

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет»

*На правах рукописи*

Вагапова Эльнара Абдуллаевна



ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЕГИДРАТАЦИИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ПЛАВУЧЕГО ДОБЫЧНОГО  
КОМПЛЕКСА ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПУЛЬПЫ

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
Иванов С.Л.

Санкт-Петербург – 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>ГЛАВА 1 ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ</b> .....	9
1.1 Торф как возобновляемый источник энергии.....	10
1.2 Способы и технологии добычи торфяного сырья .....	12
1.3 Горные машины добычи сырья из обводненных месторождений .....	24
1.4 Фрезерная и гидромеханизированная технологии добычи торфяного сырья - недостатки и преимущества .....	31
1.5 Современные технологии обезвоживания торфа и торфяной пульпы, горное оборудование для их осуществления и оценка эффективности средств первичного обезвоживания торфяного сырья .....	35
1.6 Выводы по главе 1 .....	46
<b>ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЕГИДРАТАЦИИ</b> ..	48
2.1 Теоретические подходы к интенсификации дегидратации торфяной пульпы.....	48
2.2 Теоретическое обоснование структуры карьерного добычного комплекса .....	50
2.3 К оценке материального баланса переработки торфяного сырья комплексом .....	55
2.4 Выводы по главе 2 .....	62
<b>ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИФИКАЦИИ СНИЖЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТОРФЯНОЙ ПУЛЬПЫ</b> .....	63
3.1. Программа проведения экспериментальных исследований.....	63
3.2. Полевой отбор исходного торфяного сырья.....	63
3.3. Определение влаги исходного сырья .....	65
3.4. Определение напряженности магнитного поля.....	66
3.5. Экспериментальные исследования по воздействию на торфяную пульпу постоянным магнитным полем .....	67
3.6. Экспериментальные исследований по воздействию на торфяную пульпу бегущим магнитным полем .....	70
3.7. Оценка состава водной составляющей торфяной пульпы на обезвоживание торфа.....	74
3.8. Оценка влияния ионов на интенсивность снижения влагосодержания торфяной пульпы .....	75
3.9. Экспериментальные исследования обезвоживания торфа под действием внешней нагрузки .....	79
3.10. Выводы по главе 3 .....	84
<b>ГЛАВА 4 РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МОДУЛЬНОГО КОМПЛЕКСА</b> .....	85

4.1. Предлагаемая технология гидромеханизированной добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле .....	85
4.2. Оценка производительности установки обезвоживания торфа .....	92
4.3. Внедрение результатов диссертации .....	93
4.4. Выводы по главе 4 .....	96
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>97</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>99</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Протокол испытаний торфяной пульпы с умеренным содержанием солей.....</b>	<b>99</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Протокол испытаний торфяной пульпы с повышенным содержанием катионами <math>Fe^{2+}</math>, <math>Fe^{3+}</math> .....</b>	<b>113</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В Протокол испытаний торфяной пульпы с высоким содержанием гидрокарбонатов и катионов <math>Mg^{2+}</math> .....</b>	<b>114</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г Патент на изобретение «Трансформируемое сооружение».....</b>	<b>115</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д Патент на изобретение «Установка обезвоживания торфа».....</b>	<b>116</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е Акт внедрения .....</b>	<b>117</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Повышение эффективности работы торфяных предприятий неразрывно связано с внедрением более эффективных, экономически выгодных технологий добычи. Совершенствование и разработка новых технологий добычи и переработки торфа требует улучшения характеристик горного оборудования и является первоочередной задачей, стоящей перед торфяной промышленностью.

Гидромеханизированный способ добычи торфа принято считать одним из наиболее эффективных при разработке обводненных месторождений. Реализация этого способа не требует водопонижения территорий, минимизируя объем работ по подготовке месторождений и обеспечивая возможность добычи торфяного сырья в широких пределах мощностей его залегания. При этом основной проблемой является высокое влагосодержание торфяного сырья. Кроме того, следует отметить, что гидромеханизированная добыча торфа предполагает применение громоздкого металлоемкого оборудования, протяженных пульпопроводов, обладающих высокой материалоемкостью, а также требует значительных площадей для естественного влагоотделения избыточной влаги, содержащейся в пульпе. Понижение влагосодержания торфяного сырья путем его предварительного механического обезвоживания уже на борту комплекса горного оборудования позволяет повысить эффективность производства при снижении затрат на транспортирование сырья для последующей его сушки.

Таким образом, задача гидродобычи торфа на обводненных месторождениях с исключением необходимости перекачки лишней влаги по протяженному напорному трубопроводу с возможностью снижения влаги добытого торфяного сырья непосредственно на борту комплекса является актуальной и требует своего решения.

**Степень разработанности темы исследования:** Изучению и развитию методов управления процессами обезвоживания торфяного сырья и в частности его нарушенной структуры посвящали свои работы такие ученые, как Афанасьев А.Е., Воларович М.П., Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н, Гревцев Н.В., Журавлев А.В., Кирпичников В.Д., Копаница Н.О., Корчунов С.С., Кремчеев Э.А., Лиштван И.И., Морозов В.В., Терентьев А.А., Фомин В.Н., Чураев И.В., Шерстнев В.И., Штин С.М., Andreasson A., Chapman, P. J., Holden, J., Hosonda H. и другие ученые.

Сформированные авторами идеи имеют широкую практическую и теоретическую ценность, однако не касаются закономерностей протекания процессов обезвоживания торфяного сырья в искусственно создаваемых средах. Также не решены вопросы по интенсификации обезвоживания торфяного сырья при воздействии магнитного поля, что требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований для обоснованного

выбора параметров оборудования дегидратации торфяного сырья плавучего добычного комплекса.

Содержание диссертации **соответствует паспорту специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины** по пункту 14 «Критерии и технологические требования при создании новых и совершенствования применяемых горных машин с учетом особенностей условий их эксплуатации при разработке месторождений твердых полезных ископаемых».

**Объект исследования** – интенсификация потери влаги гидроторфяной смесью под влиянием силового воздействия и кратковременного омагничивания.

**Предмет исследования** – оборудование дегидратации торфяного сырья плавучего добычного комплекса.

**Цель работы** – уменьшение продолжительности обезвоживания торфяного сырья при использовании плавучих добычных комплексов на неосушенных торфяных месторождениях.

**Идея** – для снижения продолжительности обезвоживания торфяного сырья при отработке неосушенного торфяного месторождения необходимо создание дополнительного модуля обезвоживания при его добыче и переработке.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Провести обзор, анализ и обобщение теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации.

2. Провести теоретическое обоснование структуры модуля обезвоживания плавучего комплекса добычи торфяного сырья.

3. Провести экспериментальные исследования по оценке интенсивности обезвоживания торфяного сырья в условиях изменяемого магнитного поля и по послойному прессованию торфяной пульпы в тонком слое.

4. По результатам теоретических и экспериментальных исследований обосновать параметры горного оборудования модуля обезвоживания.

5. Предложить новое техническое решение по реализации гидромеханизированной торфодобычи на обводненных месторождениях с обоснованием параметров выбранного горного оборудования и конструктивных решений модуля обезвоживания торфа.

#### **Научная новизна работы:**

1. Интенсификация процесса первичного обезвоживания торфяной пульпы обеспечивается высоким содержанием катионов железа в гидроторфяной смеси до 0,02% и кратковременном омагничивании торфяной пульпы бегущим магнитным полем.

2. Определено рациональное давление отжатия омагниченной и стущенной торфяной пульпы величины в 0,6 МПа в тонком слое до 65 мм, при этом установлено, что увеличение

продолжительности действия нагрузки критически не влияет на интенсификацию процесса обезвоживания.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Выявлены функциональные закономерности процесса обезвоживания торфяной пульпы и восприимчивость ее к магнитной обработке, описываемые аналитическими полиномиальными зависимостями четвертой степени.

2. Разработано новое техническое решение модульного устройства обезвоживания торфяной пульпы. Приложение Д.

3. Результаты исследования использованы ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА», г. Санкт-Петербург на стадии разработки документации по модернизации центральной районной котельной Сахалинской области с использованием торфа, а также в проектах по реконструкции электросетевого хозяйства в рамках развития программы региона по электрогенерации на нетрадиционных видах топлива - торфе, биомассе. Акт внедрения от 15.03.2023 г, приложение Е.

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач использовался комплексный подход, включающий научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований; обработку и анализ теоретических и экспериментальных исследований в области горных машин, гидромеханизированной добычи торфяного сырья и процессов обезвоживания с учетом изменения параметров прессования; исследование влияния качественной характеристики торфа на процесс обезвоживания; проведение экспериментальных исследований для выявления функциональных зависимостей и определения восприимчивости торфяной пульпы к магнитной обработке с изучением фильтрационных особенностей и химического состава водной составляющей гидроторфяной смеси.

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

1. Экспериментально установлено, что двукратное увеличение интенсивности удаления влаги торфяной пульпы обеспечивается однократным кратковременным воздействием на нее бегущим магнитным полем в течении 10-15 секунд, при этом увеличение продолжительности непрерывного воздействия более чем в 2 раза нивелирует первоначальный эффект, а повторное воздействие вызывает снижение этой интенсивности.

2. Предложенный комплекс горного оборудования для первичного обезвоживания торфяной пульпы обеспечивает производительность комплекса 25 т/ч влагосодержанием 75% при размерах поддона 1,2×1,4×0,3 м и высоте столба поддонов 9,4 м, что обеспечивает максимальное давление в слое 0,6 МПа, при этом рациональная толщина отжимаемого слоя составляет 0,065 м.

**Степень достоверности результатов исследования** обусловлена корректностью постановки цели и задач исследований, представительным объемом достоверной статистической информации, построением теории на известных, проверяемых фактах и ее согласовании с данными производственных наблюдений; экспериментальные исследования интенсификации обезвоживания торфяной пульпы проводились на специально созданном прессе с использованием лабораторного оборудования, аттестованных и поверенных приборов.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы сообщались, обсуждались и получили одобрение на международных конференциях, в которых соискатель принимал участие: Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (2016, 2017, 2018 гг., Тула), 57-ой международной научной конференции студентов и молодых ученых (секция «Горное дело») (2016 г., Краков), LVIII международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы технических наук» (2017 г., Москва), I международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание, модернизация» (2018 г., Санкт-Петербург), Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME» (2018, 2019, Санкт-Петербург), Международном форуме горняков и металлургов Freiburger Universitätsforum (2018, Фрайберг), XVII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (2019, 2023 гг, Екатеринбург), Научной конференции студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (2023 г., Санкт-Петербург), VI всероссийской научно-практической конференции «Научный потенциал молодежи и технический прогресс» (2023 г., Санкт-Петербург).

**Личный вклад автора** заключается в участии автора на всех этапах процесса исследований, непосредственное участие в получении исходных данных и научных экспериментах, личное участие в апробации результатов исследований, разработка экспериментальной установки, подготовка основных публикаций по выполненной работе.

**Публикации.** Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 22 печатных работах (пункты списка литературы №13-19, 71, 82-84, 93-97, 114, 118, 122, 128, 129, 131), в том числе в 4 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 патента (приложения Г, Д).

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 135 наименований и 6 приложений. Диссертация изложена на 118 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков и 11 таблиц.

## ГЛАВА 1 ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

В настоящее время на Федеральном и Региональном уровнях актуален вопрос масштабного промышленного освоения торфяных месторождений. Использование торфяного сырья в качестве местного вида топлива в распределенной энергетике регионов и в агропромышленном комплексе России является актуальным [46]. В современных условиях необходимость интенсификации торфяного производства требует решения важной задачи по модернизации и техническому перевооружению горного оборудования с учетом требований научно-технического прогресса, опыта ведущих торфодобывающих стран, основываясь на применении новых материалов, конструкций и комплектующих. Расширение границ добычи, переработки и использования торфяного сырья требует развития машиностроительного комплекса нашей страны, разработки современного горного оборудования для осуществления технологий по добыче и переработке торфяного сырья, в рамках климотосберегающих технологий, являющихся в современных условиях приоритетными [89].

Для «перерождения» торфяной промышленности и для развития торфяной отрасли в нашей стране необходимо создание нового энергоэффективного горного оборудования, которое будет включать себя прогрессивные технологии и позволит снизить негативное воздействие на экологию при реализации процесса добычи и переработки торфяного сырья. Анализ тенденций, достижений и технологий позволяет выделить основные принципы в развитии таких горных машин и оборудования [62-64].

К таким машинам можно отнести модульный комплекс добычи и переработки торфяного сырья [12, 53, 93].

Применение громоздких торфяных машин весьма затрудняет их доставку на торфяное месторождение или месту переработки добытого торфа. Из этих соображений возникает необходимость на стадии проектирования горной машины принимать правильные конструктивные решения, чтобы выбор геометрических параметров, габаритов и металлоемкости машин был оптимальным.

Классифицировать виды технологического оборудования переработки торфа можно по общим следующим признакам:

- по функционалу;
- по характеру воздействия на торфяную залежь и сырье;
- по структуре рабочего цикла горной машины;
- по степени механизации и автоматизации процесса.

Стоит отметить, что помимо перечисленных выше общих признаков классификации каждый вид технологического оборудования переработки торфа имеет ряд особенностей и

специфические свойства, которые являются в свою очередь частными признаками классификации [55].

### 1.1 Торф как возобновляемый источник энергии

Торф принято считать возобновляемым природным ресурсом со скоростью накопления в 0,5-1,0 мм/год, прирост же этого полезного ископаемого на территории нашей страны составляет достигает  $250 \cdot 10^6$  тонн ( $1,9 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>) [1, 2].

Согласно ГОСТ 21123, торф – органическая горная порода, образующаяся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода и содержания не более 50% минеральных компонентов на сухое вещество, образующее залежь – закономерное вертикальное напластование торфов отдельных видов от поверхности до минерального дна торфяного месторождения или подстилающих озерных отложений [31,80].

Торф представляет собой многокомпонентную систему твердого вещества и водной составляющей, состав и процентное соотношение которых напрямую влияет на физические и химические свойства торфа. Например, степень дисперсности твердых частиц определяет показатель степени разложения. В естественном залегании торф обладает высоким влагосодержанием до 97%, повышенной пористостью до 96%, а также большим коэффициентом сжимаемости [77].

Сухая составляющая торфа представляет собой смесь растительных разложившихся остатков, продуктов разложения, потерявшего клеточную структуру, гумуса и минеральных веществ в виде золы после сгорания торфа [22, 23, 54]. Ботанический состав, содержание гумуса и зольность характеризуют вид торфа с исходной группировкой растительности и условия его образования [31].

Основными свойствами торфа принято считать:

1. влага торфа – массовая доля влаги в торфе;
2. условная влага торфа – значение влаги торфа, используемое для подсчетов его запасов, добычи и реализации;
3. влагосодержание торфа – отношение массы воды в торфе, к массе сухого торфа.

Ввиду своего богатого и сложного физико-химического состава торф представляет широкий интерес для различных отраслей: строительной, химической, агрокомплексу и сельскому хозяйству, машиностроению, энергетике и медицине. Схема торфоперерабатывающих технологий и получаемых основных продуктов переработки представлена на рисунке 1.1.

