n = 60 \text{ мм: } q_{\text{ц}} = 10 \cdot 10,9 \cdot (1 + 0,5) \cdot 0,9 = 147,15 \text{ т/Га};$$

$$q_c = 147,15 \cdot 9,35 = 1375,85 \text{ т/Га};$$

$$d_n = 80 \text{ мм: } q_{\text{ц}} = 10 \cdot 14,54 \cdot (1 + 0,5) \cdot 0,9 = 196,29 \text{ т/Га};$$

$$q_c = 196,29 \cdot 6,06 = 1189,52 \text{ т/Га}.$$

Таким образом, применение гидрофобизации торфомассы позволяет увеличить цикловой сбор на 25% по сравнению с действующей технологией добычи кускового торфа за счет снижения начальной влажности формирования (увеличения массы сухого вещества). Рост сезонного сбора происходит более радикально за счет 40...45 % увеличения количества технологических циклов из-за существенного снижения коэффициента поглощения осадков (в 2,2 раза) и влагообмена с подстилающей залежью. В конечном итоге суперпозиция этих факторов позволяет увеличить расчетный сезонный сбор торфа в 1,75...1,8 раза. Необходимо отметить, что применительно к условиям промышленного производства и увеличения вероятности выполнения годового плана добычи торфа количество технологических циклов несколько снижается (см. приложение Д), однако это не изменяет сути позитивного влияния гидрофобизации на эффективность его производства в полевых условиях.

### **4.3. Эскизная проработка стилочной машины с модулем дозирования и внесения гидрофобного модификатора в торфомассу**

Для промышленной реализации технологического процесса необходима разработка конструкции стилочной машины, оборудованной модулем дозирования и внесения гидрофобного модификатора в формуемую торфомассу. Внесение гидрофобно-модифицирующего раствора должно производиться при механической переработке (диспергирование и перемешивание) торфа [129–131]. При этом, как было рассмотрено выше (*глава 3*) у готовой для формования пластичной массы будет значительно снижена начальная влажность. Измельчение твердой фазы органического вещества торфа в жидкой среде осуществляется при его взаимодействии с перерабатывающим механизмом. Результат процесса диспергирования зависит от интенсивности воздействия механизма на торф и прочности самого торфа. В этой связи более низкая влажность гидрофобно-модифицированного торфа будет обеспечивать его более высокую прочность и, следовательно, эффективность механического воздействия 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 [129–131].

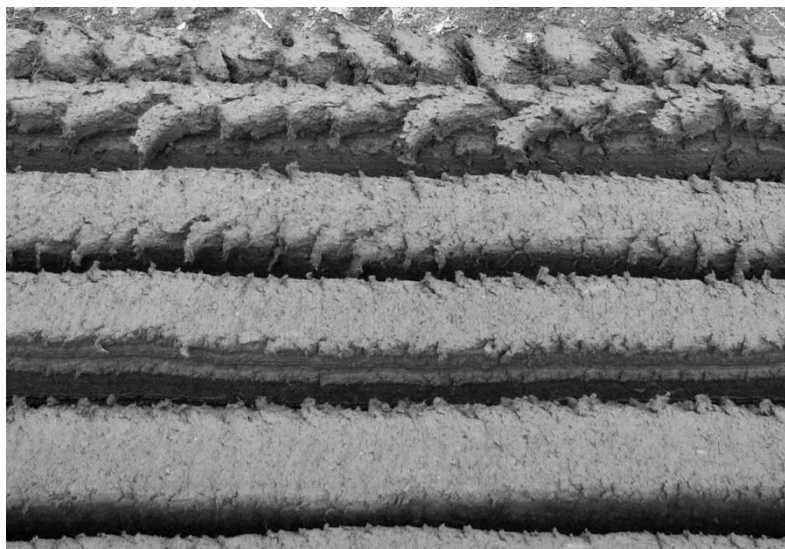
Он обеспечивает в диспергируемой торфомассе деформации сжатия, растяжения и сдвига. Однако, поскольку торф во время диспергирования находится в состоянии близком к пластичному, то деформации растяжения и сжатия будут иметь недостаточно высокий эффект в отношении разрушения отдельных частиц торфа. Основной эффект будут обеспечивать деформации вязкопластического потока торфяной массы [129–131].

Известно [158, 159], что при диспергировании изменяется микроструктура торфа, разрушаются растительные остатки, уменьшается количество механически связанной влаги с относительно невысокой энергией

связи ( $E_{св} < 1$  КДж/моль) [6, 7, 19]. При этом создаются условия для наиболее энергетически выгодной упаковки частиц твердой фазы, а также увеличивается содержание высокодисперсной фракции, которая равномерно распределяется по всему объему материала. Диспергирующая способность шнекового пресса достаточна для уменьшения содержания в торфе волокнистых и грубодисперсных и увеличения тонкодисперсных фракций. На содержание коллоидных фракций механическое диспергирование шнековым механизмом практически не влияет [129–131].

Кроме непосредственного диспергирования, стилочная машина должна обеспечивать устойчивое формование торфомассы в куски. При этом процессе механическое диспергирование также будет продолжаться, однако с меньшей интенсивностью, поскольку основная масса уже подверглась механической переработке на предыдущем этапе.

Обычно при формовании торфа, имеющего пониженную влажность (менее 80...82 %), качество выполнения этой технологической операции может оказаться низким – на кусках будут появляться поперечные трещины. Возможно также и полное их разрушение при выходе из мундштуков. Этот негативный для технологии добычи кускового торфа эффект вызван недостаточным для образования коагуляционных контактов между элементами структуры количеством влаги. Сказывается также и высокое содержание газовой фазы, разрушающей структурный каркас. В результате сжимаемая торфомасса, деформируемая в шнековых устройствах, после прохождения в канале мундштука расширяется на выходе из него с формированием кусков с признаками кольцевого «ершения» (рисунок 4.6).



**Рисунок 4.6** - Явление кольцевого «ершения» в крайнем левом ручье ленты (верхняя часть фото)

Как правило, такие куски разрушаются сразу после формования. А куски с менее явными дефектами разрушаются в процессе сушки, поскольку трещины и являются активными концентраторами напряжений, возникающих в процессе структурообразования [129–131].

В разрабатываемой технологии применение дополнительного технологического приема - химического модифицирования торфомассы - введение в нее разработанной эмульсии обеспечивает повышенную связность элементов структуры торфа. Поэтому вместе с дополнительным перемешивающим шнеком на машину необходимо устанавливать бак с раствором гидрофобного модификатора (*рецептура раствора приведена в главе 2*).

Для снижения расходов на создание специальной машины, предназначенной для формования и стилки кускового торфа, целесообразно конструктивно ее выполнять на базе серийно выпускаемой сельскохозяйственной техники - машины для внесения на поверхность почвы органических удобрений. Она имеет кузов с подвижным дном (скребковый транспортер) и механизм, обеспечивающий разбрасывание органических удобрений (*рисунок 4.7*) [129–131].



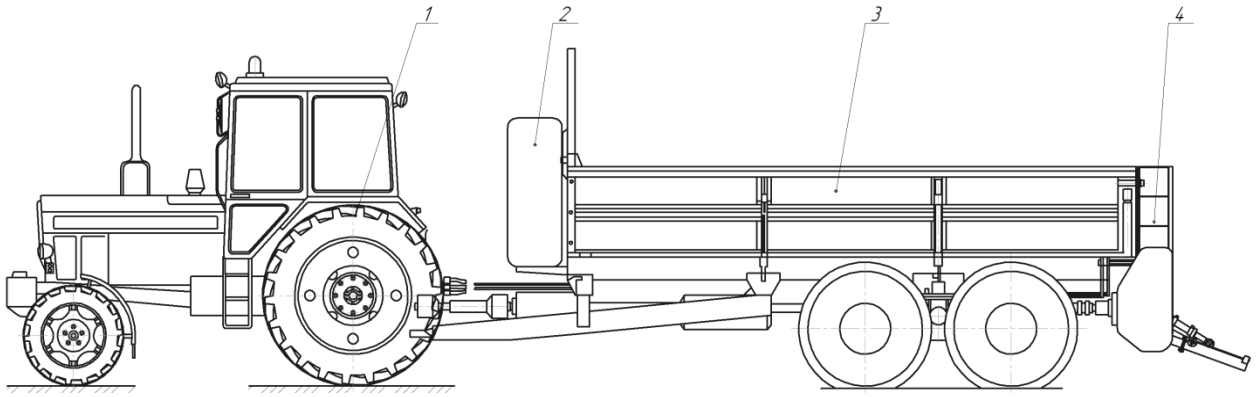
**Рисунок 4.7** - Машина для внесения органических удобрений на поверхность поля

Предлагается на машину вместо механизма, обеспечивающего разбрасывание органических удобрений, устанавливается специальное устройство, предназначенное для перемешивания торфомассы, формирования кускового торфа и выстилки его на поле сушки (*рисунок 4.8*). Кроме того, машина комплектуется дополнительным узлом для внесения гидрофобного раствора в торфомассу при ее механическом диспергировании.

Таким образом, стирочная машина (*рисунок 4.8*) должна состоять из следующих агрегатов и узлов: трактора-тягача 1, бака с раствором 2<sup>18</sup>, кузова (бункера) с подвижным дном 3 и блоком 4, обеспечивающим перемешивание торфа с раствором, его переработку и формирование кускового торфа. В случае необходимости на кузов может устанавливаться решетка для сепарации крупных древесных включений. Как правило, размер ее ячейки составляет 100 X 100 мм.

---

<sup>18</sup> Расчетный объем бака для бункера стирочной машины объемом 10 м<sup>3</sup> составляет 600 литров.



**Рисунок 4.8** - Общий вид стилочной машины: 1 – трактор-тягач; 2 – бак с раствором гидрофобного модификатора; 3 – кузов с подвижным дном; 4 – блок для перемешивания торфомассы и формования кускового торфа

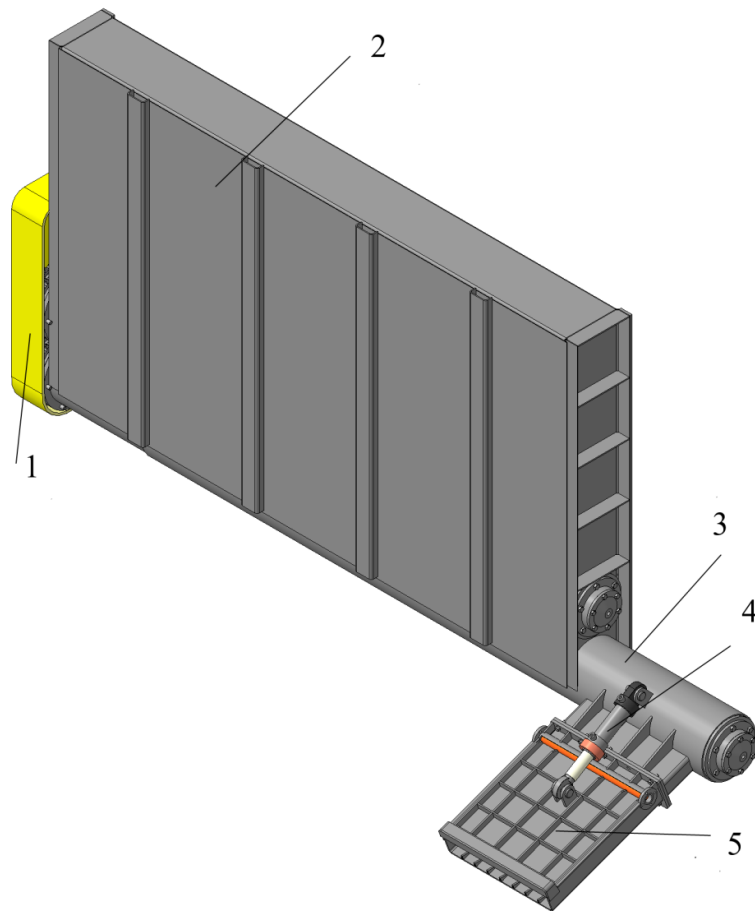
Агрегат для перемешивания и формования кускового торфа (*рисунок 4.9*) состоит из ограждения элементов привода, перемешивающего и формирующего механизмов 1, корпуса агрегата 2, формирующего шнекового механизма 3, гидроцилиндра подъема и опускания мундштука 4 и коробчатого мундштука 5 (так же могут быть использованы мундштуки других типов) [129–131].

В представленной комплектации осуществляется выстилка ленты торфа высотой 80 мм и шириной 400 мм в 5 ручьев. Возможна выстилка волнистой ленты.

На *рисунке 4.10* представлен вид с внутренней стороны агрегата для перемешивания и формования кускового торфа (со стороны кузова), который состоит из: 1 - корпуса перерабатывающего и формирующего шнека; 2 – корпуса перемешивающего механизма; 3 – рабочего органа перемешивающего механизма; 4 – шнека перерабатывающего и формирующего механизма; 5 – смотрового люка на переходном участке между перемешивающим и перерабатывающим механизмами; 6 – звездочки привода перемешивающего и перерабатывающего механизмов (*ограждение показано на рисунке 4.9*).

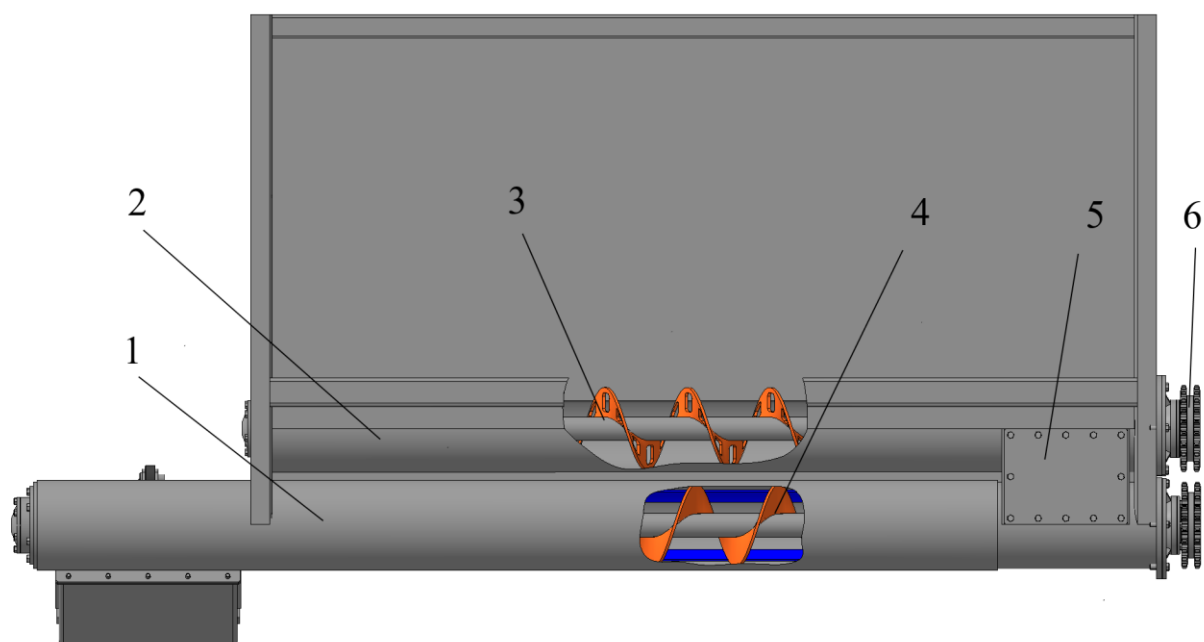
Привод механизмов осуществляется от вала отбора мощности трактора через систему валов и редукторов уже существующих на машине для

внесения органических удобрений на поверхность поля. Подача гидрофобно-модифицирующего раствора в зону смешивания перемешивающего устройства подается насосом по специальным трубопроводам [129–131].

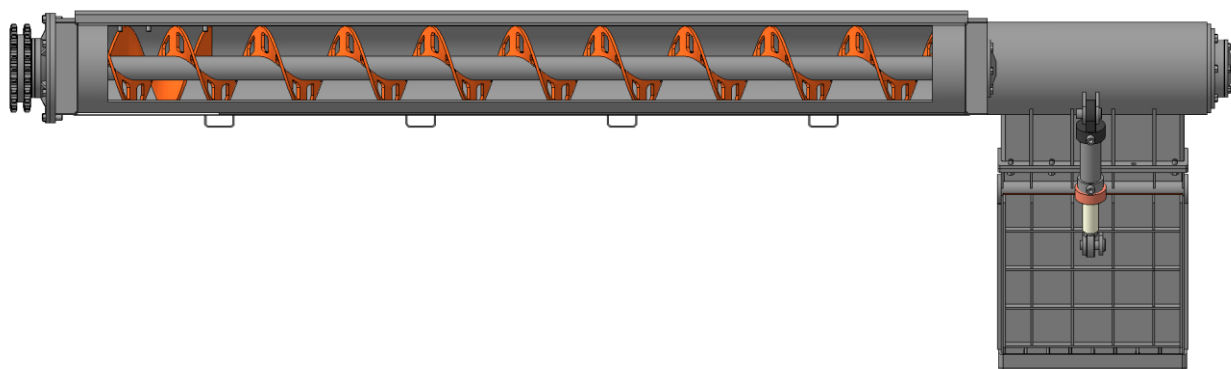


**Рисунок 4.9** - Агрегат для перемешивания торфа и формирования кускового торфа (пояснения в тексте)





**Рисунок 4.10** - Вид агрегата для перемешивания и формования кускового торфа с внутренней стороны: 1 - корпус перерабатывающего и формующего шнека; 2 – корпус перемешивающего механизма; 3 – рабочий орган перемешивающего механизма; 4 – шнек перерабатывающего и формующего механизма; 5 – смотровой люк на переходном участке между перемешивающим и перерабатывающим механизмами; 6 – звездочка привода перемешивающего и перерабатывающего механизмов



**Рисунок 4.11** - Вид сверху узла для перемешивания и формования кускового торфа

Эффективное диспергирование и перемешивание торфомассы с подаваемым гидрофобно-модифицирующим раствором осуществляется за счет использования двух ступеней достаточно большой длины. На первой ступени (рисунок 4.10, позиция 3) производится предварительное перемешивание. На второй ступени (рисунок 4.10, позиция 4) дальнейшее

перемешивание и механическая переработка осуществляется за счет пластического деформирования в объеме торфа с помощью шнека, а создаваемое им давление позволяет сформовать кусковой торф в виде ленты и осуществить его выстилку на поле сушки. Введение раствора непосредственно в смешивающий механизм, который имеет герметичное дно позволяет производить достаточно точное дозирование и экономно использовать применяемые ингредиенты [129–131].