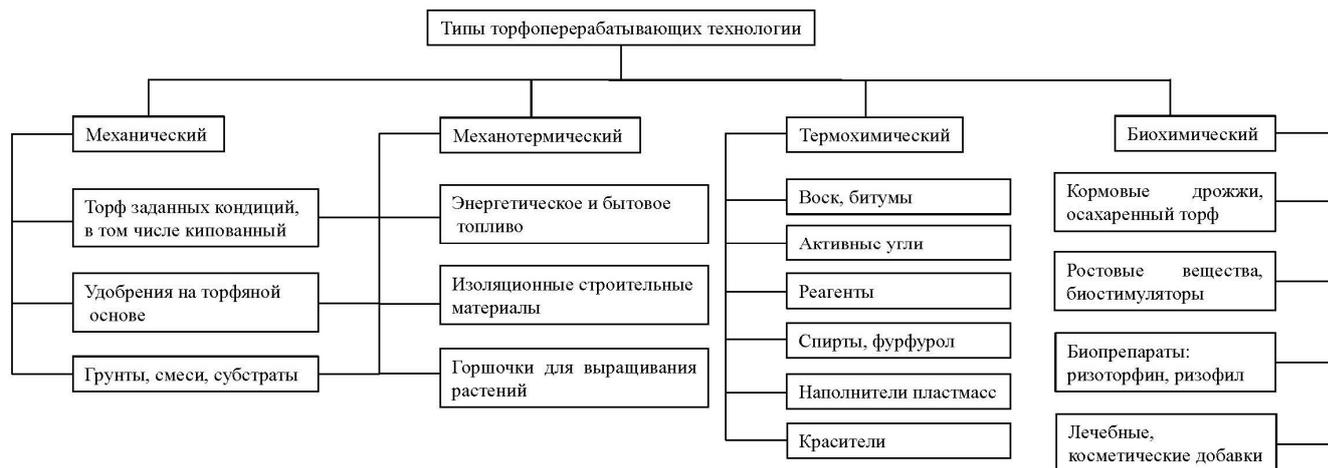


Рисунок 1.1 – Схема торфоперерабатывающих технологий и получаемых основных продуктов переработки

Учитывая опыт и разработки различных предприятий возможно применение малоразложившегося торфа для производства тканей и покрывного материала, строительных теплоизоляционных материалов. Верховой торф с пониженным содержанием золы является источником при производстве высококачественных активированных углей и торфяного кокса, применяемого в металлургии. Известно, что получаемые на основе торфа теплоизоляционные материалы широко применяются в промышленном и жилищном строительстве, например, в виде засыпного гранулированного материала при разработке дренажных систем, тепло- и звукоизоляционных торфоплит, а также в виде теплоизоляционных матов и «скорлуп» для газо- и водопроводов и других различных инженерных коммуникаций. Представить удобрения и сельское хозяйство без применения торфа сложно, из низинного хорошо разложившегося торфа получают широкий спектр удобрений, «подкормок» и добавок. В фармбизнесе и медицине на основе торфа разработаны природные биологически активные добавки и вещества, торф наряду с сапропелем активно используется в санаторно-курортном лечении. В нашей стране медициной разработаны биогенные стимуляторы для лечения заболеваний желчно-кишечного тракта, гастритов, язвенной болезни желудка, а также для обработки гнойных ран и конъюнктивитов.

Торф является альтернативным топливом для газовых и мазутных котельных. Технология перевода на местное топливо небольших котельных интенсивно развивается в странах и регионах, имеющих значительный потенциал торфяных болот. КПД современных малых котлов на местном топливе достигает 90% при этом потери тепла и затраты электроэнергии при транспортировке теплоносителя сводятся к минимуму [107].

Запасы торфа составляют  $68 \cdot 10^9$  т.у.т. и превышают энергетический потенциал Российских запасов газа и нефти вместе взятых (Рисунок 1.2). Торфяное сырье является перспективным источником тепловой и электрической энергии, он дешевле каменного угля и

жидкого топлива. Россия обладает крупнейшими в мире запасами торфа, причем на ее долю приходится 47% от всех мировых запасов торфяного сырья [76, 103].



Рисунок 1.2 – Распределение энергетических ресурсов Российской Федерации, %

Добыча, производство и переработка торфяного сырья относятся к сложным физико-химическим и технологическим процессам, базирующихся на научных основах физико-химической механики дисперсных материалов [107, 111]. Торфяная пульпа – один из промежуточных продуктов добычи торфа представляет собой смесь воды, коллоидального гумуса, растительных остатков различных размеров и формы, минеральных частиц и может быть представлена как грубо дисперсная система [103].

## 1.2 Способы и технологии добычи торфяного сырья

Технологический процесс добычи торфа и производства торфяного топлива – процесс сложный и многооперационный. В научной литературе упоминают множество способов добычи торфа: фрезерный, гидравлический, багерный, скреперно-элеваторный, элеваторный, резной, фрез-формовочный, кусковой и другие [24].

Для резного способа характерно сохранение структуры торфа при его извлечении. Фрез-формовочный способ представляет собой комплекс различных комбинаций технологий добычи торфа, при которых сохраняется важная особенность – формирование торфяного сырья. Скреперно-элеваторный способ не получил широкого признания, а предложенный горным инженером Понкратовым И.С. багерный способ извлечения торфа на всю глубину залегания широко применялся только до семидесятых годов двадцатого столетия.

Выемочно-транспортный комплекс состоит из многоковшового экскаватора МКТ-14 и стилочной машины МКТ-13. Первый осуществляет выемку торфа на всю мощность пласта (до 4.5 м) и, двигаясь вдоль откоса карьера, производит выемку полосы до 12,5 м, измельчение и

перемешивание торфяного сырья, после чего торфяная масса передается в бункер стилочной машины, для транспортировки, формования и выстилания в виде формованных кусков для сушки и последующей уборки. Наиболее эффективны подобные комплексы на залежах без пней и крупных включений низинного типа со степенью разложения свыше 15%. При появлении эффективных гидравлических одноковшовых экскаваторов их широко применяют для добычи как кускового торфа в паре со стилочными машинами, так и с другими транспортными средствами для перемещения добытого комковатого торфяного сырья для дальнейшей переработки [6, 21].

В настоящее время основным способом добычи торфа остается фрезерный способ, при котором производится фрезерование залежи и сбор верхнего слоя в виде подсушенной торфяной крошки толщиной до трех сантиметров со следующим порядком выполняемых технологических операций: сушки, ворошения, волкования и сбора фрезерной крошки. От выбора используемой машины, применяемой при уборке торфа, то есть перемещения торфа с поверхности залежи, зависит способ производства фрезерного торфа, так он может быть: пневматический, бункерный или перевалочный. Отдельно можно выделить технологию добычи торфа с отдельной уборкой из наращиваемых валков или другие технологические схемы производства торфа в виде крошки. Очевидно, что при рыхлении поверхности торфяной залежи культиваторами, плугами и прочим пассивным рабочим органом, добытый торф нельзя отнести к фрезерному. Так группой авторов во главе с Гамаюновым Н.И. [24] было предложено множество технологических схем с использованием сельскохозяйственного оборудования для рыхления торфяной залежи пассивными рабочими органами [90, 90].

Производство фрезерного торфа определяется по схеме складирования готовой топливной продукции, то есть укладкой в штабели:

- перпендикулярно картовым каналам;
- параллельно картовым каналам;
- использование специально подготовленных площадок, обычно находящихся рядом с постоянными дорогами для удобства складирования, с вывозом торфа на протяжении всего года, вне зависимости от сезона.

Так полный технологический цикл работ производства фрезерного торфа представляет собой законченный комплекс следующих операций: фрезерование торфяного месторождения, сушка, уборка готовой продукции [32, 86].

Технологической схемой добычи торфа с использованием бункерных машин с механическим принципом для сбора торфа предусматривается следующий комплекс работ (рисунок 1.3): разрушение верхнего поверхностного слоя торфяной залежи с целью получения фрезерной крошки заданного размера, уборка торфа по средством скрепера с ковшовым

элеватором в бункер во время движения вдоль вала, сбор торфа из предварительно собранных на расстоянии до 4,5 метров друг от друга валков, расположенных вдоль картовых каналов или с полевого расстила поверхности залежи. После проведения описанных работ торф транспортируется к штабелю и выгружается навалом высотой до 1-1,2 м, где позже штабелирующей машиной распределяется по поверхности ровным слоем в готовые складочные единицы.

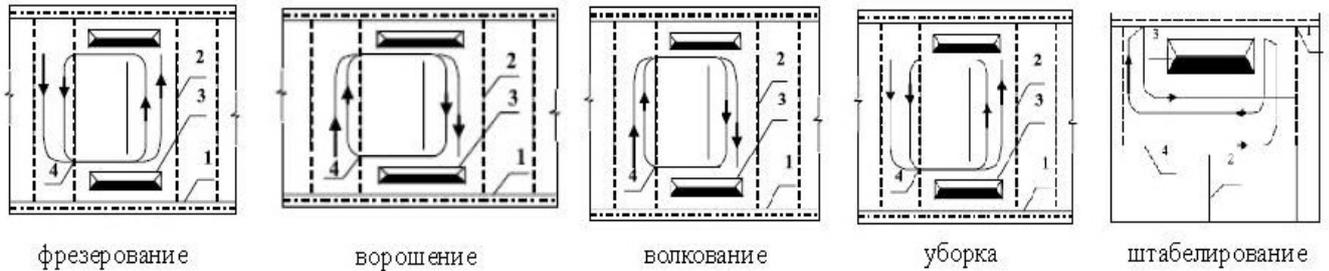


Рисунок 1.3 – Технологическая схема производства фрезерного торфа [32],  
1 – валовой канал; 2 – картовый канал; 3 – штабель торфа; 4 – рабочий проход

Фрезерование торфяной залежи с целью создания расстила фрезерного торфа разрушением и разрыхлением верхнего тонкого слоя в мелкую крошку производится типичными фрезерными барабанами МТФ-11, МТФ-12, МТФ-13, МТФ-14, работающими в прицепе с тракторами болотной модификации, например, ДТ-75Б. Ворошение фрезерного торфа производится после высыхания поверхности слоя расстила на толщину 5-8 мм, применяются ворошилки различных марок: ВФ-19, ВФ-9,5, МТФ-22 и МТФ-21 с целью интенсификации процесса сушки. Для увеличения производительности уборочных машин и создания благоприятных условий их работы производится валкование высушенного фрезерного торфа, для этого применяются валкователи МТФ-31 или МТФ-33Б, которые собирают торф с расстила в валики на расстояние между ними на 3,0-4,75 метров. Далее производится сбор сухого торфа из вала или карты с транспортированием его к штабелю, другими словами, к месту разгрузки и складирования. Для уборки используются бункерные уборочные машины МТФ-41 и МТФ-43А. Для длительного хранения торфа производится формирование штабеля специальными штабелирующими машинами МТФ-71, МТФ-72, ОФ-8 и ШФ-1, которые перемещают торф из навалов в складочные единицы с высотой до восьми метров.

Технологическая схема добычи торфа бункерными машинами с пневматическим принципом сбора может осуществляться с использованием двух типов пневматических торфоуборочных машин: бункерный пневматический комбайн или пневматическая уборочная машина.

Бункерный пневматический комбайн – самоходная машина, которая состоит из рабочего органа – пневматической установки, рамы со смонтированным бункером и разгрузочным

устройством на гусеничном ходу, фрезерного барабана прицепного типа и трансмиссии с двигателем. Пневматическая установка может быть выполнена по всасывающей и включающей схемам, которая представляет собой: всасывающие сопла (4 шт.), соединяющимися с трубопроводами, циклонами (2 шт.) и центробежным вентилятором. Соплами прямоугольного сечения, установленными впереди, осуществляется засасывание торфа. Для защиты входной щели всасывающего сопла от попадания древесных включений и последующего засорения, на нижний лист сопла устанавливается специальная защитная гребенка. Для исключения проблемы накапливания комков торфа переднего сопла применяются катки, с помощью которых регулируется расстояние между расстилом и входной щелью сопла, что обеспечивает возможность уборки сыпучего сухого торфа. Трубопроводы присоединяют сопла к двум вертикальным циклонам. Скорость всасывания и поступательная скорость комбайна определяет количество торфа, собираемого из расстила. Фрезерная крошка поднимается к входной щели движущегося по расстилу сопла за счет наружного воздуха, вовлекаемым работой вентилятора. Такая смесь воздуха с сухим торфом после сопла подается в трубопровод, далее попадает в торфоотделитель, где смесь принимает винтовое движение. В свою очередь, торфоотделитель представляет собой систему циклонов, установленных на бункере, где под действием центробежной силы частицы торфа прижимаются к стенкам и оседают в бункере. Таким образом в торфоотделителе осаждаются до 98% торфа, поступившего в циклон. Нижний пояс бункера совмещается в себе функции ленточного конвейера, у которого верхняя ветвь проложена по дну бункера, а нижняя ветвь под бункером, под средством роликов. Так за счёт большой скорости поступления и дополнительного уплотнения в процессе движения комбайна плотность торфа в бункере увеличивается на 18-20%. Известны 2 типа наиболее используемых бункерных пневматических комбайнов с фрезерующим устройством: БПФ-3М и БПФ-4,8. Перечисленными горными машинами выполняются две операции: фрезерование поверхностного слоя залежи и уборка высушенного торфа пневматическим способом.

Пневмоуборочной машиной называется устройство, прицепленное к трактору, предназначенное для уборки торфа. Такая машина в отличие от комбайна имеет два всасывающих сопла и один вертикальный циклон. Пневмоуборочные машины производительностью 1,9-2,3 га/ч оснащены бункерами с объемом 14-15 м<sup>3</sup> с рабочей шириной захвата до трех метров. Такую пневмоуборочную машину также возможно использовать для уборки фрезерного торфа, для этого применяются сопла с размером входной щели 50 мм для эффективной сборки топливного сырья. Для уборки торфа с пониженной влажностью с поверхности каждого валка убирают по одному бункеру торфа со всей закрепленной площади, одновременно совершая рыхление откосов валка, после проделанной операции машина возвращается к первоначальному валку, и уборка продолжается [32, 86]. При небольших

объемах торфяной подстилки для уборки возможно использовать пневматические уборочные машины типа ППФ-3, ППФ-5 и ППФ-6, выполненных в прицепном к трактору исполнении. Для сбора торфяной крошки используется прицепная пневматическая уборочная машина МПТУ-30, выпускаемая белорусским заводом «Энергоремонт». Для работы на пересеченной местности используется пневмоуборочный комбайн ЛК-40DF, отличающейся от вышеперечисленных машин своей конструкцией, а именно двухступенчатой системой очистки торфовоздушной смеси, тем самым минимизируются выбросы торфяной пыли в атмосферу [32].

Вторая технологическая схема добычи торфа с отдельной уборкой из наращиваемых валков предполагает формирование промежуточных складочных единиц готовой продукции в виде укрупненных от трех до пяти валков в середине карты, работа по этой технологической схеме делится на 2 части: фрезерование, сушка и валкование составляют первую часть рабочего процесса, вторая часть включает погрузку из укрупненного валка, его транспорт к штабелю [86].

Фрезерование может осуществляться фрезер-валкователем МТФ-96 с навесом на трактор ДТ-75Б. Ворошение ворошилкой ВФС-1, данный тип ворошилки является полунавесным к колесному трактору МТЗ-82, который в свою очередь оснащается дополнительными задними колесами для обеспечения необходимой проходимости [86].

Бульдозером-штабелером марки БШР-1 производится штабелирование складочных единиц из навала торфа, перемещением с места выгрузки. Конструкция бульдозера-штабелера обеспечивает укладку в штабель высотой до 12 метров [46, 86].

Расположение штабелей определяется дальностью вывозки торфа к штабелю и возможностью обеспечить круглогодичную вывозку торфа потребителю, размеры штабелей увеличиваются в 10-20 раз. Известны следующие варианты складирования торфа: в штабели, располагаемые параллельно валовым каналам, с односторонней разгрузкой торфа (нижнее изображение на рисунке 1.4, а); в штабели, располагаемые у магистральных путей узкой колеи (рисунок 1.4, б); в большие штабели, формируемые на суходолах для вывозки торфа потребителю автотракторным парком по грунтовым дорогам (рисунок 1.4, в) [32, 46, 86].

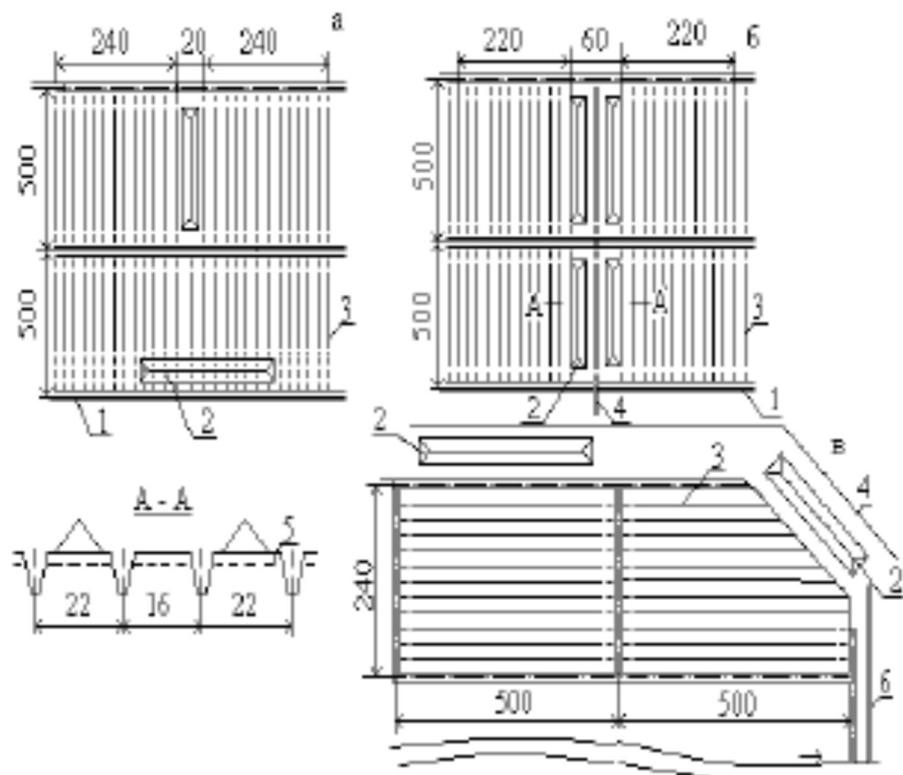


Рисунок 1.4 – Схемы технологических площадок на верховом типе залежи при отдельной уборке торфа [86]: 1 – валовый канал; 2 – штабель фрезерного торфа; 3 – картовый канал; 4 – постоянная дорога; 5 – щелевая дрена; 6 – нагорный канал

Для рационального выбора технологической схемы работы необходимо определиться с размерами месторождения, конфигурацией залежи и назначением готовой продукции.

Согласно ГОСТ 21123-85, фрезформовочный способ добычи кускового торфа позволяет совместить выемку торфа, его переработку, формование и выстилку с последующей полевой сушкой и уборкой. При таком способе добычи кускового торфа шнековой (винтовой) или дисковой фрезой производится разработка залежи на глубину до 0,08 м, при которой образованная фрезерная крошка подается на переработку в шнековый пресс фрезформовочного комбайна, где формируется в куски. Поэтому данный способ добычи отнесен в группу способов производства торфяной продукции, использующих крошкообразный торф, несмотря на то что конечной продукцией данного технологического процесса производства является кусковое топливо. После естественной сушки торф укладывается в штабели по краям карты. Фрезформовочный способ используется для разработки залежей торфа влажностью 77-84% верхового типа, со степенью разложения более 15%

Комковатым торфяным сырьем принято считать торф после экскавации, наиболее распространена технологическая схема с применением одноковшового экскаватора или бульдозера, осуществляющим срез слоя с поверхности торфяной залежи ножом. Зарубежные компании практикуют использование багерных конструкции [23, 24].

Процесс механического рыхления представляет собой послойное отделение торфа от горного массива с одновременным разрушением породы, основным органом, осуществляющим данный процесс принято считать специальное оборудование – рыхлитель. [23]

При гидромеханическом способе добычи (рисунок 1.5) разрушение породного массива и транспортировка торфяной массы производится водным потоком. При разработке на суше применяют гидромониторные установки, а при подводной разработке. – земснаряды. Гидромониторная установка состоит из гидромониторов, присоединенных к магистральному трубопроводу, по которому из насосной станции подают воду. Гидромонитор представляет собой стальной ствол, колена которого позволяют поворачивать его в вертикальной и горизонтальной плоскостях под большим углом в направлении нужной точки забоя.

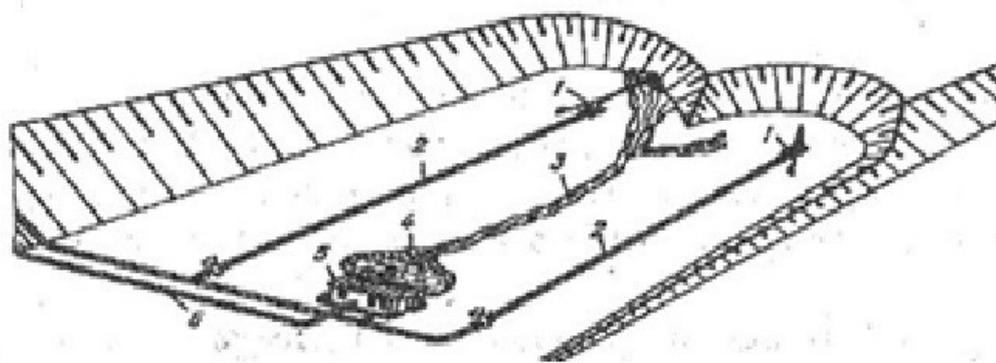


Рисунок 1.5 – Схема гидромеханизации работ гидромонитором встречными забоями [110], где 1 – гидромонитор, 2 – водовод плавучей насосной установки, 3 – поток гидросмеси, 4 – зумпф, 5 – грунтонасосная установка, 6 – грунтопровод.

Порядок технологических операций при работе гидромонитора: прием смены; подрезка, обрушение и размыв; гидротранспортирование к пульпосточным канавам; управление движущимся потоком с максимальной его загрузкой; регулирование консистенции торфомассы; обеспечение необходимого уклона для самотечного гидротранспортирования в зумпф; смена насадок с закрытием задвижек в трубопроводах; пуск и остановка гидромонитора; техническое обслуживание гидромониторов.

Широкое распространение получил гидравлический способ добычи торфа – «гидроторф». При этом способе струя гидромонитора размывала торфяную залежь, превращая торф в торфомассу высокой влажности, способную двигаться по системе трубопроводов на поля сушки, расположенные чаще всего за пределами торфяного месторождения. Торфомасса извлекалась из карьера с помощью торфососа. Пни, подплывающие к торфососу, собирались вручную или с помощью грейфера. Слой торфомассы высыхал и в дальнейшем разрезался на куски вручную или с помощью специальных гусениц трактора. Также вместо торфососов применяют элеваторные (гидроэлеваторный способ) или скреперные (гидроскреперный способ) установки, которые вычерпывают гидромассу из забоя и передают ее для переработки и

перекачки на поля сушки [24].

Другим гидромеханизированным способом добычи торфа является способ извлечения торфяного сырья из обводненных месторождений с помощью земснаряда, который оснащается специальным устройством – фрезерно-шнековым рыхлителем [23]. В процессе разрушения с помощью рыхлителя отфрезерованная торфяная массы перемачивается с водой, образуя торфяную пульпу, далее транспортируемая по трубопроводу в цех по производству торфяного топлива [24, 33, 40].

Технология добычи торфа гидромеханизированным способом предполагает комплексное использование средств гидромеханизации на каждой технологической операции с учетом структурно-механических свойств торфа-сырца.

При проектировании разработки торфяного месторождения учитывается тип водного питания болота. Существует две технологические схемы подготовки производственных площадей, учитывающие характер древесной растительности, качество верхнего слоя торфяной залежи, а также способов освобождения участков от живорастущей древесины и древесных включений в верхнем слое залежи [103]. Наглядное изображение технологии гидромеханизированной добычи и виды технологических работ представлены на рисунке 1.6, где  $H_{р.з.}$  – глубина разработки земснарядом;  $H_{в.э.}$  – мощность вскрышных пород, подлежащих разработке вскрышным экскаватором (ниже уровня горизонта воды на мощность корневой системы до 1 м);  $H_T$  – мощность торфа;  $H_c$  – мощность погребенных сапропелей [103].

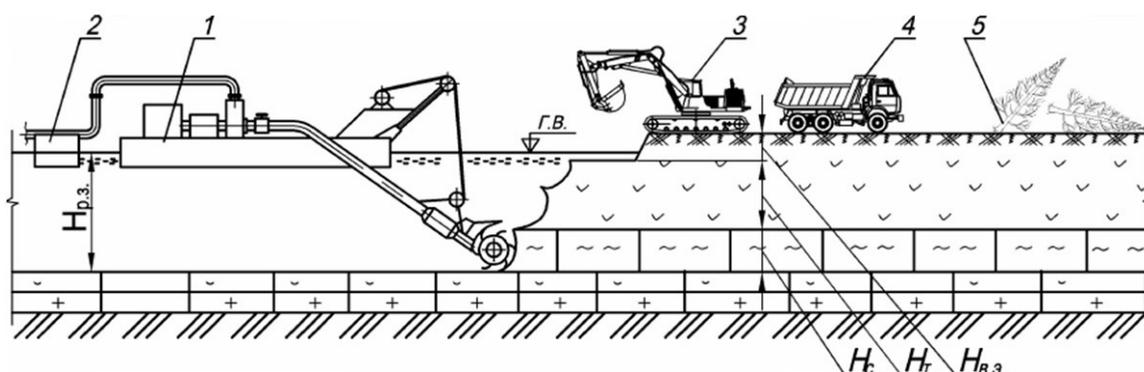


Рисунок 1.6 – Технологический разрез торфо-сапропелевого месторождения и виды технологических работ [103]: 1 – землесосный снаряд фрезерно-шнекового типа; 2 – плавучий пульпопровод; 3 – вскрышной экскаватор типа обратная лопата; 4 – транспортное средство для перемещения вскрышных пород; 5 – участок проведения подготовительных работ (лесосводка, строительство временных проездов, осушительные работы).

Первая технологическая схема добычи торфа предусматривает подготовку участка торфяного месторождения с залежью лесного и лесотопяного подтипов влажностью 87-91 %, пнистостью 2-3 %, сопротивлением сдвигу 10-15 кПа, покрытой древесными, древесно-травянистыми и древесно-моховыми растительными фитоценозами. Вторая технологическая схема рассчитана на залежи топяного подтипа влажностью более 91 %, пнистостью до 1 %, с

сопротивлением сдвигу 5-10 кПа, покрытой травяными, травяно-моховыми и моховыми растительными фитоценозами [103]. На этапе предварительного осушения создаются условия для прокладки сети эксплуатационного осушения и развертывания работ по подготовке производственных площадей (рисунок 1.7), далее все элементы осушительной сети доводятся до проектных размеров и создаются нормальные условия для производства торфа [103, 115].

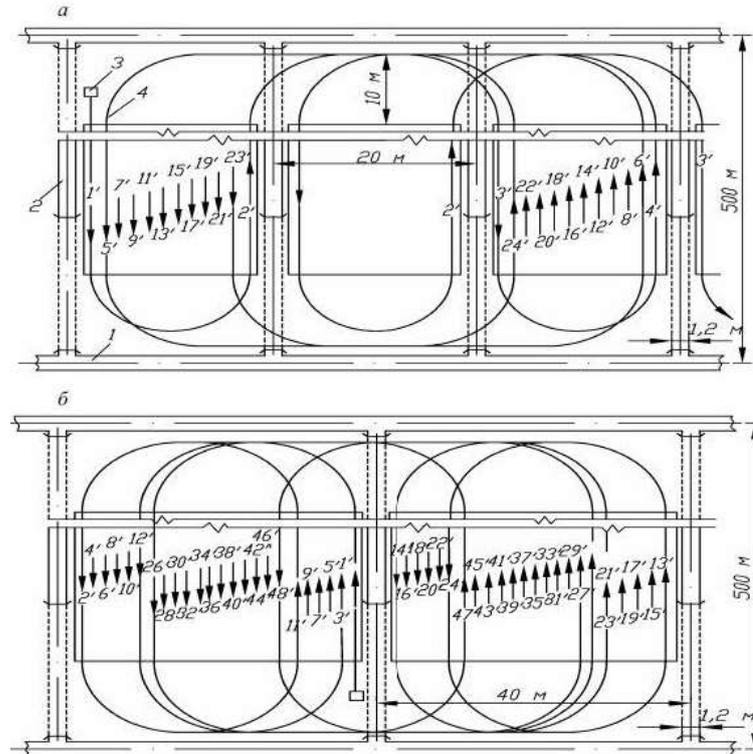


Рисунок 1.7 – Схема работы машин МТП-41, МТП-42, МТП-24А [86, 103]  
 а – на картах шириной 20 м; б – на картах шириной 40 м; 1 – валовый канал; 2 – картавая канава; 3 – машина; 4 – рабочие проходы в порядке очередности их использования

Для разработки залежи с использованием земснарядов и корректного выполнения работ разрабатываются технологические карты, в которых предусмотрен весь комплекс проведения работ, а именно: добычи, транспортировки, переработки для получения товарной продукции, с последующим фасованием и складированием, погрузочно-разгрузочных работ и последующей доставкой конечному потребителю (рисунок 1.8).

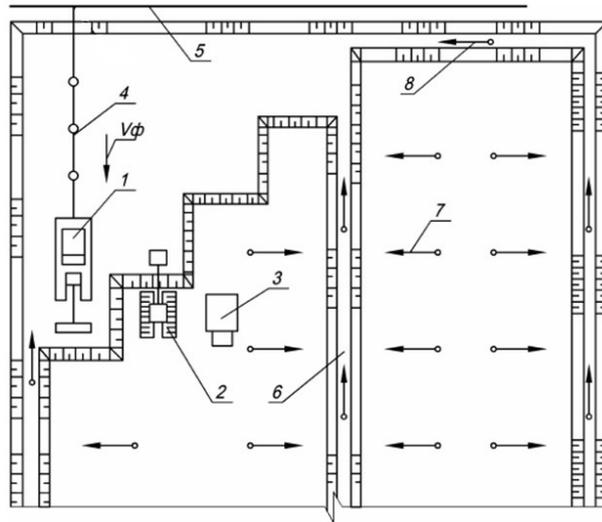


Рисунок 1.8 – Технология ведения добычных работ при разработке торфо-сапропелевого месторождения [103]: 1 – земснаряд; 2 – вскрышной экскаватор; 3 – транспортное средство; 4 – плавающий пульповод; 5 – магистральный пульповод; 6 – водоотводная канава; 7, 8 – направление движения грунтовых и поверхностных вод;  $V\phi$  – направление фронта ведения добычных работ

Для сплошной системы разработки торфяного месторождения [103] характерна следующая схема работ (рисунок 1.9).