Разработанный подход имеет ряд преимуществ. Во-первых, это использование стандартного промышленно выпускаемого оборудования, адаптированного для обеспечения стилки кускового формованного торфа. Во-вторых, ожидаются низкие капитальные вложения и относительно невысокая металлоемкость, что положительно повлияет на экономическую эффективность технологии (*приложение Д*). И, наконец, в - третьих, решается одна из главных для разрабатываемой технологии задач – высокая степень механического диспергирования и качество перемешивания торфа с модифицирующей добавкой.

#### **Выводы по главе 4**

Таким образом, при анализе результатов научных исследований, приведенных в главе 4, сделаны следующие выводы.

1. Разработана структурная схема технологии добычи (производства) кускового торфа, в которой предусмотрена технологическая операция по объемному внесению эмульсии гидрофобного модификатора в формуемую торфомассу.

2. Предложена новая схема работы экскаватора с комплектом модернизированных стилочных машин, позволяющая использовать для добычи кускового торфа участки торфяного месторождения, подготовленного для добычи фрезерного торфа. Добыча осуществляется на двух смежных картах.

3. С учетом усовершенствованной методики произведен расчет основных технологических показателей добычи кускового торфа. Установлено, что использование метода гидрофобной модификации торфомассы позволяет увеличить 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.

4. Предложена принципиальная схема модернизированной стилочной машины с устройством для внесения гидрофобного модификатора, позволяющим осуществлять его точное дозирование и распределения по всему объему обрабатываемой торфомассы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 формированию 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 формирование и стилка кусков осуществляется на двух смежных картах с периодической ротацией.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Абрамец А.М. Исследование механизмов радиационно-конвективной сушки торфа с добавками ПАВ// Сб. Торф и его переработка. Тр. ВНИИТП. Л., 1978. Вып. 41. С. 40–45
2. Абрамец А.М., Лиштван И.И., Чураев Н.В. Массоперенос в природных дисперсных системах / А.М. Абрамец, И.И. Лиштван, Н.В. Чураев; АН Беларуси. Ин-т пробл. использ. природ. ресурсов и экологии. - Минск: Навука і тэхніка, 1992. 286 с.
3. Абрамец А.М. Исследование влияния ПАВ и ВМС на процессы структурообразования и массопереноса в торфяных системах: Автореф. Дис. ... канд. техн. наук по спец. 02.00.11 / Абрамец Александр Макарович. Мн., 1980. 22 с.
4. Адамчик К.А., Злотницкий Л.В. Водостойкие древесноволокнистые плиты // Сб. нач. работ Дальневосточного НИИ по строительству, 1963. Вып. 4.
5. Андреевский В.А. Производство торфяных изоляционных плит, ОПТИ, НКТИ, М-Л, 1935.
6. Антонов В.Я. Основы технологии полевой сушки торфа. М., Недра, 1966. 200 с.
7. Антонов В.Я., Малков Л.М., Гамаюнов Н.И. Технология полевой сушки торфа. М.: Недра, 1981. 239 с.
8. Апт Л.С. Разработка технологии производства гидрофобных и биостойких термоизоляционных плит из торфа. Отчет ВНИИТП, 1961. Тема № 30. этап 4.
9. Апт Л.С. Разработка технологии производства торфяных изоляционных плит повышенной биостойкости. Труды ВНИИТП, 1961. Вып. 19.
10. Апт Л.С. Исследование рецептуры и технологии производства водостойчивых и биостойких плит из торфа. Отчет ВНИИТП, 1962. Тема 31.

11. Апт Л.С. Некоторые итоги работ по искусственному обезвоживанию торфа // Торфяная промышленность, 1962. № 6.
12. Апт Л.С. Разработка технологии производства гидрофобных и биостойких теплоизоляционных плит из торфа // Тезисы докладов и сообщений на 2 совещании по обмену опытом производства и применения теплоизоляционных материалов из торфа. Каунас, 1963.
13. Артемьев Н.А. О повышении стойкости торфяных изоляционных плит // Холодильная техника, 1947. № 7.
14. Афанасьев А.Е., Гамаюнов С.Н., Мисников О.С., Пухова О.В. Физические процессы в технологии торфяного и сапропелевого производства. Москва, МГТУ, 1998. С. 146–149.
15. Афанасьев А.Е., Мисников О.С. Структурообразовательные процессы в технологиях производства продукции на основе природных органоминеральных материалов. Москва, МГТУ, 2000.
16. Афанасьев А.Е. Изучение структурообразования при сушке крошкообразного торфа // Коллоидный журнал, 1978. № 5. Т. 40. С. 848–857.
17. Афанасьев А.Е. Исследование структурообразования при сушке кускового торфа (влияние влагосодержания и температуры) // Торфяная промышленность, 1981. № 7. С. 12–15.
18. Афанасьев А.Е. Обоснование влияния плотности на прочность кускового торфа // Физика процессов торфяного производства. Калинин: КГУ, 1987. С. 89–93.
19. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. М.: Недра, 1992. 288 с.
20. Афанасьев А.Е. Исследование структурообразования при сушке кускового торфа (влияние размеров пор) // Торфяная промышленность, 1981. № 8. С. 26–27.

21. Афанасьев А.Е. Физические процессы тепломассопереноса и структурообразования в технологии торфяного производства: Дис. ... д-ра техн. наук по спец. 05.15.05. Калинин, 1984. 611 с.

22. Афанасьев А.Е., Болтушкин А.Н. Изучение структурообразования при сушке коллоидных капиллярно-пористых тел различных размеров // Коллоидный журнал, 1987. Т. 49. № 6. С. 3–10.

23. Афанасьев А.Е., Тяботов И.А. Энергия активации процесса деформации вязкопластичного торфа // Изв. вузов. Горный журнал, 1984. № 8. С. 27–31.

24. Афанасьев А.Е. Влияние капиллярного давления на структурообразование при сушке торфа // Коллоидный журнал, 1989. Т. 51. № 1. С. 3–10.

25. А.Е. Афанасьев, Структурообразование коллоидных и капиллярно-пористых тел при сушке. Тверь: ТГТУ, 2003. 189 с.

26. Афанасьев А.Е., Мисников О.С. Оценка структурных характеристик при сушке формованных органических и органоминеральных биогенных материалов // Теоретические основы химической технологии, 2003. Т. 37. № 6. С. 620–628.

27. Афанасьев А.Е., Гамаюнов С.Н., Мисников О.С. Структурообразование при сушке сапропелей различной зольности // Коллоидный журнал, 1999. Т. 61, № 3. С. 303–308.

28. Афанасьев А.Е., Ефремов А.С. Взаимосвязь структурообразования с плотностью жидкости коллоидных капиллярно-пористых тел при сушке // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2010. № 7. С.307–314.

29. Афанасьев А.Е., Пухова О.В., Волков А.В., Иванов Д.В. Моделирование пропитки коллоидных капиллярно-пористых тел. // В сборнике: Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства / Материалы научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного



деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Солопова Сергея Георгиевича. Тверской государственный технический университет, 2001. С. 130–135.

30. Афанасьев А.Е., Пухова О.В. Влияние степени переработки и влаги на прочность формованного торфа // В сборнике: Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства / Материалы научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Солопова Сергея Георгиевича. Тверской государственный технический университет, 2001. С. 58–62.

31. Афанасьев А.Е., Пухова О.В. Волков А.В. Моделирование пропитки коллоидных капиллярно-пористых тел при различной кислотности дисперсионной среды // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2004. № 2. С.154–157.

32. Афанасьев А.Е. Физические процессы торфяного производства: Практикум. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2005. 208 с.

33. Баженов А.А., Сергеев Е.А., Пухова О.В., Лебедев В.В. Автоматическое регулирование параметров технологического процесса при производстве формованной продукции // Труды Инсторфа, 2019. № 19 (72). С. 22–25.

34. Базин Е.Т., Никонова В.А., Попов М.В. Исследование содержания связанной воды в торфе и сапропеле методом отрицательной адсорбции индикатора // Физико-химические свойства торфа. Водные свойства тепло- и массопереноса. Калинин, 1976. С. 56–59.

35. Базин Е.Т. Технический анализ торфа / Е.Т. Базин, В.Д. Копенкин, В.И. Косов и др. М.: Недра, 1992. 431 с.

36. Бахиятов А.И., Апт Л.С. Исследования по повышению гидрофобности и биостойкости торфяных изоляционных изделий // Сб. «Использование торфа и торфяного месторождения в народном хозяйстве СССР». Тезисы докладов и сообщений на 2 совещании по обмену опытом

производства и применения теплоизоляционных материалов из торфа. Каунос, 1964.

37. Бедная А.Ф. Легкие бетоны и теплоизоляционные материалы из стержней кукурузных початков для с/х строительства // Научные записки Полтавского инженерного строительного института, 1963. № 8.

38. 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.

39. 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.

40. Борисов С.Н., Воронков М.Г., Лукевиц Э.Я. Кремне-элементоорганические соединения // Химия, Л., 1966

41. Будниченко С.С. Дорожный асфальтобетон на основе торфоактивированных минеральных заполнителей и стабилизирующей торфодобавки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.23.05 / Будниченко Сергей Сергеевич. Минск: БНТУ, 2015. 25 с.

42. Булкаков В.Я., Лопатин Ю.Т. Гидрофобизация текстолитов полиорганосилоксанами // Пластические массы, 1966. № 1. С. 69–70.

43. Валиев Н. Г., Гревцев Н. В., Егошина О.С., Лбзин М. С. Научно-практические предпосылки создания цифровых природовоспроизводящих геотехнологий для комплексного освоения торфяных месторождений // Горный журнал, 2022. № 5. С. 63–68.

44. Ванина В.Н., Гутман А.М., Закощиков А.П., Закощиков С.А., Ротлейдер В.М. К вопросу об изучении адсорбционных свойств гидролизного лигнина // Коллоидный журнал, 1990. Т. 22, вып. 1.

45. Виноградов О.Н. Прессование древесно – стружечных плит на бардяном концентрате с добавлением мсерной кислоты. Материалы 1–2

научной конференции комплексной проблемной лаборатории Сибирского технологического института. Красноярск, 1961.

46. Воларович М.П., Гамаюнов Н.И., Лиштван И.И. Изучение механизма сушки и процессов структурообразования в торфяных системах // Физико-химическая механика дисперсных структур. М: Наука, 1966. С. 351–355.

47. Воларович М.П., Гамаюнов Н.И., Лиштван И.И. Изучение механизма сушки с помощью радиоактивных индикаторов и процессов структурообразования при тепло- и массопереносе в коллоидных капиллярно-пористых телах / II Всесоюз. совещание по тепло- и массообмену 5-9 мая 1964 г. Минск. – Минск: Б. и. 1964. 14 с.

48. Воларович М.П., Гамаюнов Н.И., Лиштван И.И. Комплексное исследование водных свойств и процессов структурообразования дисперсных систем // Успехи коллоидной химии Текст. / М, 1973. С. 212–222.

49. Воларович М.П. Исследование деформаций торфа в различных условиях методом рентгеновского просвечивания // Тр. МТИ., М. - Л.: Госэнергоиздат, 1953. Вып. 2. С. 112–121.

50. Воларович М.П., Чураев Н.В. Исследование степени дисперсности торфа // Труды Московского торфяного института, 1955. Выпуск 3. С. 33–57.

51. Волков А.В., Пухова О.В., Сотников Г.В. исследование пропитки капилляров растворами различных кислотностей // Вестник Тверского государственного технического университета, 2003. № 2. С. 101–104.

52. Волокнисто – стружечные плиты. Бюллетень строительной техники, 1964, № 2. С. 30–32.

53. Волоцкий Д.В. Применение кремнийорганических соединений для борьбы с пучинами // Железнодорожный транспорт, 1963. № 2.

54. Волоцкий Д.В. Гидрофобизация грунтов кремнийорганическими жидкостями при строительстве автомобильных дорог // Изд. Вузов «Строительство и архитектура», 1966, № 2. С. 100–105.

55. Волкова З.П. Смачиваемость твердых тел как характеристика молекулярной природы их поверхности и новый метод ее определения, 1939.
56. Воробьев В.А. Строительные материалы. Изд. «Высшая школа», М. 1962.
57. Воронков Б.Б. Повышение качества кускового топливного торфа путем улучшения структурно-механических свойств исходного сырья. Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.15.05 / Воронков Борис Борисович. Калинин, 1985. 15 с.
58. Воронков М.Г., Шорохов Н.В., Водоотталкивающие покрытия в строительстве. Изд-во АН Латв. ССР, Рига, 1963
59. Воронков М.Г., Шорохов Н.В., Применение растворов алкилсиликонатов натрия для повышения водостойкости строительных материалов. ЛДНТП, Л., 1956
60. Воронков М.Г., Калугин Н.В. – В кн.: Химия и практическое применение кремнеорганических соединений, 6. Изд-во АН СССР, Л., 1961
61. Гамаюнов Н.И. Тепло- и массоперенос в торфяных системах: Дис. ... д-ра техн. наук. Калинин, 1968. 238 с.
62. Гамаюнов Н.И., Косов В.И., Масленников Б.И. Ионообменные процессы и электрокинетические явления в набухающих природных и синтетических ионитах // Монография. Тверь: ТГТУ, 1999. 155 с.
63. Гамаюнов С.Н. Процессы структурообразования в технологии формованной продукции из торфа и сапропеля. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук по спец. 05.15.05 / Гамаюнов Сергей Николаевич. Тверь, 1998. 42 с.
64. Гамаюнов С.Н. Разработка методики прогноза структурообразования и качества кускового торфа при производстве коммунально-бытового топлива: Дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.15.05. Калинин, 1989. 229 с.
65. Гамаюнов Н.И., Афанасьев А.Е. Изучение механизма переноса влаги при испарении ее из торфяных грунтов // В кн.: Исследование

процессов люмена энергией и веществом в системе почва-растение-воздух. Л., Наука, 1972, С. 98–104.

66. Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н. Современные аспекты физики торфа // Труды Инсторфа, 2012. № 6 (59). С.22–35.

67. 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.

68. 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.

69. ГОСТ Р 51062-2011 Торф кусковой топливный для коммунально-бытовых нужд. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2011. 11 с.

70. Гревцев Н.В. Научные основы технологии торфяных композиционных материалов. Дис. ... д-ра техн. наук по спец. 05.15.05. Тверь, 1998. 459 с.

71. Гревцев Н.В. Обоснование технологии досушки кускового торфа в штабелях при естественном и принудительном воздухообмене: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.05 / Гревцев Николай Васильевич. Калинин: КПИ, 1983. 16 с.

72. Гриневич К.П., Зубков И.А., Одишария С.Н. Синтез гидрофобизирующих кремнийорганических жидкостей ГКЖ-10 и ГКЖ-11 // Пластические массы, 1961. № 1.

73. Горяинов К.Э. Минеральный войлок и получение изделий на битумных пастах // Сб. «Теплоизоляционные материалы». Г.С.И., М., 1961.

74. Гусева А.М. Обоснование рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа. Дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.05.06. Тверь, 2019. 145 с.

75. Данилов И.А. Повышение водостойкости судостроительной древесины // Судостроитель, 1964. № 3.

76. Джафаров Д.Т., Купорова А.В. Исследование степени физико-механической переработки торфяного сырья // Сборник научных трудов. Тверь, 2017. С. 438–442.
77. Дмитриев О.В. Разработка научно-обоснованных подходов к повышению эффективности огнетушащих порошковых составов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 2.6.18 / Дмитриев Олег Владимирович. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2022. 16 с.
78. Долгов Б.И., Воронков М.Г. Применение кремнийорганических соединений для гидрофобизации материалов // ВестЛГУ, 1954. № 5. С.185–201.
79. Дрожалина Н.Д. Углеродные молекулярные сита на основе торфа. Мн: Наука и техника, 1984. 150 с.
80. Зацепина Г.Н. Структура и свойства воды. М.: Изд-во Московского университета, 1974. 168 с.
81. Зыкова В.И., Панкратова Г.И., Шорохов Н.Г. Гидрофобизация торфяных изоляционных плит кремнийорганическими соединениями // Стройматериалы, 1966. № 2.
82. Кельцев Н.Н. Основы адсорбционной техники Текст. / М.: Химия, 1976.
83. Колбановская А.С., Давыдова А.Р. Поверхностноактивные добавки улучшают свойства битумно-минеральных смесей и повышают их долговечность // Автомобильные дороги, 1959. № 11. С. 15–16.
84. Колясев Ф.К. Гидрофобная земля и ее применение. Научный отчет Всесоюзного физико-агрономического института за 1942 – 43 годы. ОГИЗ-Сельхозгиз, 1946.
85. Колясев Ф.К., Лысенко М.П. Гидрофобизация торфа // Сб. трудов по агрономической физике, Сельхозгиз, 1953. Вып.6.
86. Концевой Н.С. Производство торфяной продукции в зарубежных странах // Торфяная промышленность, 1990. № 1. С. 5–8.

87. Коперин Ф.И. Повышение качества изделий и продуктов из древесины одно из главных направлений в осуществлении технического прогресса в лесной промышленности // Изд. Вузов, «Лесной журнал», 1965. № 1.