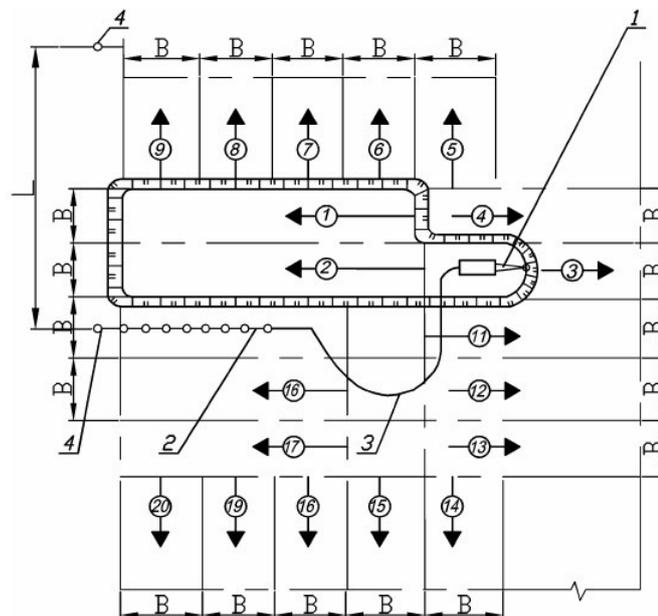


Рисунок 1.9 – Схема сплошной системы разработки карьерного поля [103]  
1 – землесосный снаряд; 2 – магистральный пульповод; 3 – плавающий пульповод; 4 – береговое подключение плавающего пульповода; 1-20 – последовательность проведения добычных работ при сплошной системе разработки; В – ширина заходки землесосного снаряда; L – длина фронта работ

При данной схеме работ разработка карьера производится путем последовательной выработки отдельных проходок шириной не менее 30 м по урезу воды и глубиной разработки от горизонта воды до 6 м – при работе с фрезерно-шнековым рыхлителем и до 10 м при работе

со свободным всасом. При этом минимальная глубина разработки от горизонта воды составляет 2,5 м [103].

Современным видом гидромеханизированной добычи торфа является метод скважинной гидродобычи торфа, при реализации которого разрушение залежи происходит с помощью гидроразмыва торфяной залежи действием на нее струи воды под высоким давлением с одновременным засасыванием получаемой торфяной пульпы и дальнейшим транспортирование ее по пульпопроводам на участок переработки торфа [24].

Отличительной общей чертой перечисленных способов добычи с использованием средств гидромеханизации является: получение торфяной пульпы или другими словами – гидроторфомассы и дальнейшее ее транспортирование по трубопроводам к месту дальнейшей переработки [134, 135].

Все существующие способы добычи торфа по степени механизации и промышленному значению делятся на 3 группы:

1. Наиболее механизированные: фрезерный, багерный, гидравлический.
2. Механизированные: скреперно-элеваторный; гидроэлеваторный.
3. Ручные: элеваторный; резной [24, 37].

Отличием каждого перечисленного выше способа добычи торфа принято считать: комплекс используемого технологического оборудования, последовательность выполнения технологических операций, а также систему экономических показателей и комплексное использование экономических ресурсов, то есть технико-экономические показатели [3, 46].

В статье [24] авторами предлагается способы добычи торфа классифицировать по следующим признакам:

- 1) по форме, добываемой торфопродукции – торфяная крошка или торфяной кусок;
- 2) по направлению торфодобычи – послойно-поверхностное или карьерно-глубинное;
- 3) по виду переработки торфопродукции.

Учитывая особенности механизации и состав технологий, способы добычи торфа подразделяют на несколько групп [46]

1. Резной: ручной послойный и карьерный; машинорезной; элеваторный.
2. Машино-формовочный: элеваторный формованный; экскаваторный многоковшовый (багерный); экскаваторный одноковшовый; скреперно-элеваторный.
3. Гидравлический: гидроскреперный; гидроэлеваторный; гидравлический.
4. Фрезерный: селективный; фрезформовочный; фрезерный (механический, пневматический, раздельный); бульдозерный [24].

Несмотря на то, что представленная классификация объединяет все самые распространенные способы добычи торфа, автором [24] отмечается, что несмотря на то, что

четвертая группа в классификации отведена фрезерному способу добычи, данный способ относится к послойно-поверхностным при реализации этого способа добыча торфа осуществляется с поверхности тонкими слоями за короткие циклы, а конечная продукция, получаемая по этому способу – фрезерный торф. При этом работники производства не согласятся с тем, что, снимая верхний слой залежи бульдозером с отвалом, мы сможем получить крошку фрезерного торфа. Помимо описанного выше при фрезформовочном способе извлечение массы торфа идет не с поверхности, а из слоя залежи 40 см. Также по данной классификации не предусмотрен гидروفрезерный способ добычи торфа, который успешно используется для добычи сапропеля и способ скважинной гидродобычи торфа один из перспективных способов с высокими показателями экологической безопасности, который совмещает в себе гидравлический и селективный способы добычи [23, 24].

Процесс добычи полезных ископаемых заключается в разработке месторождений полезных ископаемых. При разработке месторождений производится выемка полезного ископаемого и транспортировка его к местам дальнейшей переработки или полезного использования, исходя из описанного под способом добычи торфа будем понимать методы перевода торфа, находящегося в залежи, в подвижное состояние выемочно-погрузочным оборудованием. Поэтому многие способы добычи торфа, упомянутые выше, названы по основному устройству, нарушающему целостность залежи и осуществляющему выемочно-погрузочные действия: специальной лопатой-резаком – резной; струей воды высокого давления – гидравлический; экскаватором – экскаваторным; многоковшовым экскаватором (багером) – багерный способ [24].

Другими словами, многие способы добычи торфа, нужно рассматривать не как способ добычи, а способ производства торфяной продукции. Обобщая информацию и опыт технологии добычи торфа будем использовать классификацию, предложенную [24, 108], в которой в качестве классифицирующего признака способов производства торфяной продукции в полевых условиях принят вид добываемого торфа-сырца, получаемого при деструкции залежи различными способами [24] (рисунок 1.10), основанными на:

- экскавации;
- гидромеханизации;
- механическом рыхлении [23, 24].

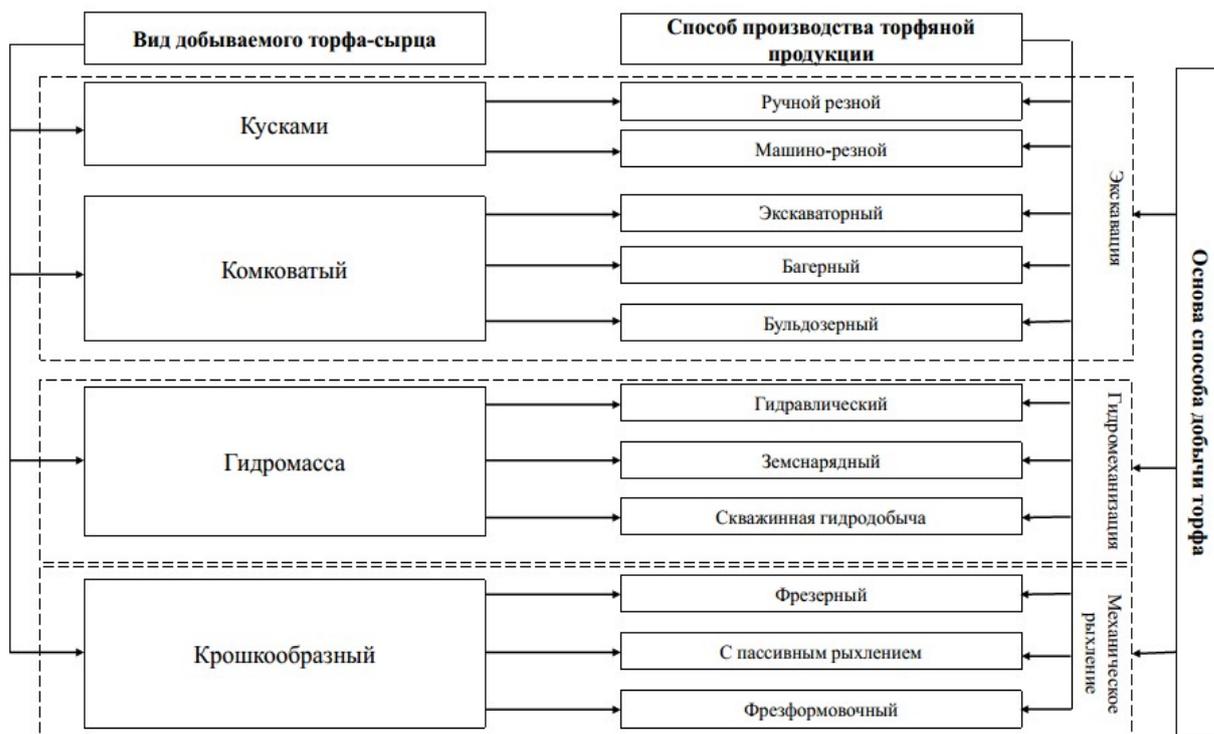


Рисунок 1.10 – Систематизация способов производства торфяной продукции и технологий добычи торфа

Таким образом, учитывая описанные выше классификации описания современных способов добычи торфа можно выделить три метода извлечения торфа из залежи: экскавация, гидромеханизация, механическое рыхление. Получить торф-сырец можно в различных вариациях: кусков или комков, гидромассы, крошки, из которых в дальнейшем получают готовую товарную торфяную продукцию либо в полевых, либо в заводских условиях. В связи с вышесказанным вместо традиционно используемых названий разнообразных «способов добычи» торфа следует применять термин «способы производства» торфяной продукции [24].

### 1.3 Горные машины добычи сырья из обводненных месторождений

Дражная разработка обводненных месторождений проводится с использованием специализированных горных машин непрерывного действия – драг, в объединенной конструкции которых используются агрегаты и механизмы для добычи горной массы из-под воды, промывки и отвалообразования. По принципу действия добычного аппарата драги делятся на черпающие-одночерпаковые (с ковшом типа механической лопаты, с грейферным ковшом, с ковшом драглайна); многочерпаковые (с прерывистой черпаковой цепью, со сплошной черпаковой цепью); гидро и пневмовсасывающие – землесосные с механическим или гидравлическим разрыхлителем; с эжекторной или эрлифтной установкой; землесосные с погружным насосом [103].

Для добычи конструктивные типы драг представлены на рисунке 1.11.

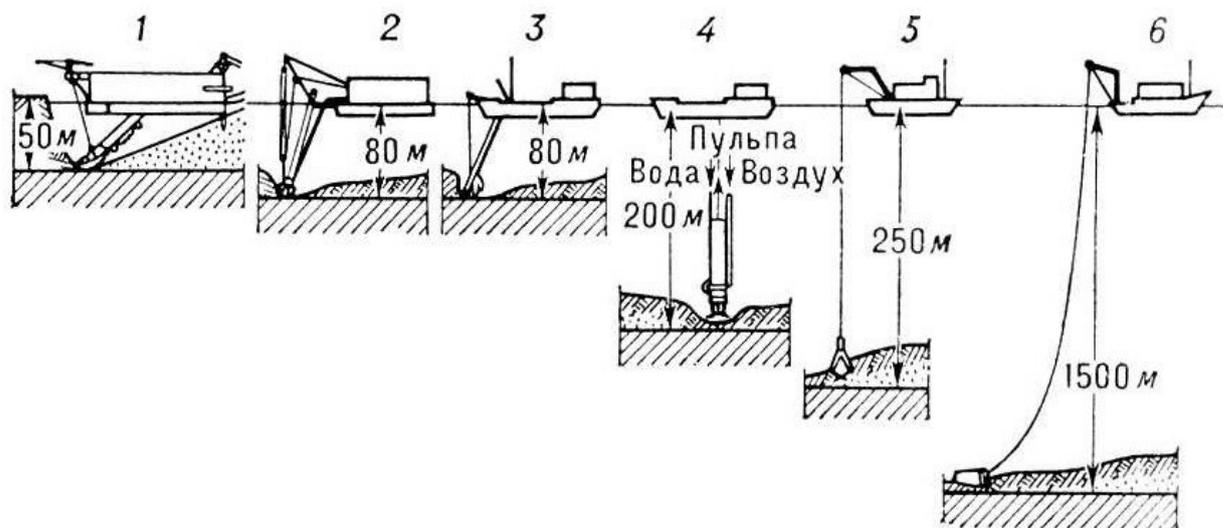


Рисунок 1.11 – Конструктивные типы драг [109]: 1 – многочерпаковая; 2 – землесосная с механическим разрыхлителем; 3 – землесосная с гидравлическим разрыхлителем; 4 – эрлифтная; 5 – грейферная; 6 – драглайновая

Драги состоят из судна (понтон), на котором размещены добычное, маневровое, промывочно-обогащительное и транспортно-отвальное оборудование, надпалубная надстройка и грузоподъемные механизмы [58].

В условиях, где затруднено или невозможно передвижение машин с колёсным и гусеничным движителями, при температуре окружающего воздуха от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  и толщине мёрзлого грунта не более 0,05 м возможно применение болотохода серии БМШ, такой болотоход оснащённый фрезой для рекультивации земель. Использование принципа понтонного хода позволяет не только действовать в условиях, непроходимых для гусеничной техники, но и соблюдать экологические требования сохранения структуры болотных почв, не нарушая при передвижении верхних слоёв грунта [46]. Болотоход оснащен высокопроизводительной однороторная фрезой с шириной захвата 1800 мм при глубине фрезерования до 350 мм (рисунок 1.12) [46].



Рисунок 1.12 – Рабочее положение малогабаритного шагающего болотохода серии БМШ [46]

Для проведения мелеаративных работ и работ на заболоченных территориях широко применяются экскаваторы с удлиненной стрелой и специальными широкими гусеницами (рисунок 1.13) [27]



Рисунок 1.13. Пример экскаватора с удлиненной стрелой и специальными широкими гусеницами [27]

Учитывая условия расположения месторождений торфа, труднодоступность районов залегания и усложненную проходимость для транспорта и техники характерную черту обводненных месторождений отличительными особенностями применяемых машин должны быть плавучесть, самоходность и универсальность [7].

Гидромеханизованную добычу торфяного сырья принято считать сложной и многооперационной, так как такой способ добычи предполагает использование в технологическом процессе средств гидромеханизации и работу с торфом, в естественном состоянии которого 96% водной составляющей, что усложняет процесс добычи.

Технологические и физико-химические параметры гидромеханизованной технологии добычи торфа из обводнённых месторождений определяются используемыми плавагрегатами, работа которых направлена на изменение физико-механических характеристик торфа для последующей его переработки на основе поточной технологии в продукцию, обладающую высокими теплотворными свойствами [78, 103, 107].

Для добычи торфа на обводненных месторождениях используется современная спецтехника, а именно земснаряды – плавучая горная машина, укомплектованная определенным набором агрегатов, устройств и механизмов [99].

Земснаряд циклического действия включает: плавающую платформу, поворотную платформу с манипулятором с исполнительным органом в виде ковша (обычно закрывающимся) или иным устройством для выемки торфа из подводы. У плавающего добычного агрегата непрерывного действия вместо ковша на манипуляторе устанавливается исполнительный орган фрезерного типа: барабанный, шнековый или корончатый фрезер [64].

К средствам добычи из подводы относятся плавучие агрегаты, оснащенные многочерпаковой рамой, грейферным оборудованием и обратной лопатой (рисунок 1.14). Они способны черпать добываемое сырье из-под воды при помощи ковшей. Плавучие грейферы получили широкое распространение благодаря своей относительно простой конструкции. Штанговый (одноковшовый) земснаряд с обратной лопатой представляет собой экскаватор с обратной лопатой, установленный на понтоне или берегу, обычно агрегат оснащается удлиненным рабочим оборудованием и позволяет проводить работы с глубиной выемки до 15 м.