88. Коржув А.С., Зарубицкий А.К. Битумные нефтесланцеформальдегидные эмульсионные краски // Лакокрасочные материалы и их применение, 1963. № 1. С. 70–71.

89. Коржув А.С. Дисперсные битумы // Госгеолиздат, М. 1951.

90. Корчунов С.С. Исследование физико-механических свойств // Тр. ВНИИТП. М.-Л., 1953. Вып. 12. 235 с.

91. Корчунов С.С. Дулькина С.М. Методические основы оценки влагопереноса в процессе сушки торфа // Труды ВНИИТП, вып. XX. Л., Гостехиздат, 1963. С. 51–99.

92. Крутов Н.И. Применение камыша в строительстве // Госстройиздат. 1963.

93. Кудряшов И.Т. Изготовление гидрофобных теплоизоляционных торфоплит и их исследование // Тезисы докладов и сообщений на 2 совещании по обмену опытом производства и применения теплоизоляционных материалов из торфа. Каунас. 1964.

94. Купорова А.В. Процессы структурообразования в технологии добычи кускового торфа // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2022. № 4 (16). С. 25–35.

95. Купорова А.В., Пухова О.В. Водно-технические свойства торфяного топлива с гидрофобной добавкой // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2018. № 2. С. 201–207.

96. Купорова А.В., Болтушкин А.Н. Использование отходов нефтепереработки для повышения качества формованного торфа // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2015. № 5. С. 131–134.

97. 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.

98. 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.

99. Лаская Е.А., Воронков М.Г. Применений кремнийорганических соединений для гидрофобизации теплоизоляционных изделий из вспученного перлита. Т. 35. 1962.

100. Лаская Е.А. Исследования в области гидрофобизации некоторых строительных материалов кремнийорганическими соединениями. Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Лаская Елена Анатольевна. Киев. 1962. 16 с.

101. Лиштван И.И. Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах с целью регулирования их свойств. Дис. ... д-ра тех. наук по спец. 314. Калинин. 1969. 644 с.

102. Лиштван И.И., Базин Е.Т. Косов В.И. Физические свойства торфа и торфяных залежей. Мн.: Наука и техника, 1985. 240 с.

103. Лиштван И.И., Абрамец А.М., Лыч А.М., Терентьев А.А. Коллоидная химия в технологии переработки торфа // Ж. Всесоюзного химического общества, 1989. № 2. С. 48–53.

104. Лиштван И.И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. – Минск: Наука и техника, 1983. 231 с.

105. Лиштван И.И. Современные представления о некоторых физико-химических свойствах торфа / М-во угольной пром. СССР. Отд-ние общей и техн. химии АН СССР. Всесоюз. хим. о-во им. Д.И. Менделеева. Ин-т



горючих ископаемых. III Всесоюз. совещ. по химии и технологии твердого топлива. - Москва: Б. и. 1976. 9 с.

106. Лиштван И.И. Микро- и макрореология дисперсных систем. – Минск: Б. и., 1975. 39 с.

107. Лиштван И.И. Физика и химия торфа: уч. пособие для вузов / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. М.: Недра. 1989. 304 с.

108. Лопотко М.З. Сапропели БССР, их добыча и использование. Мн.: Наука и техника. 1974. 208 с.

109. Лопотко М.З. Озера и сапропель. М.: Наука и техника. 1978. 88 с.

110. Лысихина А.И. Поверхностно-активные добавки для повышения водостойкости дорожных покрытий с применением битумов и дегтя // Автотрансиздат, 1959.

111. Лыч А.М., Абрамец А.М., Терентьев А.А. Особенности действия ПАВ в торфяных системах при их обезвоживании // Коллоидный журнал, 1981. Вып. 5. С. 985–990.

112. Малафаев Н.Т. О взаимодействиях и динамике молекул в чистой воде // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2011. № 8 (52). Т. 4. С. 48–57.

113. Матвеев М.А. О защите против воды гипсовых изделий при помощи глинобитумных покрытий // Труды МХТИ, М, 1943. вып. 13.

114. Микульчик А.Ф. Теплоизоляционный материал из местного сырья // Строительные материалы, 1965 (35). № 1.

115. Мисников О.С. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное пособие / О.С. Мисников, В.А. Беляков. Изд. 2-е, перераб. и доп. Тверь: ТГТУ, 2016. 168 с.

116. Мисников О.С. Физические процессы структурообразования при сушке погребных сапропелей: Дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.15.05. Тверь, 1997. 154 с.

117. Мисников О.С., Пухова О.В. Критерий оценки структурообразования и качества мелкокусковой продукции // Органическое вещество торфа / Тез. докл. междунар. симп. Мн., 1995. С. 41.

118. Мисников О.С. Основы получения и использования композиционных материалов из органических и минеральных биогенных ресурсов // Вестник ТГТУ, 2003. Вып. 2. С. 108–112.

119. Мисников О.С. Зависимость структурообразовательных процессов от содержания органического вещества в композициях биогенных материалов // ГИАБ. М: МГГУ, 2004. № 2. С. 196–200.

120. Мисников О.С. Разработка научных принципов утилизации промышленных отходов с комплексным использованием ресурсов торфяных месторождений: Дис. ... докт. техн. наук по спец. 25.00.36. Тверь, ТГТУ, 2007. 343 с.

121. Мисников, О.С. Физико-химические основы торфяного производства: учебное пособие / О.С. Мисников, О.В. Пухова, Е.Ю. Черткова. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. 168 с.

122. Мисников О.С. Гидрофобное модифицирование строительных материалов продуктами переработки торфа // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии / Материалы межд. конф. Мн.: Тонпик, 2006. С. 229–232.

123. Мисников О.С., Иванов В.А. Гидрофобная модификация минеральных дисперсных материалов продуктами переработки торфа // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири / Материалы второй международной научно-практической конференции, 18-21 августа 2014 г. – Томск: «РГ Графика», 2014. С. 202–206.

124. Мисников О.С. Метод нанесения органических гидрофобно-модифицирующих пленок на минеральные дисперсные материалы // Социально-экономические и экологические проблемы горной

промышленности, строительства и энергетики / Материалы VIII Межд. конференции. Минск: БНТУ, 2013. Т. 2. С. 19–26.

125. Мисников О.С. Исследование физико-химических свойств гидрофобно-модифицированных цементов // Интеграция науки и образования – производству, экономике / Сб. тр. межрегиональной науч.-техн. конф. Тверь: ТвГТУ, 2012. С. 42–50.

126. Мисников О.С., Иванов В.А. Использование торфяных добавок для гидрофобной модификации гипсовых вяжущих материалов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики / Материалы XII Межд. конференции. Тула: ТулГ., 2016. Т. 1. С. 396–402.

127. Мисников О.С. Перспективные виды продукции на основе термохимической переработки торфа // Проблемы и перспективы устойчивого развития торфяного дела в России / Материалы международной научно-практической конференции Тверь: Триада, 2018. С. 111–115.

128. Мисников О.С., Иванов В.А. Использование торфа в технологии получения гидрофобного модифицированного гипсового вяжущего // Труды Инсторфа, 2018. № 17 (70). С. 27–40.

129. Мисников О.С., Купорова А.В. Технологические основы добычи гидрофобно-модифицированного кускового торфа // Горный журнал, 2022. № 12, С. 34–39.

130. 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.

131. Мисников О.С., Фомин К.В., Купорова А.В. Принципиальная схема стирочной машины для технологии добычи гидрофобно-модифицированного кускового торфа // Социально-эконом. и эколог. проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТулГУ, 2022. С. 11–17.

132. Мощанский Н.А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред // Госстройиздат, М. 1962.
133. Мутуль А.Ф., Беляков Г.Г. Гидрофобизация минеральных компонентов строительных материалов на черных вязущих. Изд. АН Латв. ССР, Рига. 1955.
134. Наумович В.М. Искусственная сушка торфа. М.: Недра, 1984. 222 с.
135. В.М. Наумович, Теоретические процессы брикетирования торфа. Мн.: Институт торфа АН БССР, 1960. 196 с.
136. Нгуев-Хау-Куанг. Исследование гидрофобности и биостойкости древесно-стружечных плит с целью их применения в условиях тропического климата. Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Нгуев Хыу Куанг. МАТИ, М. 1964.
137. Нессонова Г.Д., Погосянц Е.К., Маркова Г.Б., Гриневич К.П. – Пластмассы, 1962. 1.20
138. Нечаев Г.А. Исследование устойчивости гидрофобных грунтовых материалов // Промышленное строительство, 1959. № 7.
139. Нуждин И. Линейно-путевые крупнопанельные дома с камышовым утеплителем // Жилищное строительство, 1963. № 1.
140. Озеров В.И., Прудков Н.И. Результаты опытов на сушке теплоизоляционных плит на Стариковской фабрике // Торфяное дело, 1935. № 4.
141. Отливанчик А.Н. Производство и применение древесно-стружечных плит // Госстройиздат. 1962.
142. 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.
143. Патент № 2067804. Способ обработки почв. (Крупнов Р.А., Суворов В.И., Соловьёв Н.Л., Акимова О.В.). Оpubл. 1996. Бюл. № 29.159

144. Пат. RUS 2696070, 07.12.2018. Устройство для создания и измерения разрушающей нагрузки / Яблонев А.Л., Гусева А.М., Жуков Н.М. Оpubл. 30.07.2019, Бюл. № 22.

145. 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.

146. Пащенко А.А. Гидрофобизация / Воронков М.Г., Михайленко Л.А., Круглицкая В.Я., Лаская Е.А., Киев, изд. «Наукова думка», 1973. 240 с.

147. Михайлов А.В., Кремчеев Э.А., Большунов А.В., Нагорнов Д.О. Перспективы развития новых технологий добычи торфа // ГИАБ (научно-техн. журнал), 2010. № 9. С. 189–194.

148. Пухова О.В. Закономерности изменения физических свойств торфа при его переработке и сушке: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.15.05 / Пухова Ольга Владимировна. ТвГТУ. Тверь, 1998. 20 с.

149. Пыталев И.А. Концепция комплексного освоения участка недр с формированием новых источников энергии при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / В кн. Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых / Материалы научно-практической конференции: тезисы докладов, 2023. С. 55–57.

150. Ребиндер П.А. Реология и физико-химическая механика дисперсных структур // Тезисы докладов и сообщений VI юбилейной Всесоюзной конференции по коллоидной химии. Изд. Воронежского университета, 1968 г. С. 42–47.

151. Сергеев Ф.Г. Исследование водопогложительных свойств мелкокускового торфа и торфяной подстилки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.314 / Сергеев Федор Григорьевич. Калинин. 1970. 23 с.

152. Синюков В.В. Структура одноатомных жидкостей, воды и водных растворов. М.: Наука, 1976. 256 с.

153. Соколова Т.В. Применение гранулированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.15.05 / Соколова Тамара Влидимировна. Мн., 1988. 22 с.

154. Солечник Н.Я., Новосельская А.И., Бровкин В.И. Использование опилок для производства древесноволокнистых плит // Деревообрабатывающая промышленность, 1964. № 2.

155. Соловьёв Н.Л., Суворов В.И. Использование отходов ЦБК для повышения качества кускового торфа // В кн. Тезисы Всесоюзной конференции: "Торф в народном хозяйстве". Томск. 1991. С. 60–68.

156. Соловьёв Н.Л. Исследование свойств композиций на основе торфа с целью получения термоизоляционных материалов // Добыча и переработка торфа / Сб. научн. тр. Юбилейного Международн. Симп. 60 лет ВНИИТ. – С.- П., 2002. С. 134–135.

157. Соловьёв Н. Л. Разработка способов модифицирования торфа в технологиях получения продукции с заданными свойствами. Дис. ... канд. техн. наук по спец. 25.00.22. Тверь, 2002. 140 с.

158. Солопов, С.Г. Влияние дисперсности на структуру и физико-механические свойства торфа в связи с задачей получения качественного кускового топлива из залежей с пониженной влажностью // Труды МТИ. – М.- Л.: ГЭИ, 1958. Вып. VIII. С. 16–17.

159. Солопов, С.Г. Физико-технические основы получения формованного торфяного брикета (мелкокускового топлива) // Торфяная промышленность, 1971. № 11. С. 14–17.

160. Справочник по торфу/под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова, М.:Недра, 1982.760 с.

161. Степанова А.И. Расчет поверхностных напряжений керамической пластины в процессе сушки // Промышленная теплотехника, 1982. № 2. С.22–25.

162. Субботина А.А., Николаева И.Ф., Володько Е.С. Производство изделий из опилок без применения связующих // *Деревообрабатывающая промышленность*, 1965. № 10.

163. Суворов В.И., Соловьёв Н.Л. Исследование влияния химических добавок на сушку и прочность кускового торфа // *Торфяная промышленность*, 1988. № 4. С. 13–16.

164. Суворов В.И., Ходяков Г.М., Терентьев А.А. и др. Изучение влияния различных модификаций ГиПАНа на качественные показатели кускового торфа // *Физические основы торфяного производства*. Калинин: КГУ, 1985. С. 101–107.

165. Суворов В.И., Терентьев А.А. Исследование влияния ионов кальция на пористую структуру торфяных брикетов // *Тез. докл. конф. по физике и физикохимии торфа*. Мн. 1972. С. 157–158.

166. Суворов В.И. Соловьёв Н.Л. Ходяков Г.М. Особенности сушки мелкокускового торфа в присутствии ПАВ // В кн. *Физические основы торфяного производства*. Калинин: КГУ. 1986.

167. Суворов В.И., Соловьёв Н.Л. Особенности использования ПАВ для повышения качества кускового торфа // В кн. *Физические основы торфяного производства*. Калинин: КГУ. 1988. С.65–70.

168. Суворов В.И., Соловьёв Н.Л. Физико-химическое модифицирование кускового торфа // В кн. *Физикохимия торфа и сапропеля / Материалы междунар. научно-техн. конф. Ч. 1*. Тверь: ТвеПИ. 1994. С.83–84.

169. Суворов В.И. Исследование пористой структуры окускованного торфа в связи с регулированием его физико-механических свойств: Дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.15.05. Калинин, 1975. 307 с.

170. Суханов М.А. Теплоизоляционные материалы из торфа. ГЭИ, М-Л., 1960.

171. Суханов М.А. Использование торфоизоляционных плит в крупнопанельном строительстве // *Торфяная промышленность*, 1960. № 8.

172. Тагер А.А. Физикохимия полимеров: 3-е изд. перераб. М.: Химия, 1978. 544 с.
173. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев: Наукова думка, 1981. 208 с
174. Терентьев А.А., Суворов В.И. Исследование структуры торфа. Мн.: Наука и техника, 1980. 96 с.
175. Терентьев А.А., Некрашевич В.М., Некрашевич А.И., Прохоров Г.М. Структурообразование торфяных систем, модифицированных неионогенными ПАВ // Торфяная промышленность, 1987. № 1. С. 28–30.
176. Терентьев А.А. Управление структурообразованием в торфяных системах при получении бытового топлива: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук по спец. 05.15.05 / Терентьев Авенир Афанасьевич. Мн., 1989. 46 с.
177. Фомин В.К. Научные основы технологии и комплексной механизации производства формованного торфа. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. по спец. 05.15.05 / Фомин Константин Владимирович. Калинин, 1989. 50 с.
178. Фройштетер Г.Б., Сергеев Г.И., Бочкарева Т.С. К вопросу повышения водоустойчивости торфяных брикетов // Торфяная промышленность, 1964. № 6.
179. Хигерович М.И. Гидрофобный цемент // Промстройиздат, 1957.
180. Хотунцев Л.Л. Методы повышения водоустойчивости буроугольных брикетов // Углетехиздат, М. 1936.
181. Цыгипова Н.Ф. Карпенко А.Н. Басова И.А. Исследование вопросов применения вяжущих материалов при производстве изоляционных плит из торфа. Отчет ВНИИТП, тема 30, Л. 1961.
182. Цылин М.И. Влияние качества распыления связующего на физико-механические свойства древесно-стружечных плит // Деревообрабатывающая промышленность, 1960. № 11.
183. Чураев Н.В. Механизм переноса влаги в капиллярно-пористых телах. Текст./Н.В. Чураев // Докл. АН СССР, 1963. Т. 148. № 6. С.1361–1364.



184. Чураев Н.В. Водные свойства, структура и процессы переноса влаги в торфе: Дис. ...д-ра техн. наук. М., 1961. 532 с.

185. Шарафутдинов З.З., Чегодаев Ф.А., Мавлютов М.Р. Гидратная полимеризация воды и формы ее проявления в горном деле // Горный вестник, 1998. № 4. С. 50–57.

186. Шахматов К.Л. Обоснование круглогодичной добычи торфяного сырья и технология производства композиционных теплоизоляционных материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 25.00.22 / Шахматов Кирилл Леонидович. Тверь: ТвГТУ, 2011. 16 с.

187. Шиманский В.С., Жук Е.А., Сукало А.В. Пути повышения водостойчивости торфоизоляционных материалов и брикетов. Сборник химия и генезис торфа и сапропелей. Минск, 1962.

188. Шишкин И.Г. Исследование усадочных напряжений при сушке мелкокускового торфа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.15.05 / Шишкин Иван Григорьевич. Калинин: КПИ, 1973. 27 с.

189. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с

190. Эльберт А.А. Гидрофобизация стружечных плит методом термической обработки // Деревообрабатывающая промышленность, 1962. № 10.

191. Эльберт А.А. Гидрофобизация стружечных плит методом сухого распыления парафина // Деревообрабатывающая промышленность, № 10. 1963.

192. Эльберт А.А. Исследование гидрофобизирующей способности заменителей парафина для повышения водостойкости древесно-стружечных плит // Деревообрабатывающая промышленность, 1964. № 9.

193. Яблонев, А.Л. Определение прочности на изгиб формованной торфяной продукции / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки», 2019. № 3 (3). С 47–55.

194. Яблонев, А.Л. Методика и оборудование для испытания на прочность кускового торфа / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Горное оборудование и электромеханика, 2018. № 6 (140). С. 26–33.
195. Яценко, Н.Е. Лабораторный практикум по физике торфа. / Н.Е. Яценко, С.Б. Лаптева, С.Ю. Алексеева. Тверь: ТвГТУ, 2012. 141 с.
196. <https://www.chem21.info/>
197. Alentyev A., Kletchenkov I., Paschenko A. Kremniyorganicheskiye Gidrofobizatory (Organosilicon Water Repellents). Gosudarstvennoy izdatel'stvo tekhnicheskoy literatury, Kiev, 1962. 110 pp. (in Russian).
198. Babiak M., Ratajczak M., Kosno J. Analysis of Selected Rheological Properties and ageing Processes of Bitumens Used in Waterproofing Products // Materials Science Forum, 2018. Vol. 923. P. 135–142.
199. Babiak M., Ratajczak M., Kulczewski P. & Kosno J. Ecological Hydrophobizing Admixture in Special Purpose Concretes // Materials Science Forum, 2018. Vol. 923. P. 110–114.
200. Barnat-Hunek D., Grzegorzczak-Frańczak M., Suchorab Z. Surface Hydrophobisation of Mortars with Waste Aggregate by Nanopolymer Triethoxyisobutyl-silane and Methyl Silicon Resin // Construction and Building Materials, 2020. Vol. 264. P. 120175, 16 pp.
201. Barnat-Hunek D., Smarzewski P., Increased Water Repellence of Ceramic Buildings by Hydrophobisation using High Concentration of Organic Solvents // Energy and Buildings, 2015. Vol. 103. P. 249–260.
202. Cao Y., Salvini A. & Camaiti M. Current Status and Future Prospects of Applying Bioinspired Superhydrophobic Materials for Conservation of Stone Artworks // Coatings, 2020. Vol. 10 (4), № 35, 23 pp.
203. Cao Y., Salvini A. & Camaiti M. Superhydrophobic Fluorinated Oligomers as Protective Agents for Outdoor Stone Artworks // Journal of Cultural Heritage, 2020. Vol. 44, P. 90–97.

204. Chen L., Zhou C., Du J., Zhou W., Tan L., Dong L. Progress of Superhydrophobic Porous Materials. *Huagong Xuebao // CIESC Journal*, 2020. Vol. 71. P. 4502–4519.
205. Erickson P., Volpe A., Cooper E. Effects of Glass Surfaces on Laminating Resins // *Modern Plastics*, 1964. Vol. 41 (12). P. 141.
206. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Konovalova V.S. The Effect of Volumetric Hydrophobization on Moisture Transfer during Hardening of Concrete // *Materials Science Forum*, 2020. Vol. 1007. P. 85–89.
207. Ghasemlou M., Daver F., Ivanova E.P., Adhikar, B. Bio-inspired Sustainable and Durable Superhydrophobic Materials: From nature to market // *Journal of Materials Chemistry A*, 2019. Vol. 7. P. 16643–16670.
208. Grabowska K., Koniorczyk M. The Effect of Hydrophobic Treatment by Organosilicon Admixtures of Cement Mortar Cement // *Wapno, Beton*, 2019. Vol. 4. P. 320–329.
209. He Y., Zhang X., Zhang Y., Xia X. Mechanism and Working Performance of Organic Silicone Microcapsule Powder Water-repellent. *Jianzhu Cailiao Xuebao // Journal of Building Materials*, 2015. Vol. 18. P. 433–437.
210. Huang J., Ge S., Wang H., Chen R. Study on preparation and properties of intrinsic super-hydrophobic foamed magnesium oxychloride cement materia. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2020. Vol. 10. P. 1–15.
211. Khigerovich, M. *Gidrofobnyi Tsement i Gidrofobno-plastifitsiruyushchie Dobavki (Hydrophobic Cement and Hydrophobically Plasticizing Additives)*. Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'nym materialam, Moscow, 1957. 208 pp. (in Russian).
212. Khigerovich M. & Baier V. *GidrofobnoPlastifitsiruyushchie Dobavki Dlya Tsementov, Rastvorov i Betonov (HydrophobicallyPlasticizing Additives for Cements, Mortars and Concretes)*. Stroyizdat, Moscow, 1979. 125 pp. (in Russian).
213. Krastanka G. Marinova, Diana Christova, Slavka Tcholakova, Evtim Efremov, and Nikolai D. Denkov. Hydrophobization of Glass Surface by

Adsorption of Poly (dimethylsiloxane) / *Langmuir*, 2005. Vol. 21. P. 11729–11737.

214. Kremcheev Eldar A. Special Features of a Structure of Technical Operations for Peat Excavation with Stage Dewatering // *Journal of Mining Institute*, 2018. Vol. 231. P. 225–234.

215. Kremcheev E.A., Nagornov, D.O. Features of Structure of Process Operations Set during Peat Excavation with Staged Dehydration // *Ecology, Environment and Conservation*, 2017. Vol. 23. № 2. P. 956–965.

216. Kremcheev E.A., Kremcheeva D.A. Technological Approaches to Reducing the Loss of Peat Raw Materials in Fields with Hydrological Regime // *Indian Journal of Science and Technology*, 2016. Vol. 9. № 12. P. 89525.

217. Kumar A., Staněk K., Ryparová P., Hajek P. & Tywoniak J. Hydrophobic Treatment of Wood Fibrous Thermal Insulator by Octadecyltrichlorosilane and its Influence on Hygric Properties and Resistance against Moulds // *Composites Part B: Engineering*, 2016. Vol. 106. P. 285–293.

218. Kuporova A., Belyakov V. On Peat Production Capacity in Verkhoyansky District, Sakha (Yakutia) Republic // *E3S Web of Conferences «III rd International Innovative Mining Symposium»*, 2018. Vol. 41. P.01047.

219. 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.

220. Kuporova A., Belyakov V. Application of Organosilicon Compounds for Improving Moulded Peat Quality // *E3S Web of Conferences. IVth International Innovative Mining Symposium*, 2019. P. 01005.

221. Kuporova A., Belyakov V. Peat Extraction from Lake Sediments in the Northern Districts, the Sakha (Yakutia) Republic // *E3S Web of Conferences «The Second Interregional Conference. Kemerovo»*, 2021. Vol. 278. P. 01006.

222. Lagazzo A., Vicini S., Nora A., Botter R. Action Mechanisms and Performances of Hydrophobizing Additives in Mortars // *American Concrete Institute, ACI Special Publication*, 2015. Vol. 2015-January. P. 16.1–16.10.

223. Li L. Li B., Dong J., Zhang J. Roles of Silanes and Silicones in Forming Superhydrophobic and Superoleophobic Materials // *Journal of Materials Chemistry*, 2016. Vol. 4. P. 13677–13725.

224. Makaryan I.A., Sedov I.V., Mozhaev P.S. Current State and Prospects of Development of Technologies for the Production of Superhydrophobic Materials and Coatings // *Nanotechnologies in Russia*, 2016. Vol. 11. P. 679–695.

225. Marcos C., Menéndez R., Rodríguez I. Thermoexfoliated and Hydrophobized Vermiculites for Oleic Acid Removal // *Applied Clay Science*, 2017. Vol. 150. P. 147–152.

226. Misnikov O. Scientific Basis of a New Method for Hydrophobic Modification of Mineral Binders Using Peat Products // *Mires and Peat*, 2016. Vol. 18. P. 1–15. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.240

227. Misnikov O. Perspectives for Application of Moulded Sorption Materials Based on Peat and Mineral Compositions // *E3S Web of Conferences «II nd International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment)»*, 2017. Vol. 21. P. 01020. (DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101020>)

228. Misnikov O. The Hydrophobic Modification of Gypsum Binder by Peat Products: Physico-chemical and Technological Basis // *Mires and Peat*, 2018. Vol. 21. P. 1–14. DOI: 10.19189/MaP.2017.OMB.300

229. Misnikov O. Analysis of the Effect of Composite Peat-based Hydrophobically-modifying Additives on the Properties of Portland Cement and Cement Mortar // *Mires and Peat*, 2021. Vol. 27.P. 1–14. DOI: 10.19189/MaP.2021.OMB.StA.2191

230. Misnikov O.S., Korolev I.O. The Use of Peat Mineral Hydrophobizers as Anticlodding Agents for Powder Nitrile Butadiene Rubbers // *Polymer Science*, 2017. Vol. 10. № 3. P. 255–259.

231. 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.

232. Muzenski, S., Flores-Vivian, I., Sobolev, K. Durability of Superhydrophobic Engineered Cementitious Composites // Construction and Building Materials, 2015. Vol. 81 (15). P. 291–297.

233. Novak, V., Zach, J. The Effect of Hydrophobization on the Properties of Mortar Mixtures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. Vol. 385. P. 01204024. 5 pp.

234. Noll W. Chemie and Tehnologija der Silicone Verlage Chemie // Weinheim. Academic Press, 1960. 702 pp.

235. Ozersky, A., Khomyakov, A., Peterson, K. Extended Shelf Life Cement: Principles, Microstructural Analysis, and Physical–mechanical Properties of the Cement and Concrete // Construction and Building Materials, 2021 Vol. 266. P. 121202, 14 pp.

236. Paschenko, A. Polifunktsionalnyie Elementoorganicheskie Pokryitiya (Multifunctional Elementoorganic Coatings) // Vishcha shkola, Kiev, 1987. 198 pp.

237. Saji, V.S. Wax-based Artificial Superhydrophobic Surfaces and Coatings // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020. Vol. 602. P. 125132. 24 pp.

238. Soulios, V., Jan de Place Hansen, E., Feng, C., Janssen, H. Hygric Behavior of Hydrophobized Brick and Mortar Samples // Building and Environment, 2020. Vol. 176. P. 106843. 15 pp.

239. Soulios, V., Jan de Place Hansen, E., Peuhkuri, R. Hygrothermal Performance of Hydrophobized and Internally Insulated Masonry Walls Simulating the impact of hydrophobization based on experimental results // Building and Environment, 2021. Vol. 187. P. 107410. 13 pp.

240. Serman, S., Marsden, J. Silane Coupling Agents as Integral Blends in Resin-fillers Systems // Modern Plastics, 1963. Vol. 40. P. 125–177.

241. Suchorab, Z., Barnat-Hunek, D., Franus, M., Lagód, G. Mechanical and Physical Properties of Hydrophobized Lightweight Aggregate Concrete with Sewage Sludge // *Materials*, 2016. Vol. 9. P. 317. 18 pp.

242. Thami T., Tauk L., Flaud V. Controlled Structure and Hydrophilic Property of Polymethylhydrosiloxane thin Films Attached on Silicon Support and Modified with Phosphorylcholine Group // *Thin Solid Films*, 2020. Vol. 709. P. 1–43.

243. Vanderbilt, B., Jaruzelski, J. (1962) The Bonding of Fillers to Thermosetting Resins // *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 1962. Vol. 1(3). P. 188–194.

244. Vanderbilt, B., Simko, J. Silane Coupling Agents in Glass-reinforced Plastics, 1960. Vol. 38. P. 135–217.

245. Vasilevsky, M., Razva, A., Sattarov, U. Characteristics of Standing Disperse Medium on the Filter Substrate // *EPJ Web of Conferences*, 2015. Vol. 82. P. 01050, 5 pp.

246. Zhang, G., Hu, J., Tu, Y., He, G., Li, F., Zou, H., Lin, S., Yang, G. Preparation of superhydrophobic films based on the diblock copolymer // *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2015. Vol. 17. P. 19457–19464.

247. Zhu, J. & Liao, K. A Facile and Low-cost Method for Preparing Robust Superhydrophobic Cement Block // *Materials Chemistry and Physics*, 2020. Vol. 250 (1). P. 123064. 5 pp.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

Результаты наблюдений за процессом сушки формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ ) и переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

Таблица А.1а – Определение параметров сушки формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

Время с начала опыта, час	$m_i$ , кг	$d$ , м	$L$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>	$W$ , кг/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,08172	0,040	0,061	0,012686	0,000077	4,83
20	0,07597	0,040	0,061	0,012544	0,000075	4,42
29	0,07227	0,039	0,060	0,011908	0,000070	4,15
44	0,06806	0,038	0,060	0,011664	0,000068	3,85
53	0,06428	0,038	0,060	0,011528	0,000067	3,58
68	0,06009	0,038	0,059	0,011304	0,000065	3,29
77	0,05686	0,037	0,058	0,010963	0,000062	3,06
92	0,05259	0,037	0,058	0,010831	0,000061	2,75
101	0,04886	0,037	0,058	0,010831	0,000061	2,49
116	0,04528	0,036	0,058	0,010598	0,000059	2,23
125	0,04196	0,036	0,058	0,010496	0,000058	1,99
140	0,0377	0,035	0,058	0,010294	0,000056	1,69
149	0,03394	0,035	0,057	0,010083	0,000055	1,42
164	0,02899	0,034	0,055	0,009528	0,000050	1,07
173	0,0254	0,033	0,055	0,009067	0,000047	0,81
188	0,02176	0,032	0,052	0,008374	0,000041	0,55
197	0,02001	0,032	0,052	0,0083	0,000041	0,43
212	0,01814	0,031	0,051	0,007845	0,000037	0,29
221	0,01721	0,031	0,051	0,007845	0,000037	0,23
236	0,01641	0,031	0,050	0,007821	0,000037	0,17
245	0,0161	0,031	0,050	0,007662	0,000036	0,15
260	0,01583	0,031	0,050	0,007662	0,000036	0,13

Примечание: контрольный образец, верховой тип,  $R_T = 5...10\%$

Таблица А.1б – Определение параметров сушки формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

Время с начала опыта, час	$m_i$ , кг	$d$ , м	$L$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>	$W$ , кг/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,08129	0,040	0,062	0,012918	0,00007875	3,33
20	0,0707	0,038	0,059	0,011756	0,00006844	2,76
29	0,06638	0,037	0,058	0,011215	0,00006382	2,53
44	0,06033	0,036	0,057	0,010513	0,00005799	2,21



1	2	3	4	5	6	7
53	0,05661	0,035	0,056	0,010001	0,00005385	2,01
68	0,0508	0,034	0,055	0,009537	0,00005021	1,71
77	0,04764	0,033	0,054	0,009049	0,00004645	1,54
92	0,04276	0,033	0,054	0,008855	0,00004496	1,28
101	0,03956	0,032	0,053	0,008474	0,00004210	1,11
116	0,03522	0,031	0,052	0,007898	0,00003793	0,88
125	0,03261	0,030	0,051	0,007624	0,00003596	0,74
140	0,0293	0,029	0,049	0,007073	0,00003216	0,56
149	0,02774	0,028	0,048	0,006756	0,00003004	0,48
164	0,02597	0,028	0,047	0,006497	0,00002832	0,38
173	0,02508	0,027	0,047	0,006274	0,00002690	0,34
188	0,02401	0,027	0,046	0,006189	0,00002632	0,28
197	0,02348	0,027	0,046	0,006238	0,00002664	0,25
212	0,02281	0,027	0,046	0,006064	0,00002554	0,21

Примечание: контрольный образец, переходный тип,  $R_T = 35\%$

Таблица А.2а – Определение параметров сушки гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

Время с начала опыта, час	$m_i$ , кг	$d$ , м	$L$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>	$W$ , кг/кг
0	0,07747	0,040	0,060	0,01256	0,000075	4,76
20	0,0732	0,040	0,060	0,01245	0,000074	4,44
29	0,07015	0,039	0,060	0,01217	0,000072	4,22
44	0,0668	0,039	0,059	0,011924	0,000070	3,97
53	0,06375	0,039	0,058	0,011696	0,000068	3,74
68	0,06012	0,038	0,058	0,011485	0,000066	3,47
77	0,05692	0,038	0,058	0,011455	0,000066	3,23
92	0,05244	0,038	0,058	0,01132	0,000065	2,90
101	0,0496	0,038	0,058	0,011216	0,000064	2,69
116	0,04527	0,038	0,058	0,011216	0,000064	2,37
125	0,04207	0,037	0,058	0,010876	0,000061	2,13
140	0,03787	0,037	0,057	0,010716	0,000060	1,82
149	0,03439	0,035	0,057	0,010243	0,000056	1,56
164	0,03019	0,036	0,056	0,010327	0,000056	1,24
173	0,02669	0,035	0,056	0,009946	0,000053	0,98
188	0,02312	0,035	0,054	0,009657	0,000051	0,72
197	0,02125	0,034	0,054	0,009246	0,000048	0,58
212	0,01902	0,034	0,053	0,009073	0,000046	0,41
221	0,0177	0,033	0,053	0,00886	0,000045	0,32
236	0,01637	0,033	0,051	0,008638	0,000043	0,22
245	0,01581	0,032	0,051	0,00843	0,000042	0,18
260	0,0153	0,032	0,051	0,00843	0,000042	0,14

Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 2%, верховой тип,  $R_T = 5...10\%$

Таблица А.2б – Определение параметров сушки гидрофобно-модифицированного формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

Время с начала опыта, час	$m_i$ , кг	$d$ , м	$L$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>	$W$ , кг/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,07711	0,040	0,062	0,012621	0,00007617	2,54
20	0,0664	0,038	0,060	0,011591	0,00006720	2,05
29	0,0617	0,037	0,059	0,011053	0,00006262	1,83
44	0,05663	0,035	0,058	0,010318	0,00005651	1,60
53	0,05346	0,035	0,057	0,010074	0,00005449	1,45
68	0,04913	0,034	0,056	0,009573	0,00005052	1,26
77	0,04637	0,033	0,055	0,009246	0,00004797	1,13
92	0,04227	0,032	0,054	0,008799	0,00004459	0,94
101	0,03973	0,032	0,053	0,008478	0,00004216	0,82
116	0,03657	0,031	0,052	0,008043	0,00003896	0,68
125	0,03466	0,030	0,051	0,007657	0,00003620	0,59
140	0,03248	0,030	0,051	0,00772	0,00003667	0,49
149	0,03122	0,030	0,051	0,007476	0,00003496	0,43
164	0,02973	0,029	0,049	0,006972	0,00003146	0,37
173	0,02886	0,028	0,048	0,006821	0,00003046	0,33
188	0,02783	0,028	0,048	0,006544	0,00002864	0,28
197	0,02728	0,028	0,048	0,006625	0,00002916	0,25
212	0,02657	0,028	0,047	0,006483	0,00002823	0,22

Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 2%, переходный тип,  $R_T = 35\%$

Таблица А.3а – Определение параметров сушки гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

Время с начала опыта, час	$m_i$ , кг	$d$ , м	$L$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>	$W$ , кг/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,0797	0,040	0,061	0,012654	0,000076	4,60
20	0,0751	0,040	0,060	0,012341	0,000073	4,28
29	0,07224	0,039	0,062	0,012399	0,000074	4,08
44	0,06885	0,038	0,060	0,011634	0,000067	3,84
53	0,06581	0,038	0,060	0,011634	0,000067	3,62
68	0,0626	0,038	0,059	0,011604	0,000067	3,40
77	0,05942	0,038	0,059	0,011574	0,000067	3,18
92	0,05544	0,038	0,059	0,011392	0,000065	2,90
101	0,05254	0,037	0,059	0,011287	0,000065	2,69
116	0,04808	0,038	0,059	0,011392	0,000065	2,38
125	0,04491	0,037	0,059	0,011182	0,000064	2,16
140	0,04083	0,037	0,059	0,011078	0,000063	1,87
149	0,03717	0,037	0,059	0,010974	0,000062	1,61

1	2	3	4	5	6	7
164	0,03292	0,036	0,058	0,010654	0,000059	1,31
173	0,02952	0,036	0,058	0,010367	0,000057	1,07
188	0,02614	0,035	0,058	0,010166	0,000055	0,84
197	0,024	0,035	0,056	0,009831	0,000053	0,69
212	0,02128	0,034	0,056	0,009555	0,000050	0,50
221	0,01969	0,033	0,054	0,009083	0,000047	0,38
236	0,01794	0,033	0,054	0,008963	0,000046	0,26
245	0,01713	0,033	0,053	0,008767	0,000044	0,20
260	0,01622	0,033	0,053	0,008674	0,000044	0,14

Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 4%, верховой тип,  $R_T = 5...10\%$

Таблица А.36 – Определение параметров сушки гидрофобно-модифицированного формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

Время с начала опыта, час	$m_i$ , кг	$d$ , м	$L$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>	$W$ , кг/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,08031	0,040	0,062	0,012853	0,00007829	2,39
20	0,06496	0,038	0,060	0,011551	0,00006682	1,74
29	0,05812	0,036	0,058	0,010762	0,00006010	1,45
44	0,05192	0,034	0,057	0,00981	0,00005244	1,19
53	0,04869	0,034	0,056	0,009703	0,00005151	1,06
68	0,04397	0,033	0,054	0,009049	0,00004645	0,86
77	0,04147	0,032	0,054	0,008765	0,00004432	0,75
92	0,03815	0,032	0,052	0,008352	0,00004120	0,61
101	0,03633	0,031	0,051	0,008021	0,00003878	0,53
116	0,03379	0,030	0,051	0,007739	0,00003678	0,43
125	0,03267	0,030	0,050	0,00752	0,00003523	0,38
140	0,0311	0,029	0,050	0,007334	0,00003395	0,31
149	0,03026	0,029	0,050	0,007244	0,00003333	0,28
164	0,02911	0,029	0,049	0,007082	0,00003222	0,23
173	0,02841	0,029	0,049	0,006991	0,00003161	0,20
188	0,02754	0,029	0,049	0,006991	0,00003161	0,16
197	0,02709	0,029	0,049	0,007044	0,00003195	0,14
212	0,02651	0,029	0,049	0,006943	0,00003128	0,12

Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 4%, переходный тип,  $R_T = 35\%$

## Приложение Б

Основные параметры сушки формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ ) и переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

Таблица Б.1а – Результаты расчета интенсивности сушки формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

$\Delta\tau, \text{ч}$	$W_1, \text{кг/кг}$	$W_2, \text{кг/кг}$	$\Delta W, \text{кг/кг}$	$\Delta W/\Delta\tau, \text{(кг/кг)/ч}$	$I, \text{кг/ч}$	$F_{\text{ср}}, \text{м}^2$	$W_{\text{ср}}, \text{кг/кг}$	$i_c, \text{кг/(м}^2\text{ч)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	4,83	4,42	0,41	0,021	0,68	0,01261	4,63	0,023
9	4,42	4,15	0,27	0,030	0,47	0,01223	4,29	0,034
15	4,15	3,85	0,3	0,020	0,70	0,01179	4,00	0,024
9	3,85	3,58	0,27	0,030	0,47	0,01160	3,72	0,036
15	3,58	3,29	0,29	0,019	0,73	0,01142	3,44	0,024
9	3,29	3,06	0,23	0,026	0,55	0,01113	3,18	0,032
15	3,06	2,75	0,31	0,021	0,68	0,01090	2,91	0,027
9	2,75	2,49	0,26	0,029	0,49	0,01083	2,62	0,037
15	2,49	2,23	0,26	0,017	0,81	0,01071	2,36	0,023
9	2,23	1,99	0,24	0,027	0,53	0,01055	2,11	0,035
15	1,99	1,69	0,3	0,020	0,70	0,01039	1,84	0,027
9	1,69	1,42	0,27	0,030	0,47	0,01019	1,56	0,041
15	1,42	1,07	0,35	0,023	0,60	0,00981	1,25	0,033
9	1,07	0,81	0,26	0,029	0,49	0,00930	0,94	0,044
15	0,81	0,55	0,26	0,017	0,81	0,00872	0,68	0,028
9	0,55	0,43	0,12	0,013	1,05	0,00834	0,49	0,022
15	0,43	0,29	0,14	0,009	1,50	0,00807	0,36	0,016
9	0,29	0,23	0,06	0,007	2,10	0,00785	0,26	0,012
15	0,23	0,17	0,06	0,004	3,51	0,00783	0,20	0,007
9	0,17	0,15	0,02	0,002	6,31	0,00774	0,16	0,004
15	0,15	0,13	0,02	0,001	10,52	0,00766	0,14	0,002

Примечание: контрольный образец, верховой тип,  $R_T = 5...10\%$

Таблица Б.1б – Результаты расчета интенсивности сушки формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

$\Delta\tau, \text{ч}$	$W_1, \text{кг/кг}$	$W_2, \text{кг/кг}$	$\Delta W, \text{кг/кг}$	$\Delta W/\Delta\tau, \text{(кг/кг)/ч}$	$I, \text{кг/ч}$	$F_{\text{ср}}, \text{м}^2$	$W_{\text{ср}}, \text{кг/кг}$	$i_c, \text{кг/(м}^2\text{ч)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	3,33	2,76	0,57	0,029	0,000535	0,01234	3,05	0,043
9	2,76	2,53	0,23	0,026	0,000480	0,01149	2,65	0,042
15	2,53	2,21	0,32	0,021	0,000401	0,01086	2,37	0,037
9	2,21	2,01	0,2	0,022	0,000417	0,01026	2,11	0,041
15	2,01	1,71	0,3	0,020	0,000376	0,00977	1,86	0,038
9	1,71	1,54	0,17	0,019	0,000355	0,00929	1,63	0,038

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	1,54	1,28	0,26	0,017	0,000326	0,00895	1,41	0,036
9	1,28	1,11	0,17	0,019	0,000355	0,00866	1,20	0,041
15	1,11	0,88	0,23	0,015	0,000288	0,00819	1,00	0,035
9	0,88	0,74	0,14	0,016	0,000292	0,00776	0,81	0,038
15	0,74	0,56	0,18	0,012	0,000225	0,00735	0,65	0,031
9	0,56	0,48	0,08	0,009	0,000167	0,00691	0,52	0,024
15	0,48	0,38	0,1	0,007	0,000125	0,00663	0,43	0,019
9	0,38	0,34	0,04	0,004	0,000083	0,00639	0,36	0,013
15	0,34	0,28	0,06	0,004	0,000075	0,00623	0,31	0,012
9	0,28	0,25	0,03	0,003	0,000063	0,00621	0,27	0,010
15	0,25	0,21	0,04	0,003	0,000050	0,00615	0,23	0,008

Примечание: контрольный образец, переходный тип,  $R_T = 35\%$

Таблица Б.2а – Результаты расчета интенсивности сушки гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

$\Delta t, \text{ч}$	$W_1, \text{кг/кг}$	$W_2, \text{кг/кг}$	$\Delta W, \text{кг/кг}$	$\Delta W/\Delta t, \text{(кг/кг)/ч}$	$I, \text{кг/ч}$	$F_{\text{ср}}, \text{м}^2$	$W_{\text{ср}}, \text{кг/кг}$	$i_c, \text{кг/(м}^2\text{ч)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	4,76	4,44	0,32	0,016	0,84	0,01251	4,60	0,017
9	4,44	4,22	0,22	0,024	0,55	0,01231	4,33	0,027
15	4,22	3,97	0,25	0,017	0,81	0,01205	4,10	0,019
9	3,97	3,74	0,23	0,026	0,53	0,01181	3,86	0,029
15	3,74	3,47	0,27	0,018	0,75	0,01159	3,61	0,021
9	3,47	3,23	0,24	0,027	0,50	0,01147	3,35	0,031
15	3,23	2,9	0,33	0,022	0,61	0,01139	3,07	0,026
9	2,9	2,69	0,21	0,023	0,58	0,01127	2,80	0,028
15	2,69	2,37	0,32	0,021	0,63	0,01122	2,53	0,026
9	2,37	2,13	0,24	0,027	0,50	0,01105	2,25	0,032
15	2,13	1,82	0,31	0,021	0,65	0,01080	1,98	0,026
9	1,82	1,56	0,26	0,029	0,47	0,01048	1,69	0,037
15	1,56	1,24	0,32	0,021	0,63	0,01029	1,40	0,028
9	1,24	0,98	0,26	0,029	0,47	0,01014	1,11	0,038
15	0,98	0,72	0,26	0,017	0,78	0,00980	0,85	0,024
9	0,72	0,58	0,14	0,016	0,86	0,00945	0,65	0,022
15	0,58	0,41	0,17	0,011	1,19	0,00916	0,50	0,017
9	0,41	0,32	0,09	0,010	1,35	0,00897	0,37	0,015
15	0,32	0,22	0,1	0,007	2,02	0,00875	0,27	0,010
9	0,22	0,18	0,04	0,004	3,03	0,00853	0,20	0,007
15	0,18	0,14	0,04	0,003	5,04	0,00843	0,16	0,004

Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 2%, верховой тип,  $R_T = 5...10\%$

Таблица Б.2б – Результаты расчета интенсивности сушки формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

$\Delta\tau, \text{ч}$	$W_1, \text{кг/кг}$	$W_2, \text{кг/кг}$	$\Delta W, \text{кг/кг}$	$\Delta W/\Delta\tau, \text{(кг/кг)/ч}$	$I, \text{кг/ч}$	$F_{\text{ср}}, \text{м}^2$	$W_{\text{ср}}, \text{кг/кг}$	$i_c, \text{кг/(м}^2\text{ч)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	2,54	2,05	0,49	0,025	0,89	0,01211	2,30	0,044
9	2,05	1,83	0,22	0,024	0,89	0,01132	1,94	0,047
15	1,83	1,6	0,23	0,015	1,42	0,01069	1,72	0,031
9	1,6	1,45	0,15	0,017	1,31	0,01020	1,53	0,036
15	1,45	1,26	0,19	0,013	1,72	0,00982	1,36	0,028
9	1,26	1,13	0,13	0,014	1,51	0,00941	1,20	0,033
15	1,13	0,94	0,19	0,013	1,72	0,00902	1,04	0,031
9	0,94	0,82	0,12	0,013	1,63	0,00864	0,88	0,034
15	0,82	0,68	0,14	0,009	2,33	0,00826	0,75	0,025
9	0,68	0,59	0,09	0,010	2,18	0,00785	0,64	0,028
15	0,59	0,49	0,1	0,007	3,27	0,00769	0,54	0,019
9	0,49	0,43	0,06	0,007	3,27	0,00760	0,46	0,019
15	0,43	0,37	0,06	0,004	5,45	0,00722	0,40	0,012
9	0,37	0,33	0,04	0,004	4,90	0,00690	0,35	0,014
15	0,33	0,28	0,05	0,003	6,53	0,00668	0,31	0,011
9	0,28	0,25	0,03	0,003	6,53	0,00658	0,27	0,011
15	0,25	0,22	0,03	0,002	10,89	0,00655	0,24	0,007

Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 2%, переходный тип,  $R_T = 35\%$

Таблица Б.3а – Результаты расчета интенсивности сушки гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

$\Delta\tau, \text{ч}$	$W_1, \text{кг/кг}$	$W_2, \text{кг/кг}$	$\Delta W, \text{кг/кг}$	$\Delta W/\Delta\tau, \text{(кг/кг)/ч}$	$I, \text{кг/ч}$	$F_{\text{ср}}, \text{м}^2$	$W_{\text{ср}}, \text{кг/кг}$	$i_c, \text{кг/(м}^2\text{ч)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	4,6	4,28	0,32	0,016	0,89	0,01250	4,44	0,018
9	4,28	4,08	0,2	0,022	0,64	0,01237	4,18	0,026
15	4,08	3,84	0,24	0,016	0,89	0,01202	3,96	0,019
9	3,84	3,62	0,22	0,024	0,58	0,01163	3,73	0,030
15	3,62	3,4	0,22	0,015	0,97	0,01162	3,51	0,018
9	3,4	3,18	0,22	0,024	0,58	0,01159	3,29	0,030
15	3,18	2,9	0,28	0,019	0,76	0,01148	3,04	0,023
9	2,9	2,69	0,21	0,023	0,61	0,01134	2,80	0,029
15	2,69	2,38	0,31	0,021	0,69	0,01134	2,54	0,026
9	2,38	2,16	0,22	0,024	0,58	0,01129	2,27	0,031
15	2,16	1,87	0,29	0,019	0,74	0,01113	2,02	0,025
9	1,87	1,61	0,26	0,029	0,49	0,01103	1,74	0,037
15	1,61	1,31	0,3	0,020	0,71	0,01081	1,46	0,026
9	1,31	1,07	0,24	0,027	0,53	0,01051	1,19	0,036
15	1,07	0,84	0,23	0,015	0,93	0,01027	0,96	0,021

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	0,84	0,69	0,15	0,017	0,85	0,01000	0,77	0,024
15	0,69	0,5	0,19	0,013	1,12	0,00969	0,60	0,019
9	0,5	0,38	0,12	0,013	1,07	0,00932	0,44	0,020
15	0,38	0,26	0,12	0,008	1,78	0,00902	0,32	0,013
9	0,26	0,2	0,06	0,007	2,13	0,00886	0,23	0,011
15	0,2	0,14	0,06	0,004	3,56	0,00872	0,17	0,007
Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 4%, верховой тип, $R_T = 5...10\%$								

Таблица Б.3б – Результаты расчета интенсивности сушки формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

$\Delta\tau, \text{ч}$	$W_1, \text{кг/кг}$	$W_2, \text{кг/кг}$	$\Delta W, \text{кг/кг}$	$\Delta W/\Delta\tau, \text{(кг/кг)/ч}$	$I, \text{кг/ч}$	$F_{\text{ср}}, \text{м}^2$	$W_{\text{ср}}, \text{кг/кг}$	$i_c, \text{кг/(м}^2\text{ч)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	2,39	1,74	0,65	0,033	0,73	0,01220	2,07	0,063
9	1,74	1,45	0,29	0,032	0,74	0,01116	1,60	0,068
15	1,45	1,19	0,26	0,017	1,37	0,01029	1,32	0,040
9	1,19	1,06	0,13	0,014	1,64	0,00976	1,13	0,035
15	1,06	0,86	0,2	0,013	1,78	0,00938	0,96	0,034
9	0,86	0,75	0,11	0,012	1,94	0,00891	0,81	0,033
15	0,75	0,61	0,14	0,009	2,54	0,00856	0,68	0,026
9	0,61	0,53	0,08	0,009	2,67	0,00819	0,57	0,026
15	0,53	0,43	0,1	0,007	3,55	0,00788	0,48	0,020
9	0,43	0,38	0,05	0,006	4,26	0,00763	0,41	0,017
15	0,38	0,31	0,07	0,005	5,08	0,00743	0,35	0,015
9	0,31	0,28	0,03	0,003	7,11	0,00729	0,30	0,011
15	0,28	0,23	0,05	0,003	7,11	0,00716	0,26	0,011
9	0,23	0,2	0,03	0,003	7,11	0,00704	0,22	0,011
15	0,2	0,16	0,04	0,003	8,88	0,00699	0,18	0,009
9	0,16	0,14	0,02	0,002	10,66	0,00702	0,15	0,008
15	0,14	0,12	0,02	0,001	17,77	0,00699	0,13	0,005
Примечание: концентрация ГКЖ-94 - 4%, переходный тип, $R_T = 35\%$								

## Приложение В

Результаты расчета прочности на сжатие и прочности на изгиб формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ ) и переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

Таблица В.1а – Прочность на сжатие формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