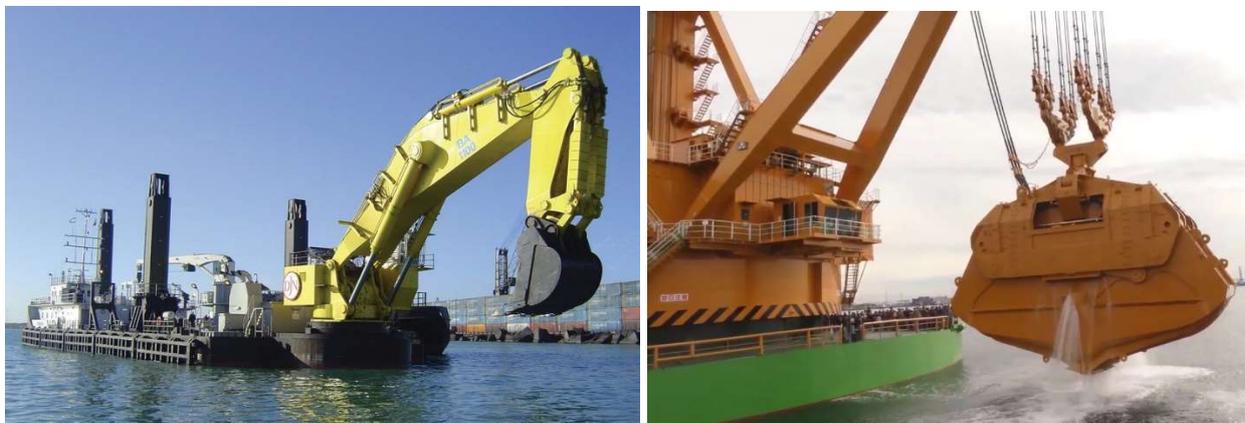


Рисунок 1.14 – Земснаряды механического типа [40]

В случаях, когда сухоройная техника не справляется с выполнении вскрышных работ, для выполнения подготовительных и вскрышных работ на обводнённом месторождении торфа [105] рекомендуется использовать многофункциональный земснаряд («Водяной», серии DRSP) (рисунок. 1.15), данный земснаряд своей комбинированной конструкцией позволяет заменить экскаватор и землесосный снаряд с универсальной проходимостью [46].



Рисунок 1.15 – Многофункциональный земснаряд серии DRSP [43]

Основная особенность многофункциональных земснарядов заключается в комбинации плавучего экскаватора с грунтовым насосом и фрезерным рыхлителем. Высокая мобильность на водных поверхностях в сочетании с плавучестью позволяют проводить добычные работы в самых труднодоступных локациях. Также земснаряд может быть так называемым «амфибийным земснарядом», то есть оснащен двумя гусеничными траками с возможностью работы на воде и на суше [42].

Земснаряд для добычи торфа представляет собой плавучую машину, оснащение которой позволяет произвести послойную разработку месторождения на всю его мощность, перемещаться в забое во всех направлениях, перемещать рабочий орган, в виде фрезерно-шнекового рыхлителя, с определенной скоростью, перемещать добытую гидроторфяную смесь по пульпопроводам на значительные расстояния.

ООО «Техразвитие» предлагает линейку земснарядов на базе земснаряда проекта ДГЗ-120 для подводной разработки торфяных и сапропелевых грунтов, добычи тора для производства топлива и вторичного использования (рисунок 1.16)

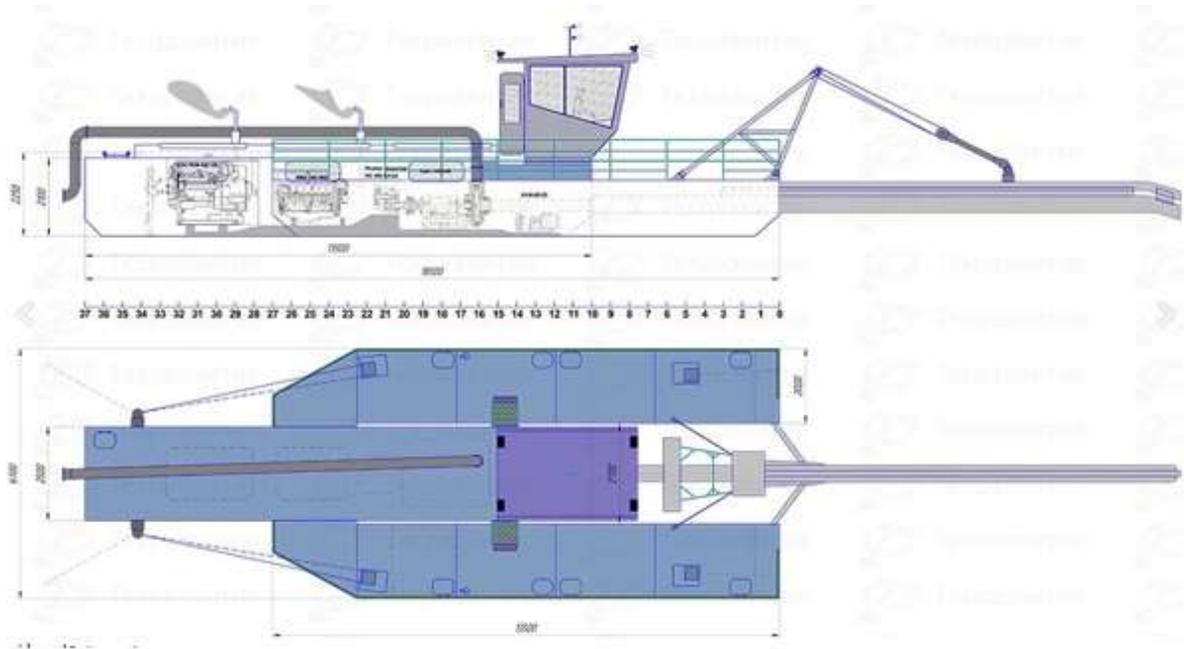


Рисунок 1.16 – Гидравлический земснаряд гидроАНТ1400/400 [44]

На рисунке 1.17 представлен подобный земснаряд CSD 450



Рисунок 1.17 – Земснаряд CSD 450 [41]

Добычные работы на обводненных месторождениях торфа с использованием земснаряда подразумевают оснащение его фрезерно-шнековым разрыхлителем прямого вращения, работающий по ходу движения снаряда. При этом землесосный снаряд должен работать с низкими окружными скоростями и большими подачами на фрезы, включать в свою конструкцию возможность перемещения, например, под средством папильонажных лебёдок и напорного свайного хода. Специальное грунтозаборное устройство, представленное на рисунке 1.18 [45] является основным рабочим органом земснаряда, именно оно разрушает массив,

отделяя от него торф, перемещает и подает во всасывающее устройство для дальнейшего транспортирования. Для гарантированной максимальной производительности добычных работ с использованием землесосного снаряда необходимо правильно подобрать скорость вращения шнеков шнеков и перемещения земснаряда в забое [45, 103].

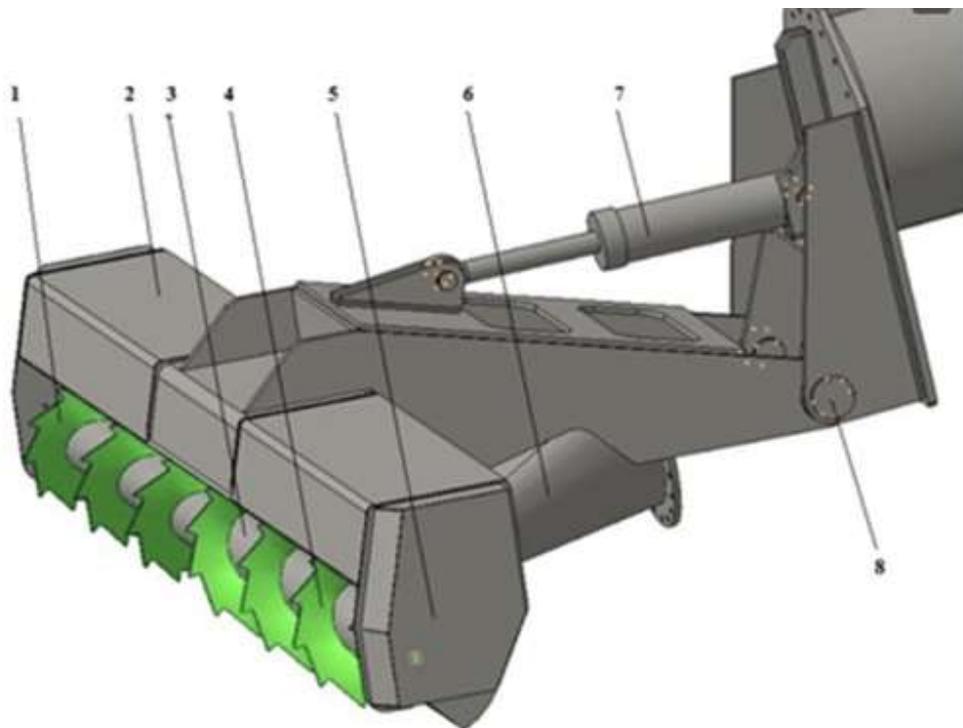


Рисунок 1.18 – Общий вид грунтозаборного устройства фрезерно-шнекового типа земснаряда гидроАНТ1400/400 [45]

1 – шнек левого вращения; 2 – защитный кожух; 3 – цельнометаллический вал; 4 – шнек правого вращения; 5 – боковые открылки; 6 – всасывающее устройство; 7 – гидроцилиндр изменения угла наклона; 8 – ось вращения.

Для переработки торфяной гидросмеси, а именно отделения неразрушенных органических включений в торфяном сырье технологической схемой предусмотрен инерционный грохот. После окончания процесса грохочения добытая торфяная пульпа подается в специальный вертикальный отстойник, который выполняет функции накопительной генерирующей емкости. В этом отстойнике торфяная пульпа начинает проходить процесс первичного обезвоживания, за счет осаждения твердых тяжелых частиц [105]. Технологический комплекс оснащается каскадным горизонтальным отстойником, который обеспечивает сбор торфяной массы, которая может всплывать из вертикального отстойника и при сливе фугата из горизонтальной центрифуги. Такой осевший торф впоследствии возвращается в накопительную емкость, а осветленная естественным путем технологическая вода возвращается по водосбросной системе в выработанное пространство торфяного карьера. Осевший же торф, накопленный в горизонтальном отстойнике собирается и подается снова в вертикальный отстойник в качестве активного ила и выполняет функцию флокулянта для ускорения процесса

осаждения торфа в вертикальном отстойнике. Из этого вертикального отстойника получаем на выходе торф с влагой до до 95%. В свою очередь вертикальные отстойники через распределительный насос соединяются по трубопроводу с горизонтальной центрифугой, вращающуюся со скоростью [107]. После горизонтальной центрифуги на выходе получаем торф с влагой до 70% и фугат, который подается в горизонтальный отстойник и после в вертикальный после своего осаждения [7, 9, 104].

#### **1.4 Фрезерная и гидромеханизированная технологии добычи торфяного сырья - недостатки и преимущества**

Разумный подход к расходованию природных ресурсов должен быть основой хозяйственной деятельности человека. Однако экологическая ситуация в Российской Федерации, характеризуется высоким уровнем антропогенного воздействия на природную среду и значительными экологическими последствиями уже осуществленной человеческой деятельности, одним из наиболее негативных по отношению к природе процессов, осуществляемых человеком, является добыча и использование энергетических ресурсов [120, 121].

Увеличение доли использования торфа в топливно-энергетическом комплексе нашей страны позволяет использовать местные виды топлива удаленных и труднодоступных районах, например, позволяет котельным небольших населенных пунктов и мини-ТЭЦ отказаться от привозных угля и мазута. Это способствует сокращению потери сырья, материалов, энергии, снижает транспортные издержки и трудозатраты, расширяет ассортимент продукции, развивает территории и способствует к созданию дополнительных рабочих места [32, 35].

Технологический процесс добычи торфа и производства торфяного топлива – процесс сложный и многооперационный для его осуществления существующий парк торфяных машин отличается разнообразием и имеет ряд особенностей.

Системный подход для решения задач производства торфяной продукции позволяет дать техническую оценку, обеспечить снижения на воздействие на окружающую среду, дать оценку экономической составляющей всех технологических процессов, учитывая все аспекты добычи и переработки торфа для получения продукта топливного назначения (рисунок 1.19) [32].

Экологические принципы разработки торфяных ресурсов проявляются через экологические функции значения, которых различны в зависимости от того, в каком состоянии находятся торфяники [29, 35].

Сжигание энергетических ресурсов напрямую приводит к выбросам вредных веществ в атмосферу и их движению с воздушными потоками на значительные расстояния. Автор [103] отмечает, что с точки зрения выбросов вредных веществ торфяное топливо занимает выгодное

положение в группе энергоносителей, таких как каменный уголь и мазут. Предельно допустимые концентрации по химическим показателям меняются от 0,085 (NO<sub>2</sub>) до 5 мг/м<sup>3</sup> (CO) с соответствующим классом опасности 2 и 4 [103]. Существенно меньшее загрязнение атмосферы выбросами серы, фосфора и тяжелых металлов, чем при сжигании угля и мазута. Использование торфа в качестве топлива позволяет сохранить лесные ресурсы за счет сокращения вырубki леса на топливо, разработка 1 га торфяного месторождения сохраняет от вырубki до 100 га леса.



Рисунок 1.19 – Принципиальная схема комплексного использованию ресурсов торфяных месторождений [32]

Что касается нанесения вреда природным ареалам при торфразработках, то он определяется уровнем осушительных мероприятий при подготовке торфяных болот к эксплуатации с изменением влагосодержания поверхности залежи с 89-95% до 78-89% [8] изменением их водно-теплового режима, физико-механических свойств торфа, которые ведут к нарушению водного баланса окружающих территорий, умеренному разложению органического вещества торфа, способствуют выносу продуктов распада дренажными стоками, повышению концентрации кальция и сульфатов в разы, а хлоридов в десятки раз. Среднегодовая минерализация почвенно-грунтовых вод может возрасти на 10-30 %. Изменяя условия развития флоры и фауны [103].

Процесс добычи фрезерного торфа сопровождается выбросом в атмосферу торфяной пыли под действием ветровой эрозии. Наибольшей эрозийностью обладают частицы диаметром 0,2-0,6 мм. Также кондиционный торф может попадать в атмосферу при транспортировке торфяного сырья встречными воздушными потоками. Таким образом в технологическом

процессе добычи торфа фрезерным способом происходит попутное загрязнение атмосферы и прилегающих массивов мелкодисперсными частицами, потери торфа от ветровой эрозии (дефляции) составляют более 25 т/га за сезон [103].

Несмотря на возможные выбросы торфяное сырье принято считать экологически безопасным сырьем. При использовании торфа вместо угля возможно снизить загрязнения атмосферного воздуха выбросами оксидами серы в 4-24 раза, при замене мазутов или горючих сланцев в 9 раз, а оценка выбросов твердых частиц показывает снижение в 36 раз в сравнении с горючими сланцами и до 19 раз по сравнению с углем. А остаточные, несгораемые частицы, то есть торфяную золу можно утилизировать как удобрение, при этом сжигание торфа не сопровождается образованием канцерогенного бензапирена. Выбросы оксида и диоксида углерода компенсируются их аккумуляцией торфяно-болотными экосистемами [107].

Другим источником загрязнения атмосферы являются торфяные пожары на осушенных территориях и поддержанию горения в нижних более влажных слоях залежи [132]. Уровень залегания грунтовых вод регулирует глубину прогорания торфяной залежи. Торфяные месторождения при их осушении утрачивают свойственные им в естественном состоянии функции аккумуляторов влаги и регуляторов поверхностного стока, что резко сказывается на водном и тепловом балансе района их размещения [59, 107].