W, кг/кг	R <sub>сж</sub> , МПа	LnR <sub>сж</sub> , Па	W, кг/кг	R <sub>сж</sub> , МПа	LnR <sub>сж</sub> , Па	W, кг/кг	R <sub>сж</sub> , МПа	LnR <sub>сж</sub> , Па
<b>верховой тип, R<sub>T</sub> = 5...10%</b>								
<b>контрольный образец</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 2%</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 4%</b>		
<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
3,88	0,034	10,44	3,93	0,024	10,10	3,73	0,021	9,95
3,28	0,048	10,79	3,41	0,037	10,53	3,71	0,031	10,34
2,50	0,068	11,12	2,96	0,044	10,68	3,12	0,046	10,74
1,92	0,109	11,60	2,65	0,049	10,80	2,32	0,054	10,90
2,11	0,080	11,29	2,53	0,063	11,05	2,11	0,091	11,42
1,55	0,130	11,78	2,11	0,088	11,38	1,79	0,069	11,15
1,69	0,150	11,92	1,63	0,091	11,41	2,30	0,082	11,32
2,31	0,099	11,51	2,01	0,064	11,06	2,31	0,068	11,13
1,82	0,173	12,06	2,11	0,080	11,28	1,52	0,078	11,27
0,96	0,502	13,13	1,09	0,155	11,95	2,00	0,070	11,15
0,88	0,612	13,32	1,24	0,134	11,81	1,37	0,163	12,00
0,19	1,039	13,85	0,69	0,382	12,85	0,93	0,251	12,43
			0,43	0,590	13,29	0,39	0,517	13,16
			0,18	0,366	12,81	0,26	0,877	13,68
						0,30	0,676	13,42

Таблица В.1б – Прочность на изгиб формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ )

W, кг/кг	R <sub>изг</sub> , МПа	LnR <sub>изг</sub> , Па	W, кг/кг	R <sub>изг</sub> , МПа	LnR <sub>изг</sub> , Па	W, кг/кг	R <sub>изг</sub> , МПа	LnR <sub>изг</sub> , Па
<b>верховой тип, R<sub>T</sub> = 5...10%</b>								
<b>контрольный образец</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 2%</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 4%</b>		
<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
3,74	0,025	10,13	3,75	0,017	9,74	3,79	0,020	9,92
3,78	0,021	9,98	3,83	0,018	9,80	3,67	0,020	9,88
3,44	0,024	10,10	3,53	0,020	9,91	3,41	0,021	9,96
3,16	0,024	10,08	3,37	0,018	9,80	3,44	0,022	9,98
3,22	0,025	10,14	3,11	0,018	9,79	2,71	0,014	9,55
2,58	0,022	10,01	3,06	0,020	9,90	3,29	0,020	9,91
2,12	0,025	10,13	2,73	0,019	9,84	2,37	0,020	9,88
2,97	0,029	10,29	3,37	0,019	9,86	3,02	0,031	10,35
1,90	0,040	10,60	2,39	0,021	9,95	2,07	0,026	10,16
2,39	0,033	10,40	2,12	0,011	9,32	2,17	0,024	10,11



1			2			3		
1,94	0,037	10,52	2,23	0,030	10,29	2,36	0,021	9,95
1,62	0,040	10,59	2,41	0,031	10,35	2,00	0,022	9,99
1,79	0,039	10,56	2,39	0,017	9,71	2,38	0,019	9,86
1,44	0,040	10,60	2,32	0,020	9,90	1,86	0,024	10,07
1,27	0,060	11,00	2,20	0,023	10,05	1,71	0,029	10,26
2,01	0,033	10,40	2,41	0,017	9,76	1,89	0,029	10,27
1,16	0,070	11,16	2,05	0,026	10,17	2,07	0,036	10,49
1,52	0,046	10,73	1,90	0,029	10,28	1,36	0,045	10,71
1,76	0,035	10,46	1,60	0,034	10,45	1,42	0,041	10,63
1,31	0,077	11,25	2,14	0,032	10,38	1,47	0,041	10,61
0,87	0,076	11,23	1,26	0,057	10,95	1,10	0,069	11,14
0,18	0,437	12,99	0,88	0,080	11,28	0,74	0,115	11,65
			1,04	0,092	11,43	0,77	0,096	11,47
			0,40	0,214	12,28	0,49	0,214	12,28
			0,21	0,153	11,94	0,66	0,094	11,45
						0,32	0,116	11,66
						0,30	0,344	12,75
						0,32	0,141	11,86

Таблица В.2а – Прочность на сжатие формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

$W$ , кг/кг	$R_{сж}$ , МПа	$LnR_{сж}$ , Па	$W$ , кг/кг	$R_{сж}$ , МПа	$LnR_{сж}$ , Па	$W$ , кг/кг	$R_{сж}$ , МПа	$LnR_{сж}$ , Па
<b>переходный тип, <math>R_T = 35\%</math></b>								
<b>контрольный образец</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 2%</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 4%</b>		
<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
1,61	0,235	12,37	1,38	0,562	13,24	1,03	0,386	12,86
1,18	0,761	13,54	1,03	1,142	13,95	1,05	0,658	13,40
1,10	1,186	13,99	0,72	1,227	14,02	0,86	0,934	13,75
0,66	1,600	14,29	0,51	1,603	14,29	0,61	1,528	14,24
0,48	2,126	14,57	0,47	2,160	14,59	0,43	2,126	14,57
0,37	2,481	14,72	0,37	2,231	14,62	0,31	1,877	14,45

Таблица В.2б – Прочность на изгиб формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

W, кг/кг	R <sub>изг</sub> , МПа	LnR <sub>изг</sub> , Па	W, кг/кг	R <sub>изг</sub> , МПа	LnR <sub>изг</sub> , Па	W, кг/кг	R <sub>изг</sub> , МПа	LnR <sub>изг</sub> , Па
<b>переходный тип, R<sub>T</sub> = 35%</b>								
<b>контрольный образец</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 2%</b>			<b>концентрация ГКЖ-94 - 4%</b>		
<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
1,73	0,092	11,43	1,35	0,146	11,89	1,33	0,133	11,80
1,72	0,116	11,66	1,41	0,139	11,84	1,31	0,111	11,62
1,56	0,149	11,91	1,06	0,190	12,16	1,39	0,138	11,83
1,32	0,191	12,16	1,06	0,222	12,31	1,00	0,185	12,13
1,18	0,254	12,45	0,95	0,349	12,76	1,00	0,302	12,62
0,97	0,287	12,57	1,01	0,285	12,56	0,55	0,621	13,34
0,58	0,641	13,37	0,71	0,439	12,99	0,54	0,478	13,08
0,70	0,634	13,36	0,60	0,933	13,75	0,38	0,478	13,08
0,43	0,940	13,75	0,50	0,867	13,67	0,42	0,833	13,63
0,47	1,126	13,93	0,47	0,756	13,54	0,32	0,451	13,02
0,32	1,034	13,85	0,33	0,966	13,78	0,37	0,472	13,06
0,33	1,596	14,28	0,31	0,757	13,54	0,32	0,985	13,80

## Приложение Г

Данные для определения коэффициента объемной усадки формованного и гидрофобно-модифицированного формованного торфа верхового типа ( $R_T = 5...10\%$ ) и переходного типа ( $R_T = 35\%$ )

<b>Коэффициент объемной усадки, K<sub>ус</sub></b>					
<b>верховой тип, R<sub>T</sub> = 5...10%</b>			<b>переходный тип, R<sub>T</sub> = 35%</b>		
контрольный образец	концентрация ГКЖ-94 - 2%	концентрация ГКЖ-94 - 4%	контрольный образец	концентрация ГКЖ-94 - 2%	концентрация ГКЖ-94 - 4%
0,300	0,154	0,128	0,734	0,853	0,790

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ДОБЫЧЕ КУСКОВОГО ГИДРОФОБНО- МОДИФИЦИРОВАННОГО ТОРФА ЭКСКАВАТОРНЫМ СПОСОБОМ

### *Исходные данные*

1. Годовая программа добычи –  $P_{\text{год}} = 10000$  т;
2. Географическое расположение месторождения (область) – Тверская область;
3. Тип торфяной залежи – Верховой;
4. Степень разложения –  $R_{\text{т}} = 25\%$ ;
5. Пнистость –  $\Pi_{\text{с}} = 1,0\%$ ;
6. Влажность естественная –  $w_{\text{е}} = 88\%$ ;
7. Влажность эксплуатационная –  $w_{\text{з}} = 77\%$ ;
8. Средняя глубина залежи –  $h_{\text{ср}} = 3$  м;
9. Максимальная глубина залежи –  $h_{\text{max}} = 5$  м;
10. Толщина очесного слоя –  $h_{\text{оч}} = 0,1$  м;
11. Толщина придонного слоя –  $h_{\text{пс}} = 0,5$  м;
12. Уборочная влажность кусков –  $w_{\text{уб}} = 45\%$ ;
13. Диаметр кусков в начале сушки –  $d_{\text{н}} = 0,08$  м;
14. Равновесное влагосодержание кусков –  $w_{\text{р}} = 0,3$  кг/кг);
15. Коэффициент сбора –  $\alpha_{\text{с}} = 0,95$ ;
16. Потери залежи из-за несоответствия кондиционной степени разложения –  $\Pi_{\text{з}} = 3\%$ ; зольности –  $\Pi_{\text{д}} = 4\%$ .

### 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОБЫЧИ

Расчетное число технологических циклов ( $n_{\text{ц}}$ ) принимаем из п.4.2:

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм}: n_{\text{ц}} = \frac{124 - 8,5 - 16,35}{16,35} = 6,06 \text{ циклов}$$

Определим количество технологических циклов  $n_{\omega}$  при вероятности обеспеченности поставок кускового торфа  $\omega = 70\%$ .

Значение функции нормированного отклонения:

$$\Phi(t) = 1 - 0,02 \cdot \omega = 1 - 0,02 \cdot 70 = -0,4, \Rightarrow t = -0,53.$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = n_{\text{цр}} \cdot k,$$

где  $k$  – коэффициент расчета среднеквадратичного отклонения по размаху варьирования (количества циклов).

$$\sigma = 6,06 \cdot 0,41 = 2,48.$$

Количество технологических циклов:

$$n_{\omega} = n_{\text{цр}} + t \cdot \sigma = 6,06 - 0,26 \cdot 2,48 = 5,4,$$

принимаем для дальнейших расчетов 5,4 циклов.

Цикловой и сезонный сбор кускового торфа ( $q_{\text{ц}}$ ,  $q_{\text{с}}$ , т/га) принимаем из п. 4.2:

$$d_{\text{н}} = 80 \text{ мм}: q_{\text{ц}} = 10 \cdot 14,54 \cdot (1 + 0,5) \cdot 0,9 = 196,29 \text{ т/га}$$

$$q_{\text{с}} = 196,29 \cdot 5,4 = 1059,9 \text{ т/га}$$

Площадь, необходимая для выполнения программы:

$$\text{Площадь нетто } F_{\text{н}} = P_{\text{год}} / q_{\text{с}} = 10\,000 / 1059,9 = 9,4 \text{ га.}$$

Коэффициент использования площади:

$$K_{\text{пл}} = \frac{L_{\text{к.н}} \cdot B_{\text{к.н}}}{L_{\text{к.б}} \cdot B_{\text{к.б}}} = \frac{450 \cdot (20 - 5,6)}{500 \cdot 20} = 0,65$$

$$F_{\text{бр}} = \frac{9,4}{0,65} = 14,5 \text{ га.}$$

С учетом 20 % резерва площади принимаем  $F_{\text{бр}} = 17$  га – это площадь, на которой выстилается торф. Площадь производственного участка составит 34 га (1 карта – экскавация, 2 карта – стилка).

## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

### 2.1. Расчет оборудования на экскавации торфа

Экскавация торфа из залежи производится одноковшовым гусеничным экскаватором AMKODOR XC231LC.

Часовая производительность одноковшового экскаватора ( $Q_{\text{тех}}$ , м<sup>3</sup>/ч):

$$Q_{\text{тех}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{к}}}{T_{\text{цр}}} \cdot K_{\text{э}} \cdot K_{\text{з}} = \frac{3600 \cdot 1}{34} \cdot 1 \cdot 1,3 = 137,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $V_{\text{к}}$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;

$K_{\text{э}}$  – коэффициент экскавации;

$K_{\text{з}}$  – коэффициент забоя;

$T_{\text{цр}}$  – время рабочего цикла экскаватора, с.

$$T_{\text{цр}} = t_{\text{к}} + t_{\text{п}} + t_{\text{в}} + t_{\text{пз}} = 10 + 11 + 3 + 10 = 34 \text{ с.}$$

где  $t_k$  - продолжительность копания, равная 6-10 с;

$t_{\Pi}$  - продолжительность поворота на выгрузку, равная 7 - 11с;

$t_b$  - продолжительность выгрузки, равная 1 - 3 с;

$t_{\Pi 3}$  - продолжительность поворота в забой, равная 7 -10 с.

Эксплуатационная производительность ( $Q_{\text{экс}}$ , м<sup>3</sup>/ч):

$$Q_{\text{экс}} = Q_{\text{тех}} \cdot K_b \cdot K_{\Pi} = 137,6 \cdot 0,75 \cdot 0,86 = 88,8 \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $K_b$  – коэффициент, учитывающий использование экскаватора по времени: при работе в транспорт 0,7-0,75;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий квалификацию машиниста (для универсальных экскаваторов принимается равным 0,86).

Производительность за час в тоннах при условной влажности ( $P$ ):

$$P = \frac{Q \cdot \gamma_s (100 - w_s) \cdot K_{cy}}{100 - w_y} = \frac{8,8 \cdot 1007,36 \cdot (100 - 77) \cdot 0,95}{100 - 33} = 29172 \text{ кг/ч или } 27,6 \text{ т/ч}$$

Производительность за сезон в тоннах при условной влажности ( $P_{\text{сез}}$ ):

$$P_{\text{сез}} = P \cdot t \cdot K_m (T_c - \tau_{\Pi}),$$

где  $t$  – продолжительность работы машин в день, ч;  $K_m$  – коэффициент уменьшения числа рабочих дней в сезоне по метеоусловиям ( $K_m = 0,7 \dots 0,8$ ), увеличивается с севера на юг.

$$P_{\text{сез}} = 27,6 \cdot 16 \cdot 0,65 \cdot (124 - 16,35) = 30941 \text{ т.}$$

Количество экскаваторов ( $N_{\text{экс}}$ ):

$$N_{\text{экс}} = \frac{P_{\text{год}}}{P_{\text{сез}}} = \frac{10000}{30941} = 0,32$$

С учетом 10 % резерва принимаем 1 машина.

## 2.2. Расчет оборудования на стилке кускового торфа

Навесное оборудование на стилочной машине представляет собой устройство, состоящее из 5 мундштуков диаметром по 80 мм (ширина стилки:  $5 \cdot 80 = 400$  мм).

Объем 1 метра ленты:

$$V_{1\text{ммлент}} = \pi \cdot r^2 \cdot H \cdot 5 = 3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 1 \cdot 5 = 0,02512 \text{ м}^3.$$

Длина выстилаемой ленты:

$$L_{\text{лен}} = \frac{V_{\text{бун}} \cdot K_p}{V_{\text{лент}}} = \frac{10 \cdot 0,95}{0,02512} = 378 \text{ м.}$$

Ширина стилки машиной за 1 проход:

$$b_{\text{п}} = 0,4 + 0,05 = 0,45 \text{ м.}$$

Ширина стилочной машины составляет 5 метров, при использовании трактора Беларусь 2022, ширина стилки  $20 - 5 = 15$  метров, соответственно, количество проходов по карте, которое будет совершать стилочная машина, составит:  $\frac{15}{0,45} = 32$  прохода. Объем бункера стилочной машины составляет  $10 \text{ м}^3$ , поэтому за 32 прохода будет выстелено  $320 \text{ м}^3$  кускового гидрофобно – модифицированного торфа, площадь застилаемой части карты при этом составит:  $32 \cdot 0,45 = 14,4$  метра.

Сработка залежи на 1 погонный метр:

$$V_{\text{1погмет}} = h_э \cdot B_k \cdot L = 0,3 \cdot 18 \cdot 1 = 5,4 \text{ м}^3,$$

где  $h_э$  – глубина экскавации, при которой обеспечивается необходимая эксплуатационная влажность кускового гидрофобно – модифицируемого торфа;  $B_k$  – ширина карта нетто, м.

Полученные расчеты показывают, что применяемая стилочная машина за один проход выстилат 2 погонных метра, а на карте за 32 прохода будет выстелено 64 погонных метра кускового торфа. Таким образом, одной карты будет достаточно для выполнения  $450 \div 64 = 7$  технологических циклов. Площадь производственного участка будет составлять 34 га, что соответствует 2 картам (1 карта – экскавация торф, 2 карта – стилка кускового гидрофобно – модифицированного торфа).

Продолжительность рабочего цикла:

$$t_{\text{п.х}} = \frac{L_{\text{л}}}{V_{\text{п.х}} \cdot K_v} = \frac{378}{1,2 \cdot 0,95} = 332 \text{ с.}$$

$$t_{\text{возв}} = \frac{L_{\text{л}}}{V_{\text{возв}} \cdot K_v} = \frac{378}{3,31 \cdot 0,95} = 120 \text{ с.}$$

$$t_{\text{всп}} = 170 \text{ с.}$$

$$t_{\text{ц}} = 332 + 120 + 170 = 622 \text{ с.}$$

Техническая производительность стилочной машины:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{V_{\text{б}} \cdot K_{\text{н}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{10 \cdot 0,9}{622} = 0,0145 \text{ м}^3/\text{с} \quad (52 \text{ м}^3/\text{ч}).$$

Производительность за час в тоннах при условной влажности ( $P$ ):

$$P = \frac{Q \cdot \gamma_s (100 - w_s) \cdot K_{cy}}{100 - w_y} = \frac{52 \cdot 1007,36 \cdot (100 - 77) \cdot 0,95}{100 - 33} = 17076 \text{ кг/ч или } 17,1 \text{ т/ч}$$

Производительность за сезон в тоннах при условной влажности ( $P_{сез}$ ):

$$P_{сез} = P \cdot t \cdot K_m (T_c - \tau_{ц}),$$

где  $t$  – продолжительность работы машин в день, ч;  $K_m$  – коэффициент уменьшения числа рабочих дней в сезоне по метеоусловиям ( $K_m = 0,7 \dots 0,8$ ), увеличивается с севера на юг.

$$P_{сез} = 17,1 \cdot 16 \cdot 0,55 \cdot (124 - 16,35) = 19144 \text{ т.}$$

Количество стилочных машин ( $N_{ст}$ ):

$$N_{ст} = \frac{P_{год}}{P_{сез}} = \frac{10000}{19144} = 0,5$$

С учетом производительности экскаватора принимается 2 стилочные машины.

### 2.3. Расчет оборудования по сушке торфа

Предполагаемая схема сушки: сушка в расстиле до влажности  $\approx 70\%$ , ворочка кусков, валкование при достижении влажности  $\approx 50 \dots 55\%$ , досушка в валке до уборочной влажности ( $45\%$ ), переукладка валков (при необходимости).

Ворочка кусков осуществляется машиной КН-18, которая осуществляет переворачивание кусков за один проход по карте. Сушку кускового торфа предполагается проводить в однослойном расстиле с досушкой в валках. Для этих целей используется валкователь КА-4,0.

Производительность ворошилки в гектарах ( $S$ , га/ч):

$$S = 10^{-4} \cdot b_k \cdot v_p \cdot K_b \cdot K_v \cdot K_{ц} \cdot K_t,$$

где  $b_k$  – ширина захвата, м;  $v_p$  – рабочая скорость на операции, м/ч;  $K_b, K_v, K_{ц}, K_t$  – коэффициенты: использования ширины захвата; скорости; циклового и рабочего времени.

$$S = 10^{-4} \cdot 18,3 \cdot 4000 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 4,75 \text{ га/ч.}$$

Производительность ворошилки в тоннах готовой продукции ( $P$ , т/ч):

$$P = S \cdot q_u$$

$$P = 4,75 \cdot 196,29 = 932,4 \text{ т/ч.}$$

Производительность сезонная в гектарах ( $S_{\text{сез}}$ , га):

$$S_{\text{сез}} = K_M S t (T_c - \tau_{\text{ц}}),$$

где  $K_M = 0,5 \dots 0,65$  (увеличение с севера на юг);  $t = 16$  часов.

$$S_{\text{сез}} = 0,55 \cdot 4,75 \cdot 16 \cdot (124 - 16,35) = 4499,8 \text{ га.}$$

$$S_{\text{сез}} = 0,55 \cdot 4,75 \cdot 16 \cdot (124 - 16,35) = 4499,8 \text{ га}$$

Производительность сезонная в тоннах готовой продукции ( $P_{\text{сез}}$ , т):

$$P_{\text{сез}} = S_{\text{сез}} \cdot q_{\text{ц}}.$$

$$P_{\text{сез}} = 4499,8 \cdot 196,29 = 883260 \text{ т.}$$

Производительность валкователя в гектарах ( $S$ , га/ч):

$$S = 10^{-4} \cdot b_k \cdot v_p \cdot K_B \cdot K_v \cdot K_{\text{ц}} \cdot K_t,$$

где  $b_k$  – ширина захвата, м;  $v_p$  – рабочая скорость на операции, м/ч;  $K_B, K_v, K_{\text{ц}}, K_t$  – коэффициенты: использования ширины захвата; скорости; циклового и рабочего времени.

$$S = 10^{-4} \cdot 4 \cdot 2000 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 0,52 \text{ га/ч.}$$

Производительность валкователя в тоннах готовой продукции ( $P$ , т/ч):

$$P = S \cdot q_{\text{ц}}.$$

$$P = 0,52 \cdot 196,29 = 102,1 \text{ т/ч.}$$

Производительность сезонная в гектарах ( $S_{\text{сез}}$ , га):

$$S_{\text{сез}} = K_M S t (T_c - \tau_{\text{ц}}),$$

где  $K_M = 0,5 \dots 0,65$  (увеличение с севера на юг);  $t = 16$  часов.

$$S_{\text{сез}} = 0,55 \cdot 0,52 \cdot 16 \cdot (124 - 16,35) = 492,6 \text{ га.}$$

Производительность сезонная в тоннах готовой продукции ( $P_{\text{сез}}$ , т):

$$P_{\text{сез}} = S_{\text{сез}} \cdot q_{\text{ц}}.$$

$$P_{\text{сез}} = 492,6 \cdot 91,3 = 96694 \text{ т.}$$



Количество машин по сушке:

$$N_c = F_{\text{раз}} \left( \frac{K_1}{S_{\text{сез}}} + \frac{K_2}{S_{\text{сез}2}} + \frac{K_3}{S_{\text{сез}3}} + \frac{K_4}{S_{\text{сез}4}} \right),$$

где  $F_{\text{раз}}$  – развернутая площадь полей сушки  $F_{\text{разв}} = \frac{P_{\text{год}}}{q_{\text{ц}}}$ , га,  $K_{1-4}$  – коэффициенты, показывающие на какой части площади выполняется операция: ворочка (1), повторная ворочка (2), валкование (3), переукладка валков (4). Так как технологическая схема предполагает использование ворочки на 100 % площади, валкования на 100 % площади и переукладки валков на 50 % площади:  $K_1 = 1$ ;  $K_3 = 1$ ;  $K_4 = 0,5$ . Повторная ворочка не предусматривается  $K_2 = 0$ .

$$F_{\text{разв}} = \frac{10000}{196,29} = 50,9 \text{ га.}$$

$$N_{\text{ворошилок}} = F_{\text{раз}} \left( \frac{K_1}{S_{\text{сез}}} \right) = \frac{50,9}{4499,8} = 0,01$$

Принимаем 1 ворошилку.

$$N_{\text{валкователей}} = F_{\text{раз}} \left( \frac{K_3}{S_{\text{сез}3}} + \frac{K_4}{S_{\text{сез}4}} \right) = 50,9 \left( \frac{1}{492,6} + \frac{0,5}{492,6} \right) = 0,153$$

Принимаем 1 валкователь.

#### 2.4. Расчет оборудования для уборки кускового торфа

Для уборки предполагается использование прицепного к трактору погрузчика КН-2,0. Уборка будет производиться из валков в тракторный прицеп.

Расчет площади сечения валка:

$$f_{\text{вал}} = \frac{10^{-1} b q_{\text{ц уб}}}{\gamma_{\text{нас уб}}},$$

где  $b$  – ширина захвата, м;  $q_{\text{ц уб}}$  – цикловой сбор при уборочной влажности т/га;  $\gamma_{\text{нас уб}}$  – насыпная плотность при уборочной влажности кг/м<sup>3</sup>.

$$q_{\text{ц уб}} = \frac{q_{\text{ц}}(100 - w_y)}{(100 - w_{\text{уб}})} = \frac{196,29 \cdot (100 - 33)}{100 - 45} = 239,1 \text{ т/га.}$$

$$f_{\text{вал}} = \frac{10^{-1} \cdot 4 \cdot 239,1}{340} \text{ м}^2.$$

Эксплуатационная производительность погрузчика ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ):

$$Q = f_{\text{вал}} \cdot v_p \cdot K_B \cdot K_{\text{ц}} \cdot K_t,$$

$$K_{\text{ц}} = \frac{t_{\text{рх}}}{t_{\text{рх}} + t_{\text{всп}}}; \quad t_{\text{рх}} = \frac{L_{\text{рх}}}{v_{\text{раб}} \cdot K_v}; \quad L_{\text{рх}} = \frac{V_{\text{б}} \cdot K_{\text{н}}}{f_{\text{вал}}},$$

где  $L_{\text{рх}}$  – длина рабочего хода (загрузки), м;  $V_{\text{б}}$  – объем бункера прицепа,  $\text{м}^3$ ;  $K_{\text{н}}$  – коэффициент наполнения бункера  $K_{\text{н}} = 0,8 \dots 1,0$ .

$$t_{\text{всп}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{пов}} + t_{\text{ман}}; \quad t_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{пр}}}{v_{\text{пр}} \cdot K_v}; \quad L_{\text{пр}} = B_{\text{к}} - 2 \cdot R_{\text{пов}};$$

$$t_{\text{пов}} = \frac{2 \cdot L_{\text{пов}}}{v_{\text{пов}} \cdot K_{v_{\text{пов}}}}; \quad L_{\text{пов}} = \frac{\pi \cdot R_{\text{пов}}}{2}.$$

где  $t_{\text{ман}}$  – время, затрачиваемое на замену прицепа (маневр),  $t_{\text{ман}} \approx 60$  с.

$$Q = 0,281 \cdot 2000 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 364,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Эксплуатационная производительность погрузчика в тоннах при условной влажности:

$$\gamma_{\text{нас}} = \frac{\gamma_{\text{нас.уб}}(100 - w_{\text{уб}})}{(100 - w_{\text{у}})} = \frac{340 \cdot (100 - 45)}{100 - 33} = 279,1 \text{ кг/м}^3 \text{ или } 0,28 \text{ т/м}^3$$

$$P = Q \cdot \gamma_{\text{нас}} = 364,6 \cdot 0,28 = 102 \text{ т/ч}.$$

Сезонная производительность погрузчика:

$$S_{\text{сез}} = 0,55 \cdot 102 \cdot 16 \cdot (124 - 16,35) = 96626 \text{ т}.$$

Количество уборочных машин (погрузчиков):

$$N_{\text{уб}} = 10\,000 / 96\,626 = 0,1, \text{ принимаем } 1 \text{ погрузчик}.$$

Для транспортирования торфа от погрузчика до штабеля предполагается использовать тракторные прицепы РКР-10, производства Беларусь.

Техническая производительность прицепа рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{к}} \cdot K_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{нас.уб}}}{T_{\text{ц}}},$$

где  $V_{\text{к}}$  – геометрическая вместимость кузова,  $\text{м}^3$ ;  $T_{\text{ц}}$  – общее время цикла прицепа, ч.

$$T_{ц} = t_{м} + t_{пог} + t_{гр} + t_{р} + t_{х} + t_{ож},$$

$t_{м}$  – время маневрирования прицепа, ч;  $t_{пог}$  – время погрузки прицепа, ч;  $t_{гр}$  – время прохода груженого прицепа к месту разгрузки, ч;  $t_{р}$  – время разгрузки, ч;  $t_{х}$  – время движения порожнего прицепа к месту погрузки, ч;  $t_{ож}$  – время на ожидание погрузки, ч.

$$t_{пог} = \frac{V_{к} \cdot K_{н} \cdot K_{у}}{Q_{пог}},$$

где  $K_{у}$  – коэффициент уплотнения торфа при погрузке;  $Q_{пог}$  – производительность погрузчика, м<sup>3</sup>/ч.  $t_{пог} = \frac{25 \cdot 1 \cdot 1,05}{364,6} = 0,08$  ч. При использовании прицепов объемом 25 м<sup>3</sup>

$$t_{гр} = \frac{L_{гр}}{v_{гр} \cdot K_{v}},$$

где  $L_{гр}$  – средняя дальность транспортирования торфа, км (принимая 1 км);  $v_{гр}$  – скорость движения груженого прицепа, км/ч;  $K_{v}$  – коэффициент использования скорости.

$$t_{гр} = \frac{1}{10 \cdot 0,85} = 0,118 \text{ ч.}; \quad t_{х} = \frac{1}{10 \cdot 0,95} = 0,105 \text{ ч.}$$

В связи с незначительными величинами, примем общее время на маневры, ожидание прицепа и разгрузку равное 5 мин (0,08 ч).

$$T_{ц} = 0,08 + 0,118 + 0,105 + 0,08 = 0,383.$$

С учетом приведенных выше расчетов, производительность прицепа составит:

$$Q_{пр} = \frac{25 \cdot 1,15 \cdot 0,28}{0,383} = 21,02 \text{ т/ч.}$$

Количество прицепов, работающих с одной уборочной машиной, рассчитывается по формуле:  $N_{пр}$

$$N_{пр} = \frac{T_{ц}}{t_{пог}} = \frac{0,383}{0,08} = 4,8 \text{ принимаем 4 прицепа.}$$

## 2.5. Расчет оборудования для штабелирования торфа

Штабелирование кускового торфа предполагается осуществлять погрузчиком «Амкадор-352».

Производительность фронтального погрузчика:

$$Q_{\text{техн}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{к}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{т}}}{T_{\text{ц}}} = \frac{3600 \cdot 2,8 \cdot 0,9 \cdot 0,75}{30} = 226,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$P_{\text{техн}} = Q_{\text{техн}} \cdot \gamma_{\text{нас}} = 226,8 \cdot 0,28 = 63,5 \text{ т/ч}.$$

Сезонная производительность фронтального погрузчика:

$$Q_{\text{сез}} = 0,55 \cdot 226,8 \cdot 16 \cdot (124 - 16,35) = 246925,3 \text{ м}^3.$$

$$P_{\text{сез}} = Q_{\text{сез}} \cdot \gamma_{\text{нас}} = 246\,925,3 \cdot 0,28 = 69\,139,1 \text{ т}.$$

Количество фронтальных погрузчиков:

$$N_{\text{погр}} = 10\,000 / 69\,139,1 = 0,14, \text{ принимаем } 1 \text{ погрузчик}.$$

## 3. РАСЧЕТ ГОРЮЧЕГО И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Расход горюче-смазочных материалов определяется по формуле

$$m_{\text{г}} = \frac{m_{\text{дв}} \cdot P_{\text{дв}} \cdot K_{\text{п.в.}} \cdot K_{\text{г}} \cdot K_{\text{р}}}{S},$$

где  $m_{\text{дв}}$  – удельный расход горючего двигателем внутреннего сгорания, кг/(кВт·ч);  $P_{\text{дв}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт;  $K_{\text{п.в.}}$  – коэффициент полезного времени агрегата;  $K_{\text{г}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительный расход горючего на холостую работу двигателя и переезды от полевой базы к месту работы и обратно;  $K_{\text{р}}$  – коэффициент, учитывающий загрузку двигателя при работе;  $S$  – эксплуатационная производительность машины.

Для работы комплекта добычного оборудования принимаются трактора Минского тракторного завода. Для обеспечения стабильной работы фрезформовочной машины необходимо применение трактора мощностью 100...150 кВт; мощность тракторов, работающих с другим оборудованием, находится в пределах от 40 до 77 кВт; мощность тракторов, работающих с прицепами должна быть не менее 85 кВт.

Минским тракторным заводом выпускаются следующие типы тракторов.

*Серия 1000*

Марка Беларус 1021 или Беларус 1025. Марка двигателя Д-245 мощностью 77 кВт (удельный расход топлива при номинальной мощности 0,229 кг/(кВт·ч)). Предполагается их применение для ворожки, валкования и уборки кускового торфа.

*Серия 1200*

Марка Беларус 1221 или Беларус 1222. Марка двигателя Д-260.2 мощностью 96 кВт (удельный расход топлива при номинальной мощности 0,222 кг/(кВт·ч)). Предполагается их применение для вывозки кускового торфа.

*Серия 2022*

Марка Беларус 2022. Марка двигателя Д-260.4 мощностью 154 кВт (удельный расход топлива при номинальной мощности 0,227 кг/(кВт·ч)). Предполагается их применение для формования кускового торфа.

Расход горюче-смазочных материалов на операциях:

$$- \text{экскавация } m_{\Gamma}^{\text{экс}} = \frac{0,227 \cdot 132 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{27,6} = 0,747 \text{ , кг/т ;}$$

$$- \text{стилка } m_{\Gamma}^{\text{стил}} = \frac{0,227 \cdot 154 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{17,1} = 1,44 \text{ , кг/т ;}$$

$$- \text{ворожка } m_{\Gamma}^{\text{вор}} = \frac{0,227 \cdot 77 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,65}{932,4} = 0,011 \text{ , кг/т ;}$$

$$- \text{валкование } m_{\Gamma}^{\text{вал}} = \frac{0,229 \cdot 77 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,91}{102,1} = 0,137 \text{ , кг/т ;}$$

$$- \text{уборка } m_{\Gamma}^{\text{уб}} = \frac{0,227 \cdot 77 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,78}{102} = 0,118 \text{ , кг/т ;}$$

$$- \text{вывозка } m_{\Gamma}^{\text{выб}} = \frac{0,222 \cdot 96 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 1,05}{21,02} = 0,958 \text{ , кг/т ;}$$

$$- \text{штабелирование } m_{\Gamma}^{\text{шт}} = \frac{0,222 \cdot 132 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,65}{63,5} = 0,264 \text{ , кг/т ;}$$

Итого, общий удельный расход горючего на одну тонну готовой продукции составит  $m_{\text{уд}} = 0,747 + 1,44 + 0,011 + 0,137 + 0,118 + 0,768 + 0,264 = 3,45$  кг/т.

Общее количество горючего на операции:

– экскавация  $Q_{\Gamma}^{\text{ЭК}} = 0,747 \cdot 10000 = 7474,6 \text{ кг} = 7,4 \text{ т.}$

– стилка  $Q_{\Gamma}^{\text{СТИЛ}} = 1,44 \cdot 10000 = 14400 \text{ кг} = 14,4 \text{ т.}$

– ворочка  $Q_{\Gamma}^{\text{ВОР}} = 0,011 \cdot 10000 = 110 \text{ кг} = 0,1 \text{ т.}$

– валкование  $Q_{\Gamma}^{\text{ВАЛ}} = 0,137 \cdot 10000 = 1370 \text{ кг} = 1,37 \text{ т.}$

– уборка  $Q_{\Gamma}^{\text{УБ}} = 0,118 \cdot 10000 = 1180 \text{ кг} = 1,18 \text{ т.}$

– вывозка  $Q_{\Gamma}^{\text{ВЫВ}} = 0,958 \cdot 10000 = 9580 \text{ кг} = 9,58 \text{ т.}$

– штабелирование  $Q_{\Gamma}^{\text{ШТ}} = 0,264 \cdot 10000 = 2639,7 \text{ кг} = 2,63 \text{ т.}$

Общее количество горючего составит:

$$Q_{\Gamma} = 7,5 + 14,4 + 0,1 + 1,37 + 1,18 + 9,58 + 2,63 = 36,76 \text{ т.}$$

Общее количество смазочных материалов (в среднем смазочные материалы составляют приблизительно 10 % от массы топлива).

$$Q_{\text{см.мат}} = 0,1 \cdot Q_{\Gamma} = 0,1 \cdot 36,76 = 3,7 \text{ т.}$$

#### 4. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРСОНАЛА

Расчет производственного персонала приведен в *таблице 1.1*.