Целесообразность освоения обводненных торфяных месторождений с использованием средств гидромеханизации подтверждается предсказуемостью экологических последствий техногенного воздействия на торфяное месторождение, окружающую среду, исключением пожароопасности, наряду с экономическими выгодами, глубиной выемки торфяной залежи, а также качественными характеристиками добытого торфяного сырья. Гидромеханизованная технология позволяет реализовать добычу торфяного сырья из обводненных месторождений с производством торфяной продукции энергетического назначения в едином непрерывном технологическом цикле. Водновоздушный и тепловой режимы разрабатываемого слоя залежи практически не изменяются [20, 106].

При гидромеханизованной разработке торфяного месторождения максимально снижается возможность торфа саморазогреваться. Обеспечивается возможность подводного сплошного фрезерования торфа землесосным снарядом с пнистостью до 2% [106]. По мере продвижения добычных работ в выработанном пространстве торфяной залежи образуется водоем, в котором в последствии наблюдается повышение кислорода в воде, изменение температурного режима, рельефа дна, рост количества биомассы и организмов, а также развитие биохимического воздействия, все это позволяет образовавшемуся водоему приобрести рыбохозяйственное значение. Образовавшийся водоем не требует проведения работ по его рекультивации, возможно лишь выполнение работ по образованию – выполаживанию берегов

водоема [106]. Через три года в таком водоеме возможно наблюдать сформировавшуюся саморегулируемую систему- биоценоз, экологическое развитие донных отложений и биотопов, карьер может выступать источником рыбной продукции, приобретая статус рыбохозяйственного водоема [103, 104].

Не смотря на, то что технологический процесс гидромеханизированной разработки обводненных месторождений торфа сложный и многооперационный, он позволяет минимально воздействовать на окружающую среду, максимально способствуя сохранению биогеосферных функции территорий залегания таких торфяных месторождений [124, 125]. Технология добычи с использованием средств гидромеханизации наряду с описанными возможностями и получением высококачественной торфяной продукции энергетического назначения позволяет способствовать аккумуляции воды и ее опреснения [103, 106].

В процессе механического воздействия земснарядом на торфяную залежь в естественных условиях его естественного состояния происходит диспергирование последнего, то есть дробление твердой фазы торфа и распределение массы по размерам частиц, фракционном разделении преимущественно удлиненной формы с коэффициентом удлинения равным 1,59-1,74 [116]. Период диспергирования первоначальной структуры торфа минимален и проходит в естественных условиях переувлажнения, доступность органического вещества к окислительно-деструктивным процессам в период добычи минимальная [106]. Разрушение структуры исходного сырья зависит от свойств торфа, величины давления на торф со стороны фрезерно-шнекового разрыхлителя, геометрии резца и скорости резания [105], давление при этом варьируется от 5 до 30 кПа, а угол внутреннего трения предельного состояния торфяной структуры при разрушении достигает до 40 градусов. В процессе перемешивания отфрезерованной торфяной массы с водой образуется торфяная пульпа, которая относится к вязкопластичным жидкостям, характер режима течения такой гидросмеси напрямую определяет характеристики насоса для перекачки пульпы по трубопроводам [24, 46, 105]. Технология не зависит от метеорологических условий сезона, а продолжительность добычного сезона может составлять до 10 месяцев в году. При этом операции механизированы на всех этапах технологического процесса и частично автоматизированы [20, 103, 106].

Применение комбинации земснаряда с установкой обезвоживания торфа (Патент № 2720341) (приложение Д), представляющий собой плавсредство с установкой понижения влагосодержания формуемого сырья при послойном механическом отжатии торфяной пульпы в поддонах с двойным дном, что позволяет отказаться от транспортировки 890 кг воды на каждую тонну перекачиваемой торфяной пульпы, значительно снизить протяженность пульпопроводов и отказаться от полей сушки пульпы [19]. Такая технология добычи торфяного сырья позволит устранить ряд недостатков традиционных способов добычи торфа, в

особенности, исключить операции по подготовке территорий к добыче торфяного сырья. Совокупность мероприятий по внедрению усовершенствованных геотехнологий на реальные месторождения позволит развить минерально-сырьевую базу, снизить техногенное воздействие на водные экосистемы, а также повысить развитие отечественных технологических машин и оборудования для добычи торфа [71].

### **1.5 Современные технологии обезвоживания торфа и торфяной пульпы, горное оборудование для их осуществления и оценка эффективности средств первичного обезвоживания торфяного сырья**

Внедрение новых, экологически сбалансированных ресурсосберегающих гидромеханизированных технологий разработки обводненных месторождений торфа на современном этапе развития науки и техники позволяет существенным образом изменить подходы к производству энергетического топлива на основе торфа [46].

Основной проблемой добычи торфяного сырья на обводненных месторождениях является снижение влаги добытого торфяного сырья [16, 31, 113].

Основным параметром выбора торфяной пульпы для экспериментальных исследований является его влага. Торф представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из сухого вещества, газов и влаги, которая может находиться в пяти видах: свободная, отделяемая под действием сил тяжести, капиллярная и коллоидная, удаляемая при высушивании торфа, внутриклеточная и химически связанная – гидратная [16]. Так как масса газообразной составляющей торфа мала, ее можно исключить из общего весового баланса составляющих торфа. Соотношение между твердыми частицами и торфяной влагой определяется по содержанию воды в торфе [11].

Оценка водосодержания в торфе возможна понятиями влага и влагосодержание [80].

Известно, что влага  $W$  – выраженное в процентах отношение массы воды  $m_b$  в торфе к его общей массе  $m$  (формула 1.1):

$$W = \frac{m_b}{m} 100 \quad (1.1)$$

Влагосодержание в свою очередь  $U$  – безразмерная величина, выражающая отношение массы воды к массе сухого вещества  $m_c$  (формула 1.2) [75]:

$$U = \frac{m_b}{m_c} \quad (1.2)$$

Влагосодержание по влажности определяется по формуле 1.3 [80].

$$W = \frac{\omega}{100 - \omega} \quad (1.3)$$

Теоретически влага может изменяться от 0 до 100%, а влагосодержание – от 0 до  $\infty$ . Естественная влага  $W_b$  – влага торфа в неосушенной залежи. Ее значения находятся в пределах 86-94%. В среднем для верховой залежи  $W_b = 92\%$ , низинной – 90%, следовательно, на каждый

килограмм сухого вещества торфа приходится 9-11,5 кг воды. Естественная влага зависит от типа и вида торфа, его степени разложения. Зная степень разложения, можно приблизительно рассчитать  $W_B$  по эмпирическим уравнениям (формула 1.4, 1.5) [80]:

для верхового торфа:

$$W_B = 96 - 0,1R \quad (1.4)$$

для низинного торфа:

$$W_B = 95 - 0,2R \quad (1.5)$$

где  $R$  – степень разложения торфа, %.

Так как залежь чаще всего слагается торфами разных видов, то влага ее по слоям меняется. В целом залежь характеризуется средневзвешенной величиной влаги.

Эксплуатационная влага  $W_э$  – влага торфа в разрабатываемом слое осушенной залежи, подготовленной к эксплуатации. Эксплуатационная влага зависит экскавации торфа, то есть от глубины разработки залежи, уровня грунтовых вод и степени разложения торфа. При этом глубина экскавации торфяной залежи определяется технологией добычи торфа. При проектировании технологии фрезерной добычи торфа эксплуатационная влага для первых двух лет эксплуатации принимается равной 78% для низинной залежи, верховой – 82%, а на третий и последующие годы – соответственно 75 и 79%. При экскаваторном способе добычи эксплуатационная влага принимается по нормативам в пределах 86-89% [80].

Условная влага  $W_y$  принята для планирования производства, а также учета готовой торфяной продукции и расчетов торфяных предприятия с потребителем готовой продукции (таблица 1.1) [80].

Таблица 1.1 – Условная влага различных видов топливной продукции

Вид продукции	Условная влага, %	Браковочный предел, %
Торф фрезерный:		
Топливный	40	52
Для брекитирования	40	50
Для удобрения и компостирования	55	60
Торф кусковой:	33	45
Брикеты	16	–
Торфяная подстилка		
категории I	40	45
категории II	45	50
Торфоизоляционные плиты	15	18

Натуральная влага  $W_n$  – фактическая влага торфа и готовой продукции. Этот показатель не постоянный и меняется под действием различных факторов [80].

Рабочая влага  $W_p$  характеризует содержание воды в торфе, используемом для различных целей. Рабочая влага – натуральная влага топливного торфа [80].

Кондиционная влага  $W_k$  – влага готовой продукции, не превышающая браковочного предела (таблица 1.1). Торф с кондиционной влагой называется товарным [80].

Объемная влага  $W_{об}$ , при использовании торфяных месторождений как сельскохозяйственных угодий для определения влагозапасов в пахотном слое удобно пользоваться объемной влагой. Введение нового понятия обусловлено тем, что торфяная залежь по глубине имеет разную плотность и пользоваться весовой (относительной) влагой для расчетов запасов влаги практически невозможно [80].

Объемной влагой называется отношение массы воды к единице объема торфа (формула 1.6).

$$W_{об} = \frac{m_B}{\rho_B \cdot V} 100 \quad (1.6)$$

где  $m_B$  – масса воды;

$\rho_B$  – плотность воды;

$V$  – объем торфа.

Удаление влаги торфа под воздействием протекающих процессов структурообразования и тепломассопереноса протекает с поточным изменением физических, химических, энергетических и технологических характеристик, которые в последствие определяют свойства конечной готовой торфяной продукции.

Гидромеханизированная технология добычи торфа из обводненных месторождений, а именно технологические и физико-химические параметры способа такой добычи направлены на изменение физико-механических характеристик торфа для последующей его переработки на основе поточной технологии в продукцию, обладающую высокими тепловыми свойствами [107].

Процессы механического обезвоживания основаны на двух физических принципах:

- фильтрация – выделение жидкости из массы твердого материала; при этом жидкость движется относительно твердой фазы.
- осаждение – выделение твердого материала из массы жидкости; при осаждении твердые частицы движутся относительно жидкости [10, 22].

Общая классификация механического обезвоживания разделяет фильтрацию и осаждение под действием центробежных сил, сил гравитации и под действием разности давлений жидкостей или газов при фильтрации через пористую перегородку. В свою очередь фильтрация в гравитационном поле определяет отделение жидкости, производимое за счет собственного веса – дренирование.

Процесс дренирования используют в специальных обезвоживающих бункерах или элеваторах. Известны два вида дренирования, а именно статическое и кинетическое. В статических условиях при дренировании сырья частицы неподвижны друг относительно друга

и относительно сита, в кинетических условиях дренировании напротив частицы находятся в движении, такой процесс используется в грохотах, а также реализован на дуговых ситах [83].

Движущей силой процесса фильтрования в гравитационном поле является разность давлений до и после фильтра, на этом принципе работают сгустители, отстойники. Необходимой разности давлений можно достигнуть использованием насосов, компрессоров, фильтр-прессов, вакуум-насосов или вакуум-фильтров. Для создания или центробежных сил используются центрифуги и циклоны [11, 83].

Обезвоживание добытого торфяного сырья в естественных условиях, будь то торфяная пульпа, крошка или кусковой торф осуществляемых на полях сушки также основан на принципах дренировании, интенсификация процесса влагоотделения при полевой сушке возможна использованием радиационной энергии и энергией ветра. Роль ветра сводится к вентилированию прилегающего к поверхности торфяного поля воздушному слою со скоростью 0,2-0,5 м/с [65, 83].

#### **Закономерности обезвоживания торфяной пульпы**

Торфяная гидромасса или торфяная пульпа содержит 4-6% сухого вещества и обладает подвижностью жидкости. Эту массу подают по трубопроводу на поля сушки предварительно пропуская через истиратель для дополнительной механической переработки. Процесс торфодобычи с получением гидромассы полностью механизирован.

Извлечение торфа из залежи в виде гидромассы, требует решения целого ряда вопросов и в первую очередь предварительного механического обезвоживания последней.

Подобные работы по интенсификации обезвоживания гидромассы были проведены авторами [26, 55]. В процессе влагопонижения торфяной гидромассы были выявлены три стадии: отделение не связанной воды; влагоотделение под давлением и технологии влагопонижения с использованием сухой торфяной крошки, получившей название «Мадрук». Рассмотрим их подробнее.

На первой стадии обезвоживания происходит снижение влагосодержания торфяного сырья с величины 96,5-97% до 95-95,5%. Удаление влаги на этом этапе возможно с использованием открытых фильтров отстаиванием и фильтрованием. Известно, что процесс возможно ускорить добавлением коагулированного раствора коллоидной окиси железа к гидроторфомассе [84].

Вакуум 0,01-0,015 МПа позволяет ускорить процесс фильтрации, но именно использование вакуума предполагает использовать громоздкие аппараты высокой стоимостью, поэтому данный метод принято считать нецелесообразным или возможным к использованию только в заводских условиях. Институтом гидроторф, еще в начале в середине прошлого

столетия для первой стадии обезвоживания предложены фильтрующие барабаны и элеваторы с перфорированными (сетчатыми) ковшами [49, 56, 87].

На второй стадии обезвоживания удаление влаги производится под избыточным давлением до 0,2 МПа или вакууме до 0,07 МПа при это на выходе можно добиться влаги коагулированной торфяной массы со значением 88-81%. При этом влага торфа в 82-81% достигается при малой производительности используемых аппаратов, но большом расходе энергии.

Как было указано ранее фильтрование добытой торфяной пульпы возможно выполнить с использованием вакуумных фильтров разнообразной конструкции: тарельчатых, дисковых или барабанных.

На третьей стадии обезвоживания удаление влаги осуществляется отжатием посредством прессов с давлением усилий от 3 до 5 МПа в течении 3-5 минут, при этом показатель влаги возможно достигнуть со значением до 63%

Указывается, что высший предел обезвоживания достигается только при опылении торфомассы десятью процентами сухим торфяным порошком с содержанием влаги 15-18% [49].

Позднее Московским торфяным институтом была разработана конструкция пакетного гидравлического пресса непрерывного действия высокого давления (до 1,2 МПа) в соединении с опилочными фильтрами для обезвоживания торфа-сырца или сгущенной гидромассы с влажностью 86-80% до влажности 55%, время отжатия 10-12 минут [98].

Таким образом, механическое обезвоживание собственно гидромассы в течение короткого времени порядка 1-2 часов до конечного влагосодержания 55-63% представляет собою сложный многоступенчатый процесс с применением для этого различных по принципу действия и конструкции аппаратов, иногда сложных и малопроизводительных.

Способы обезвоживания, включающие термическую обработку для гидромассы, при отрицательном тепловом балансе совершенно непригодны [26].

Стоит отметить, что степень механического обезвоживания торфа зависит от цели дальнейшего использования торфяного сырья, так для последующей тепловой досушке требуется торф влагой 50-60%, а для возможности реализации термической обработки достаточно получить после механического обезвоживания торф влагой до 75% [26].

Также известно, что для ускорения обезвоживания и уменьшения вязкости сапропеля применяют различные методы, в том числе и электрофизические. Однако характер действия последних на технологические свойства сапропеля изучен пока недостаточно. Авторами [70] проведены исследования влияния импульсного магнитного поля на обезвоживание сапропеля влажностью 85-93%.

Опыты проводили на специальном устройстве, принцип действия которого аналогичен принципу действия установки Г-12-40 для магнитно-импульсной обработки материалов. Магнитная индукция устройства составляла 0,2-0,5 Тл, энергия импульса – 2-25 Дж. Опыты проводили при различных длительности и числе импульсов обработки и напряженности магнитного поля. Степень обезвоживания определяли по отношению объемов отделенной воды в опытной и контрольной емкостях. Результаты экспериментов показаны на рисунке 1.20.