**Таблица 1.1** - Расчет персонала для выполнения технологических операций

№	Технологическая операция	Кол-во чел. в смену	Кол-во смен	Общее кол-во чел.
1	Экскавация	1	2	2
2	Стилка	2	2	4
3	Ворочка	1	2	2
4	Валкование	1	2	2
5	Уборка	1	2	2
6	Вывозка	1	2	2
7	Штабелирование	1	2	2
ИТОГО		<b>6</b>	<b>2</b>	<b>16</b>

Целесообразно разбить предприятие на три производственных участка со следующим управленческим и инженерно-техническим персоналом: 1 начальника участков, 1 старших мастера, 2 мастеров по добыче торфа (по одному на смену).

Работы по текущему ремонту оборудования могут выполняться машинистами тракторов, но желательно дополнительное привлечение слесарей (2 человек) и сварщиков (1 человека). Работы по учету и контролю качества продукции, а также учет горюче-смазочных материалов должны выполняться мастерами.

Кроме того, на участке необходима охрана – 3 сторожа на участок.

Таким образом, общее количество персонала составит 26 человек.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 5.1. Расчет капитальных вложений на приобретение технологического оборудования

Величина капитальных вложений на приобретение, доставку и монтаж технологического оборудования

$$K = \sum_{i=1}^m C_i n_i,$$

где  $K$  – общая стоимость машин на всех операциях, руб.;  $C_i$  – оптовая цена конкретной марки машины, руб./шт.;  $n_i$  – количество машин  $i$ -ой марки, шт.

Расчет капитальных вложений на приобретение технологического оборудования сводится в *таблицу 1.2*.

**Таблица 1.2** - Капитальные вложения на приобретение оборудования (22.09.2022)

Наименование операций	Марка оборудования	Стоимость единицы, € <sup>1</sup> , тыс. руб.	Кол-во, ед. (с учетом 10 % резерва)	Общая стоимость, €	Общая стоимость, тыс. руб.
1. Экскавация	AMKODOR XC231C	10800	1	180 000	10800
2. Стилка		620	2	2067	1240
2. Ворочка	KN-18	3427.2	1	57 120	3427.2
3. Валкование	КА-4,0	7287.84	1	121 414	7287.84
4. Уборка	КН-2,0	7806.96	1	130 116	7806.96
5. Вывозка	РКР-10	6829.2	4	455 280	27316.8
6. Штабелирование	Амкадор 352	2 320	1	–	2 320
7. Трактора	Беларус 1021	1 500	3	–	4 500
	Беларус 1221	1 800	4	–	7 200
	Беларус 2022	3 500	2	–	7 000
Итого	–	–			<b>78898,8</b>

## 5.2. Определение эксплуатационных затрат и себестоимости единицы товарной продукции

### 5.2.1. Топливо на технологические цели

Затраты на топливо определяются по формуле:

$$C_1 = 1,07 \cdot Q_{\Gamma} \cdot C_{\text{д.т.}} + 1,05 \cdot Q_{\text{см.мат}} \cdot C_{\text{см.мат}}, \text{ руб}$$

где  $Q_{\Gamma}$  – расход дизельного топлива за сезон, т;  $C_{\text{д.т.}}$ ,  $C_{\text{см.мат}}$  – оптовая цена 1 т дизельного топлива и смазочных материалов (для дизельного топлива средняя цена составляет 50 тыс. руб./т, для всех смазочных материалов (индустриальное масло, дизельное масло, солидол, нигрол, бензин и др.) средняя цена составляет 90 тыс. руб./т); 1,07, 1,05 – коэффициенты транспортных и погрузочно-разгрузочных расходов.

$$C_1 = 1,07 \cdot 36755 \cdot 50 + 1,05 \cdot 3675 \cdot 90 = 2313,680 \text{ тыс.руб.}$$

### 5.2.2. Расчет затрат на гидрофобно-модифицированную добавку

Количество готовой продукции условной влажностью 33% составляет 10000 тонн. Было установлено, что оптимальная концентрация кремний органической добавки и триэтаноламина составляет 2% и 30% от полученной массы кремнийорганической добавки, соответственно.

$$\text{Масса абсолютно сухого вещества торфа: } m_c = \frac{m_{\text{н}}}{1 + W_y} = \frac{10000}{1 + 0,49} = 6711 \text{ т.}$$

$$\text{Масса кремний органической добавки: } m_{\text{д}} = 6711 \cdot 0,02 = 136,987 \text{ т.} = 140 \text{ т.}$$

$$m_{\text{д}} = 6711 \cdot 0,02 = 136,967 \text{ т.}$$

$$\text{Масса триэтаноламина: } m_{\text{э}} = 136,987 \cdot 0,3 = 41 \text{ т.}$$

Затраты на гидрофобно-модифицируемую добавку определяются по формуле

$$C_2 = m_{\text{д}} \cdot C_{\text{д}} + m_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} = 136697 \cdot 121 + 41090 \cdot 22 = 17476987 \text{ руб.}$$

### 5.2.3. Основная заработная плата производственным рабочим

Величина заработной платы производственных рабочих определяется по тарифным ставкам из расчета загруженности рабочего на основных (операции по добыче) и вспомогательных (ремонт оборудования, подготовка производственных площадей и др.) работах в течение всего сезона (984 ч за сезон для каждого рабочего). Расчеты основной заработной платы  $C_3$  приведены в *таблице 1.3*.



**Таблица 1.3** - Расчет заработной платы производственного персонала

Тип персонала	Кол-во персонала	Оклад, тыс. руб.	Кол-во месяцев работы	Итого, тыс. руб.
Начальник участка	1	40	12	480
Старший мастер	1	35	12	420
Мастер по добыче торфа	2	30	12	720
Слесарь	1	20	4	80
Сварщик	1	20	4	80
Производственные рабочие	16	30	4	1920
Сторожа	3	20	12	720
Сумма	—	—	—	<b><math>C_3 = 4420</math></b>

#### 5.2.4. Отчисления на социальное страхование

Отчисления на социальное страхование управленческого персонала и производственным рабочим принимается в размере 34 % от суммы заработной платы

$$C_4 = 0,34 \cdot C_3 = 0,34 \cdot 4180 = 1421,2 \text{ тыс. руб.}$$

#### 5.2.5. Амортизация основных фондов

Учитываются амортизационные отчисления на полное восстановление и капитальный ремонт производственного оборудования (норма амортизации составляет  $H_a = 10 \%$ ).

$$C_5 = \frac{H_a}{100} \cdot K_{\text{обор}} = \frac{10}{100} \cdot 78898,8 = 7889,88 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_5 = \frac{H_a}{100} \cdot K_{\text{обор}} = \frac{10}{100} \cdot 78898,8 = 7889,88 \text{ тыс. руб.}$$

где  $K_{\text{обор}}$  – капитальные вложения в технологическое оборудование.

#### 5.2.6. Текущий ремонт основных фондов

Затраты на текущий ремонт основных фондов (норматив затрат на ремонт оборудования принимается  $H_{\text{тр}} = 4 \%$ );

$$C_6 = \frac{H_{\text{тр}}}{100} \cdot K_{\text{обор}} = \frac{4}{100} \cdot 78898,8 = 3155,9 \text{ тыс. руб.}$$

#### 5.2.7. Расходы на рекультивацию полей

Затраты на рекультивацию принимаются в размере 10 руб. на 1 т добычи торфа

$$C_7 = H_{\text{рек}} \cdot ВП = 10 \cdot 10000 = 100 \text{ тыс. руб.}$$

Величины расходов по статьям сводятся в калькуляцию себестоимости 1 тонны торфа условной влажности (таблица 1.4).

### 5.2.8. Итоговый расчет затрат себестоимости продукции

Таблица 1.4 - Расчет себестоимости 1 т кускового торфа

№	Статьи расходов	Сумма расходов по статье, тыс. руб.
1	Топливо на технологические цели	2 313,7
2	Гидрофобизатор с добавками	17476,9
3	Зарплата	4 420
4	Отчисления на соцстрах	1 421,2
5	Амортизация основных фондов	7889,88
6	Текущий ремонт основных фондов	3 155,9
7	Расходы на рекультивацию площадей	100
	Себестоимость торфа без учета подготовки и ремонта производственных площадей	36777,58
	В расчете на 1 т готовой продукции, руб./т	<b>3678</b>

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**  
№ 2760605  
НА ИЗОБРЕЩЕНИЕ

**Пневматическая лабораторная установка для исследования скорости всасывания торфяной крошки**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тверской государственный технический университет" (ТУ)*

Авторы: *Яблонев Александр Львович (RU), Щербакова Дарья Михайловна (RU), Гусева Анна Михайловна (RU), Купорова Александра Владимировна (RU)*

Заявка № 2020143755

Приоритет изобретения **28 декабря 2020 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **29 ноября 2021 г.**

Срок действия исключительного права на изобретение истекает **28 декабря 2040 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат Выходящий из обращения 2908024118  
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**  
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2026

*Г.П. Ивлиев*





### АКТ

#### испытания способа модификации влажной торфомассы кремнийорганической добавкой этилгидросилоксана для оценки возможности гидрофобизации кускового торфа

2023 г.

г.п. Заплюсье, Плюсский р-н, Псковской обл.

Комиссия в составе:

**Председателя:**

Главного инженера ООО «ПИНДСТРУП»

Дубовикова С.Л.,

**членов комиссии:**

Начальника цеха переработки торфа

Загорельского Р.А.

Эксперта, к. т. н.

Чертковой Е.Ю.

провела в цехе переработки торфа ООО «ПИНДСТРУП» испытания способа модификации влажной торфяной массы кремнийорганической добавкой этилгидросилоксана для гидрофобизации кускового торфа, разработанного Купоровой А.В. и Мисниковым О.С.

#### Краткая методика проведения испытаний

Для получения гидрофобно-модифицированного кускового торфа использовалась торфяная масса с начальной влажностью 65 %. Тип торфа – верховой, вид – пушицево-сфагновый, степень разложения 25%. В предварительно подготовленную торфомассу вводили добавку в виде водной эмульсии этилгидросилоксана в концентрации по действующему веществу 2 % в расчете на абсолютно сухое вещество торфа. Для получения устойчивой эмульсии использовалась водорастворимая добавка триэтаноламина в концентрации 0,02 %. После обработки влажность торфомассы составила 70 %.

Полученная модифицированная торфомасса подвергалась механическому диспергированию в шнековом перерабатывающем устройстве (промышленный экструзионный гранулятор, производство ЗАО НПФ "ТЕКО", г. Миасс, Челябинская обл.) с формованием цилиндрических кусков диаметром 60 мм и длиной 90 мм. Сформованные куски торфа укладывались на подносы и высушивались в производственном помещении цеха при температурном режиме

20...25°C и относительной влажности воздуха 70...80 % до равновесного состояния (прекращение изменения массы).

#### **Результаты испытаний**

В результате проведения испытаний комиссией было установлено следующее.

1. Влажность при которой были сформованы куски торфа ( $w = 70\%$ , влагосодержание  $W = 2,33$  кг/кг), существенно ниже влажности при которой осуществляется технологическая операция формования и стилки торфа с такими же природными характеристиками ( $w = 80...84\%$ ,  $W = 4...5,25$  кг/кг), что сокращает время сушки кускового торфа и, соответственно, продолжительности технологического цикла.

2. Предварительная экспертная оценка специалистов ООО «ПИНДСТРУП» позволяет прогнозировать, что использование метода гидрофобной модификации торфомассы приведет к увеличению циклового сбора не менее чем на 20% и количества технологических циклов на 40%. Ожидаемый рост сезонного сбора кускового торфа не менее 50% по сравнению с действующей технологией его добычи.

3. Предлагаемый метод гидрофобной обработки торфомассы технически реализуем в процессе диспергирования и формования кусков стилочной машиной при ее незначительной модернизации (объемная обработка) или создании нового оборудования по разработанным авторами метода научно-техническим решениям.

#### **Выводы и предложения**

Комиссия считает, что способ модификации влажной торфомассы кремнийорганической добавкой этилгидросилоксана целесообразно использовать в качестве основного для проведения опытно-конструкторских работ по созданию модернизированной стилочной машины для производства кускового торфа в полевых (или заводских в качестве стационарного формующего устройства) условиях. Перспективность применения такого оборудования обусловлена многовариантностью технологий производства кускового торфа: стилка на полях добычи фрезерного и кускового торфа, суходольная стилка, стилка на травяную подложку и т. п.

#### **Председатель комиссии:**

Главный инженер ООО «ПИНДСТРУП», к. т. н.  С.Л. Дубовиков

#### **Члены комиссии:**

Начальник цеха переработки торфа  Р.А. Загорельский

Эксперт, к. т. н.  Е.Ю. Чертова

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель начальника  
Ивановской пожарно-спасательной  
академии ГПС МЧС России  
по учебной работе  
подполковник внутренней службы



А.С. Федоринов

2023 г.

**А К Т**

о внедрении результатов диссертационных исследований в учебный процесс  
ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

Мы нижеподписавшиеся, начальник кафедры государственного надзора и экспертизы пожаров (в составе учебно-научного комплекса «Государственный надзор») полковник внутренней службы *Лазарев Александр Александрович* и заместитель начальника кафедры государственного надзора и экспертизы пожаров (в составе учебно-научного комплекса «Государственный надзор») полковник внутренней службы *Мочалова Татьяна Александровна* с одной стороны и доцент кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе учебно-научного комплекса «Государственный надзор») *Попов Владимир Иванович* с другой стороны составили настоящий акт о внедрении результатов диссертационной работы соискателя *Купоровой Александры Владимировны* «*Геотехнологическое обоснование производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях*».

Результаты проведенных диссертационных исследований целесообразно использовать в учебном процессе академии по дисциплине «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» по специальностям 20.05.01 «Пожарная безопасность», 40.05.01 «Судебная экспертиза» направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль «Пожарная безопасность» по теме № 3 «Огнетушащие средства».

Данные диссертационного исследования были использованы при подготовке выпускных квалификационных работ обучающимися академии по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность».

К основным, используемым в учебном процессе результатам диссертационной работы, относятся: метод приготовления и внесения эмульсий водонерастворимых кремнийорганических гидрофобизаторов в торфяное сырье при влажностях более 70 %; водоотталкивающие и водопогложительные характеристики торфяного полуфабриката (гидрофобно-модифицированного торфа), используемого в качестве сырья для получения органических антислеживающих добавок в огнетушащие порошки.

Используемые материалы будут способствовать расширению научного кругозора обучающихся академии, повышать уровень их подготовки, а также давать навык работы с оригинальными методиками и приборами.

Решение о включении материалов в учебный процесс принято на заседании кафедры «Государственный надзор и экспертиза пожаров (в составе УНК «Государственный надзор»)), протокол № 1 от 29 августа 2023 года.

Начальник кафедры государственного  
надзора и экспертизы пожаров  
(в составе УНК «Государственный надзор»)  
полковник внутренней службы



А.А. Лазарев

Заместитель начальника кафедры  
государственного надзора и  
экспертизы пожаров  
(в составе УНК «Государственный надзор»)  
полковник внутренней службы



Т.А. Мочалова

Доцент кафедры  
пожарной безопасности объектов защиты  
(в составе УНК «Государственный надзор»)



В.И. Попов



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе ТвГТУ

Э.Ю. Майкова

2023 г.

**А К Т**

о внедрении результатов диссертационных исследований в учебный процесс  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

Мы нижеподписавшиеся, заведующий кафедрой «Горное дело, природообустройство и промышленная экология» *Мисников Олег Степанович*, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование» *Зюзин Борис Федорович* с одной стороны и начальник учебно-методического управления *Барчуков Дмитрий Анатольевич* с другой стороны составили настоящий акт о внедрении результатов диссертационной работы старшего преподавателя кафедры «Технологические машины и оборудование» *Купоровой Александры Владимировны* «Геотехнологическое обоснование производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях».

Результаты проведенных диссертационных исследований целесообразно использовать в учебном процессе студентов Тверского государственного технического университета (специалитет, бакалавриат и магистратура), обучающихся по специальности 21.05.04 Горное дело, направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование (профиль – Технологические машины и оборудование для разработки торфяных месторождений) и направлению 18.04.01 Химическая технология (профиль подготовки – Комплексная переработка биоэнергетических ресурсов) при изучении следующих дисциплин: «Физико-химические основы технологий переработки биогенного сырья», «Технологии переработки биоэнергетических ресурсов», «Технологическое оборудование для переработки биоэнергетических ресурсов», «Процессы переработки торфа и сапропеля», «Проектирование торфяных предприятий», «Сушильные установки торфо-перерабатывающих предприятий», «Основы полевой и искусственной сушки торфа».

К основным, используемым в учебном процессе результатам диссертационной работы, относятся: методика получения образцов гидрофобно - модифицированного кускового торфа, комплексная методика исследования процесса сушки и структурообразования кускового торфа, методика исследования водопоглощающих и водоотталкивающих характеристик формованного торфа, усовершенствованная методика по расчету продолжительности сушки гидрофобно – модифицированного кускового торфа.



Используемые материалы будут способствовать расширению научного кругозора студентов, повышать уровень их подготовки, а также давать навык работы с оригинальными методиками и приборами.

Решение о включении материалов в учебный процесс принято на заседаниях кафедр «Горное дело, природообустройство и промышленная экология», протокол № 7 от 28 августа 2023 года и «Технологические машины и оборудование», протокол № 1 от 30 августа 2023 года.

Зав. кафедрой ГДПЭ



О.С. Мисников

Зав. кафедрой ТМО



Б.Ф. Зюзин

Начальнике УМУ



Д.А. Барчуков