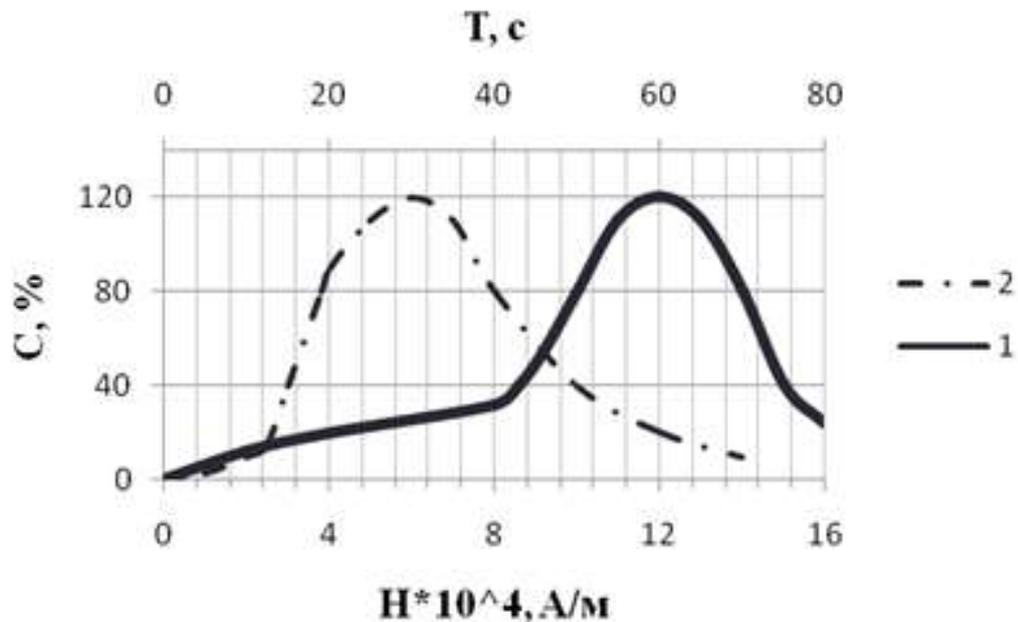


Рисунок 1.20 – Зависимость степени С обезвоживания сапропеля от напряженности Н магнитного поля (1) и продолжительности Т обработки (2) [70]

Данные, представленные на рисунке 1.20 позволяют сделать вывод, что магнитное поле положительно влияет на обезвоживание, ускоряя процесс более чем в 2 раза. При этом эффект воздействия магнитного поля избирателен и имеет максимум при энергии магнитного поля, равной 12,5 Дж, и напряженности 12 10<sup>4</sup> А/м [16]. Эффект омагничивания сапропеля сохраняется в течение суток. Увеличение напряженности магнитного поля или продолжительности омагничивания сверх указанных значений ведет к снижению влагоотделения [70].

Механизм действия магнитного поля на сапропель сложный, и обусловлен он в основном поведением макромолекул воды, составляющей значительную часть массы сапропеля. Известно, что под действием магнитного поля вода изменяет физико-химические свойства. Молекулярное электромагнитное поле воды удерживает растворенные органические вещества сапропеля. Под действием внешнего энергетического воздействия в виде импульсного магнитного поля происходит ослабление построения клеток воды в сапропеле, вода легко удаляется, так как связанная влага переходит в свободную.

При этом определено, что энергия магнитного для интенсификации обезвоживания сапропеля не должно превышать критическое значение, так как превышение этого значения приводит к обратному эффекту. Наблюдается упорядочение молекул воды в новые плотные связи- ассоциации, которые начинают плотно удерживать частицы сухого сапропеля, связанная влага увеличивается, а свободная значительно уменьшается, тем самым замедляя процесс обезвоживания.

Эти закономерности поведения сапропеля в магнитном поле необходимо учитывать при конструировании и эксплуатации установок для магнитной обработки. Способ магнитного обезвоживания прост и наименее энергоемок. Продолжительность омагничивания сапропеля невелика (около 30 с), что позволяет обрабатывать его при движении по трубам, не ограничивая технологию добычи.

Таким образом, магнитная обработка сапропеля с относительной влажностью 85-93% интенсифицирует его обезвоживание на 106-118% [70].

Также известны исследования по изменению структуры, состава и свойств торфа при модифицировании, а именно направленное управление структурами твердения торфяных композиций. Автором [51] предложен метод интенсификации твердения торфа с применением воды, обработанной магнитным полем, которая обеспечивает повышение содержания частиц в торфявяжущем с повышенной магнитной восприимчивостью, ускоряя химическое взаимодействие компонентов торфа и влияет на процессы структурообразования торфявяжущего. Исследовано влияние на свойства торфявяжущего воды затворения после магнитной цикловой обработки с индукцией магнитного поля 40 мТл и временем обработки в диапазоне 0-200 секунд [50, 51]. Также автором предложено снижение отрицательного действия диамагнитных веществ добавлением в воду до ее магнитной обработки парамагнитными веществами – веществами с положительной магнитной восприимчивостью, а именно катионами железа  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  [50].

Известен способ отжатия влаги из торфа в замороженном состоянии. Способ заключается в том, что в процессе приложения давления к замороженному торфу происходит плавление льда и отжатие влаги с одновременным разрушением замороженной структуры. Поскольку нагрузка для разрушения структуры торфа значительно ниже, чем для льда, то наряду с плавлением льда происходит одновременно и процесс механического измельчения торфа. Его интенсивная переработка кристаллами льда нарушает связь связанной воды с торфом. (Патент СССР 548715) [83].

Авторами [101, 102] проведены исследования процесса термомеханического обезвоживания торфа в мерзлом состоянии, для выявления эффективности были проведены сравнительные эксперименты по прессованию торфа-сырца и мерзлого торфа в идентичных

условиях. Экспериментально определено, что с уменьшением величины удельной загрузки возрастает эффективность обезвоживания и торфа-сырца и мерзлого торфа, выявлено, что при увеличении удельной загрузки до 1,5 кг/м<sup>2</sup> и более количество отжимаемой влаги уменьшается. Поэтому основным фактором эффективности механического обезвоживания является рациональный выбор величины давления прессования. В трудах авторов [102] представлены зависимости влагосодержания торфа при обезвоживании от давления прессования, определено, что при превышении величины давления в 2 МПа торф-сырец начинает течь через фильтрующие отверстия. Экспериментально установлено, что основная масса воды из образцов удаляется в течении первых трех минут, дальнейшее повышение времени приложения нагрузки не влияет на влагосодержание торфа. Начальное влагосодержание также влияет на влагосодержание обезвоженного торфа, с уменьшением его, понижается и конечное влагосодержание.

Фильтрация под давлением может быть описано в следующем виде (формула 1.7) [85]:

$$V_{\phi}(\tau) = \int_0^{\tau_{\phi}} \left( \frac{A^2 \cdot \Delta p_{\phi}}{\mu_{ж} \cdot (\alpha_{уд} \cdot m_{ТВ} + A \cdot R_{\Pi})} \right) d\tau \quad (1.7)$$

где  $V_{\phi}$  – объем фильтрата, образовавшийся при фильтрации, м<sup>3</sup>;

$\tau$  – время, с;

$A$  – площадь фильтровальной перегородки, м<sup>2</sup>;

$\Delta p_{\phi}$  – перепад давления при фильтрации, Па;

$\mu_{ж}$  – динамическая вязкость жидкой фазы пульпы, Па · с;

$\alpha_{уд}$  – удельное сопротивление осадка, м · кг<sup>-1</sup>;

$m_{ТВ}$  – масса твердого в осадке, кг;

$R_{\Pi}$  – сопротивление фильтровальной перегородки, м<sup>-1</sup>;

Толщину осадка можно определить по формуле 1.8.

$$L_{ос}(\tau) = \frac{V_{\phi}(\tau)}{A} \cdot \frac{C_T \cdot [\rho_T \cdot (x-1) + \rho_{ж}]}{\rho_T \cdot (1-x \cdot C_T)} \quad (1.8)$$

где  $C_T$  – концентрация твердой фазы в пульпе;

$\rho_T$  – плотность твердой фазы пульпы, кг · м<sup>-3</sup>;

$x$  – влагосодержание осадка;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкой фазы пульпы, кг · м<sup>-3</sup>;

Масса твердого в осадке можно определить по формуле 1.9:

$$m_{ТВ}(\tau) = L_{ос}(\tau) \cdot A \cdot (1 - \varepsilon) \quad (1.9)$$

где  $\varepsilon$  – порозность осадка.

Массу жидкости в осадке можно определить по формуле 1.10:

$$m_{ж}(\tau) = L_{ос}(\tau) \cdot A \cdot \varepsilon \quad (1.10)$$

Удельное сопротивление осадка определяется по формуле 1.11:

$$\alpha_{уд} = \frac{5 \cdot S_{уд}^2 \cdot (1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3 \cdot \rho_T} \quad (1.11)$$

где  $S_{уд}$  – удельная поверхность твердой фазы в составе пульпы,  $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$ .

Порозность осадка можно определить по формуле 1.12:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot (\Delta p_\phi)^{-\lambda} \quad (1.12)$$

где  $\varepsilon_0, \lambda$  – коэффициенты.

Начальные условия:  $V_\phi(0) = 0; L_{ос}(0) = 0; m_{ТВ}(0) = 0; m_{ж}(0) = 0$

При добыче торфяного сырья используют гидромеханизированный способ добычи с использованием землесосных снарядов, оснащенных гидродинамическими фрезами, которые действуя на горный массив разрушают торфяную залежь до состояния однородной торфяной массы в виде торфяной пульпы, не требуя предварительного осушения месторождения (Патент РФ №2167244) [83].

Механические способы снижения влаги в добытом торфяном сырье целесообразно использовать на первом этапе обезвоживания торфа, такие способы позволяют эффективно удалить свободную влагу из торфа, частично помогая снижению прочносвязанной воды [83].

Один из наиболее известных устройств и аппаратов механического обезвоживания являются прессы, например, этажерочные или многоэтажные. В таких прессах процесс дренирования интенсифицируется обезвоживанием гидроторфяной смеси под давлением непрерывным самоотпрессованием, возрастающим по слоям (Патент Германия №100069). Этажерочные конструкции прессов сводят к минимуму затраты энергии и времени влагоотделения [83].

Еще одним эффективным видом прессового оборудования принято считать шнековые прессы (Патент Беларусь №658). В таких прессах процесс обезвоживания реализован через отвод отжатой влаги через отверстия в корпусе или специальной сетке, конструкция которых допускает свободный отток отжатой влаги, препятствуя прохождению через них твердой дисперсной фазы [83].

Шнековый механизм прессы реализует процесс отделения жидкости через отверстия в корпусе или специальной сетке, конструкция которых допускает свободный отток отжатой влаги, препятствуя прохождению через них твердой дисперсной фазы. Удаление влаги из торфа приводит к изменению расхода и объема прессуемого сырья вдоль шнекового канала, что сказывается на характере его взаимодействия с основными рабочими органами прессы [83].

Другой разновидностью оборудования, осуществляющего «двойное прессование» является валковой пресс (А.С. СССР №617491). Данная особенность «двойное прессование» происходит последовательно между четырьмя валками прессы. Верхние валки, образующие

пару предварительно запрессовывают торфяное сырье в отделения в виде сотов, располагающихся на нижних валках. Параллельно между этими сотами на нижний бандаж вновь производится подача торфяной массы. В результате такого процесса степень сжатия горной породы удваивается в сравнении со стандартной схемой прессования. При этом энергетические затраты остаются неизменными [83].

Основной трудностью при механическом обезвоживании торфа следует считать необходимость обеспечения заданной производительности прессовой установки при применении высокого удельного давления прессования [69, 83].

Для решения описанной проблемы возможно использование кольцевого пресса, испытание которого показали, что положительный эффект (А.С. СССР №4229135). Однако здесь возникают трудности с устройством фильтрующих поверхностей [83].

Другой рассматриваемый тип оборудования, основанный на процессе центрифугирования. Основными достоинствами которого принято считать простоту, экономичность и легкую управляемость процессом. В процессе обезвоживания в центрифуге происходит разделение фаз торфяной смеси под действием центробежных сил. После обработки на центрифуге удастся получить торфяную массу низкой влажности и этот процесс возможно производить в непрерывном режиме [83].

В центрифуге различают две зоны: осаждения и отжима. При недостаточной длине зоны осаждения мелкие частицы мути не успевают осесть и выносятся вместе с фугатом; при короткой зоне отжима осадок получается слишком влажным. Центрифуга снабжена блокирующими устройствами, которые в случае перегрузки отключают электродвигатель от барабана и прекращают подачу жидкости (А.С. СССР 1270165) [83].

В центрифугах, сепараторах и циклонах происходит разделение гетерогенных систем под действием центробежных сил, но все они существенно различаются по конструкциям. Гидроциклоны отличаются от центрифуг и сепараторов тем, что у них нет движущихся частей, и отличаются от циклонов видом разделяемой смеси (А.С. СССР №1306604) [83].

Гидроциклоны на протяжении многих лет нашли успешное применение в различных отраслях промышленности. К явным достоинствам гидроциклонов относят оптимальные размеры, простоту конструкции, эффективность работы и возможность применения мультигидроциклонов, объединением аппаратов в единый комплекс оборудования. При этом в достаточно простой конструкции аппарата протекает сложный динамический процесс, сопровождающийся турбулентным режимом течения жидкости в аппарате. Именно такое протекание процесса создает турбулентную диффузию, имеющую высокое влияние на разделяющую способность гидроциклона [83].

Известен технологический комплекс добычи и переработки торфа на основе средств гидромеханизации, который включает (Патент РФ № 103819), который предполагает сушку торфа с использованием кинетической энергии. Технологическая схема устройства после первичного отстаивания подает торфяное сырье со вращающей скоростью на горизонтальную центрифугу. Торф после центрифугирования достигает влаги до 60% и поступает на систему “KDS Micronex” (Канада), работа которой основана на использовании кинетической энергии доизмельчения и сушки торфа за одну операцию, исключая использование дополнительного теплоносителя. Доизмельчение торфа и его сушка с использованием кинетической энергии позволяет получить торф влажностью до 10% за одну операцию с размерами частиц до 0,05 мм. Система “KDS Micronex” не требует охлаждающего контура или оборудования, при этом затраты электроэнергии на сушку минимальны. Системой создается вращающийся вихрь с окружной скоростью частиц до 620 км/час, при этом частицы сырья, проходят сквозь ударники и отбойные пластины, измельчаются до 0,05 мм и, за счет выделяемой энергии, высушиваются. Весь технологический процесс происходит в струе воздуха. Использование этой системы значительно снижают энергетические затраты на тонну готовой продукции [83, 103].

Интенсификация влагоотделения торфа возможна уменьшением вязкости торфяной массы посредством нагрева или вибрационного воздействия, создаваемого вибраторами, которые в свою очередь располагаются на боковых стенках в пустотелых камерах щекового уплотнителя (Патент РФ №2 473 421) [83].

Для получения торфяных гранул возможно использование способа облучения гранул полем СВЧ (Патент РФ. №2 411 431) с нагревом их до температуры 70-80°C и дополнительным обдувом. Исходное торфяное сырье влажностью до 75: под давлением до 0,8 МПа облучается с частотой переменного электромагнитного поля от - 2600 МГц [83].

Другим способом интенсификации влагоотделения является перемешивание торфа с частицами металла и пропускания через полученную торфяную массу с частицами металла электрического тока (Патент РФ 1516602). Под действием электрического поля капельная влага вытягивается вдоль цепи поля с образованием электрических зарядов в его вершинах. Влага торфа принимает упорядоченное движение с последующей коалесценции [83].

Основными показателями фильтрации являются коэффициент сжимаемости и устойчивость к фильтрации, которые уменьшаются в процессе дестабилизации коллоидных частиц, находящихся в водной фазе, а размеры твердых частиц увеличиваются, вода из связанной переходит в свободную влагу и легко удаляется из сырья под действием гравитационных сил. Такая дестабилизация коллоидной составляющей смесей, имеющих большую влажность, возможна путем их коагуляции – обработки химическими реагентами, коагулянтами, или флокулянтами (Патент СССР 64288) [83].

Исходя из анализа процессов обезвоживания торфяных смесей можно сформулировать требования к методам и установкам влагоотделения добытого торфяного сырья, которые должны способствовать удалению влаги торфяного сырья [83].

При выборе оборудования для обезвоживания добытого торфяного сырья необходимо установление закономерностей протекания процессов обезвоживания гидроторфяной смеси от условий интегрального характера, внешних силовых и физических воздействий на дезинтегрированную гидроторфяную смесь [83].

Оптимальные параметры процесса искусственной сушки торфа должны обеспечивать минимальные капитальные вложения, затраты труда, тепла, электроэнергии и максимальную надежность при сохранении определенных свойств продукции [57, 83].

### **1.6 Выводы по главе 1**

1. Проведенный обзор и анализ теоретических и экспериментальных исследований по теме исследований показывает, что вопросы по протеканию процессов обезвоживания торфяного сырья в искусственно создаваемых средах при внешнем воздействии на торфяную пульпу подробно не изучены.

2. Для решения вопросов по интенсификации посредством воздействия магнитного поля требуется проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований для обоснованного выбора параметров оборудования дегидратации торфяного сырья плавучего добычного комплекса.

3. Известно, что для ускорения обезвоживания и уменьшения вязкости сапропеля применяется магнитно-импульсная обработка, определено, что магнитное поле положительно влияет на обезвоживание, ускоряя процесс более чем в 2 раза, при этом подобные исследования для торфяного сырья отсутствуют.

4. Из экспериментальных исследований известно, что содержащуюся влагу в естественном торфе, можно удалить прессованием при давлениях до 2,0 МПа, увеличение нагрузки не оказывает влияния на эффективность процесса механического обезвоживания торфа, для выбора рациональных конструктивных размеров установки обезвоживания требуется проведение экспериментальных исследований для определения давления отжатия.

#### **Сформулированы следующие задачи исследования:**

1. Провести теоретическое обоснование структуры модуля обезвоживания плавучего комплекса добычи торфяного сырья;

2. Провести экспериментальные исследования по оценке интенсивности обезвоживания торфяного сырья в условиях изменяемого магнитного поля и по послойному прессованию торфяной пульпы в тонком слое;

3. Обосновать параметры горного оборудования модуля обезвоживания по результатам теоретических и экспериментальных исследований;
4. Предложить новое техническое решение по реализации гидромеханизированной торфодобычи на обводненных месторождениях с обоснованием параметров выбранного горного оборудования и конструктивных решений модуля обезвоживания торфа.

## ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЕГИДРАТАЦИИ

### 2.1 Теоретические подходы к интенсификации дегидратации торфяной пульпы

Так как основной проблемой при добыче торфа на обводненных месторождениях является снижение влаги добытого торфяного сырья [16, 60], рассмотрим теоретические подходы к интенсификации дегидратации торфяной пульпы [84].

В основе технологии механического обезвоживания заложена теория фильтрации воды в торфяном сырье. Картина протекания фильтрации водной составляющей торфа многообразна, так как на процесс влияет ряд постоянно изменяющихся причин. Из-за природы происхождения пористой структуры среды торф под действием фильтрующейся воды непрерывно деформируется, тем самым имеет непостоянный коэффициент фильтрации при одном показании напора. Изменчивость водопроницаемости торфа связана с коллоидальными частицами, которые в растворенном состоянии под воздействием внешнего давления меняют свою дисперсность и перегруппировываются. Существенное влияние на фильтрацию оказывает компрессия торфа при которой образуется слой на фильтрующей перегородке, который в следствии становится дополнительной пористой средой и очевидно, что сопротивление осадка растет по мере увеличения его толщины [128, 129].

Для оценки сжимаемости торфа может быть использована зависимость пористости от перепада давления. В логарифмических координатах эта зависимость выражается прямой линией с тангенсом угла наклона к оси абсцисс, характеризующим сжимаемость. Величина сжимаемости торфа во многом определяет тип обезвоживающего оборудования, параметры его работы. Чем ниже показатель сжимаемости (при равном удельном сопротивлении), тем большее давление может быть использовано для обезвоживания пульпы. Обезвоживание при оптимальном давлении позволяет получать наибольшую производительность фильтр-пресса [16, 81].

Известные многочисленные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что от влаги, содержащейся в торфе в естественном виде от 80% до 96% можно избавиться прессованием, значение усилий от 2,0 до 2,5 МПа [97, 100]. Стоит отметить, что значительное увеличение усилий до 10 МПа не оказывает эффективного воздействия на процесс механического обезвоживания торфа, также особое значение имеет величина удельной загрузки фильтра, например, при высокой скорости деформации и загрузке фильтра свыше 0,2 г/см<sup>2</sup> обнаружен отрицательный результат процесса обезвоживания торфа. Только с ростом продолжительности процесса отжима влаги возрастает количество отфильтрованной жидкости [15,16].

Известно, что естественный процесс влагопонижения торфяного сырья в гравитационном поле продолжителен во времени и инерционен, при этом интенсификация дегидратации торфяной пульпы возможна повышением ее текучести посредством добавления к пульпе химических добавок [82, 131]. Поэтому для реализации дальнейшего механического обезвоживания торфяного сырья необходимо разрушить прочную связь коллоидальной системы между сухим веществом торфа и водой, содержащейся в торфяной пульпе. Как указывалось, в первой главе, существующие исследования и многочисленные испытания однозначно подтверждают, что добавление химического реагента в виде раствора окиси железа позволяют дестабилизировать коллоидные частицы, находящиеся в водной фазе торфяного сырья, а вода переходит из связанной в свободную и легко удаляется при отжатии [14]. Так как при гидромеханизированном способе выемки торфяного сырья торф находится в состоянии гидромассы, смесь торфа с водой является единственной формой, позволяющей подвергать ее воздействию коагулянтами в виде химических реагентов.

Существующие исследования по обезвоживанию сапропеля магнитной обработкой и интенсификации твердения торфа с применением воды, обработанной магнитным полем, представленные в первой главе настоящей работы, натолкнули на изучение влияния магнитной обработки на обезвоживание торфяной пульпы, при этом отсутствуют данные по выбору вида магнитного воздействия, его продолжительности и не решены вопросы по реализации применения магнитной обработки добытого сырья в рамках технологий добычи и переработки.

Предпосылками для изучения процесса омагничивания торфяной пульпы выступили следующие данные: под действием магнитного поля вода изменяет физико-химические свойства, а именно внешнее воздействие магнитного поля ослабляет клеточное построение молекул воды, вода переходит из связанной с твердой составляющей осадка в свободную [49, 123]. Также известны исследования магнитной восприимчивости не только компонентов воды, но составляющих смесей, так называемые парамагнитные вещества – вещества с положительной магнитной восприимчивостью при внешнем магнитном воздействии усиливают последнюю. Именно к таким парамагнетикам относятся катионы железа, которые используются в виде растворов при коагулировании гидрторфомассы [127]. Но стоит отметить, что магнитное воздействие имеет критическое значение, при превышении которого происходит упорядочение молекул воды с образованием прочносвязанных при увеличении которых ухудшается обезвоживание.

На основании описанных выше теоретических методов интенсификации обезвоживания торфа технология интенсификации обезвоживания торфяного сырья может быть представлена в виде схемы (рисунок 2.1), которая предполагает магнитную обработку, введение в торфяную пульпу коагулянта в виде коллоидального раствора окиси железа концентрацией 0,02% и

дальнейшее гравитационное обезвоживание торфяного сырья и отжатие влаги из торфа послойным прессованием [14].

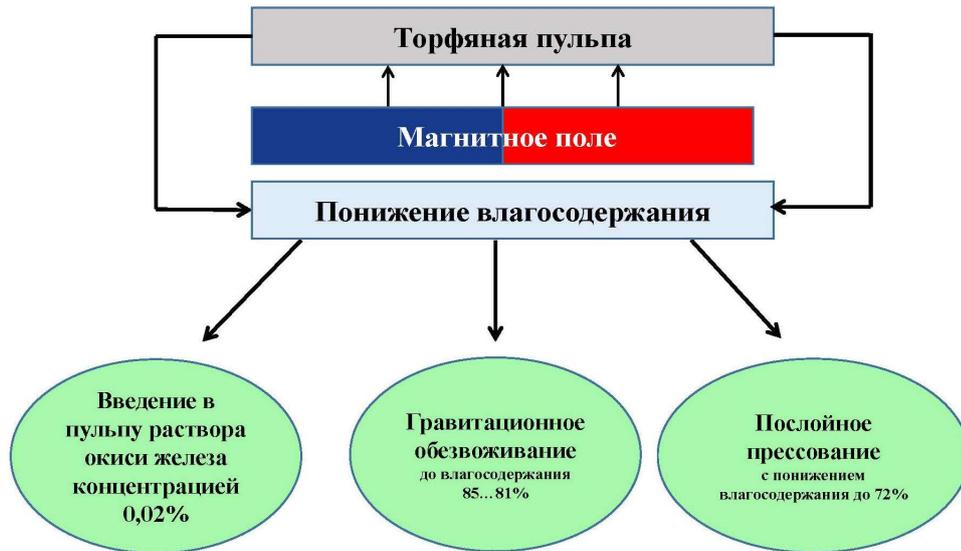


Рисунок 2.1 – Технология интенсификации обезвоживания торфяного сырья

Однако применимость такой технологии обезвоживания требует проведения экспериментальных исследований, а ее реализация невозможна без увязывания отдельных процессов с технологией добычи и предложений по созданию новых комплексов горных машин для реализации предложенных технологий.

## 2.2 Теоретическое обоснование структуры карьерного добычного комплекса

Структура добычного комплекса определяется выбранной технологией гидродобычи с применением земснаряда. Данная технология предполагает сплошную продольную (поперечную, круговую или веерную) однобортовую систему разработки обводненной торфяной залежи [16]. Главным фактором выбора системы разработки торфяной залежи является геологическое строение месторождения и его тип. Согласно классификации В.В. Ржевского, осуществляется выбор и обоснование системы разработки торфяного месторождения с использованием землесосного снаряда [103] по направлению выемки в плане (рисунок 2.2).

За базу принята технология гидродобычи с применением земснаряда. Основным оборудованием гидромеханизированной добычи торфа принято считать землесосный снаряд, для разработки обводненных месторождений торфяного сырья должен применяться специально разработанный для этих целей землесосный снаряд [103]. Эффективная работа которого зависит от типа залежи, структуры торфа-сырца, его механических свойств, степени разложения и влаги, а определяется степенью совершенства грунтозаборных устройств [4].

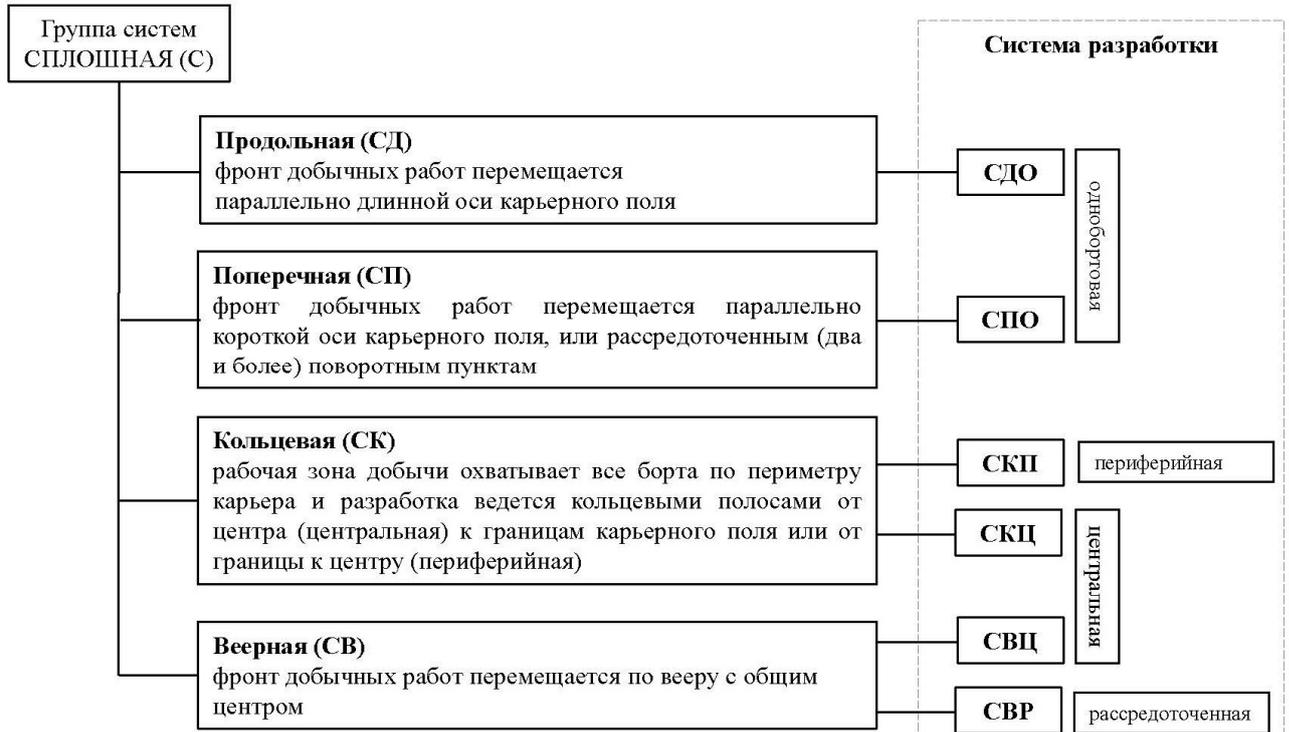


Рисунок 2.2 – Системы разработки торфяного месторождения с использованием земснаряда

Учитывая выявленные и описанные выше подходы к интенсификации дегидратации торфяной пульпы определим состав горного оборудования комплекса добычи и переработки торфяного сырья [122] предлагаемой технологии и сравним ее с существующей технологией (рисунок 2.3).

Для выполнения добычных работ на обводненном месторождении торфа, как было отмечено ранее используется землесосный снаряд. Землесосный снаряд выполняет комплекс работ по разработке залежи торфа и, по сути, представляет собой плавучую горную машину, которая выполняет следующие операции:

- послонная разработка залежи на всю мощность;
- перемещение с определенной скоростью фрезерно-шнекового грунтозаборного устройства в вертикальной оси и вдоль землесосного снаряда;
- всасывание торфяной пульпы и транспортирование ее по трубопроводам [103].

Для базовой и предлагаемой технологий этап добычи торфяного сырья в виде пульпы одинаковый.



Рисунок 2.3 – Комплексы горного оборудования добычи и переработки торфяного сырья существующей гидромеханизированной и предлагаемой технологии

Земснаряд оснащается фрезерно-шнековым разрыхлителем прямого вращения (по ходу движения земснаряда), работающий с низкими окружными скоростями и большими подачами на фрезы [16, 105]. Грунтозаборное устройство землесосного снаряда для добычи торфяного сырья (рисунок 1.17) состоит из рабочего органа – шнек-фрезы с расчетным диаметром, трансмиссии для передачи крутящего момента от двигателя к рабочему аппарату, гидравлического механизма подъема и опускания грунтозаборной рамы совместно с рабочим органом, всасывающего устройства. Конструктивно грунтозаборная рама оснащается шнек-фрезой в виде двух шнеков, навитых на один вал с направлением навивки от периферии к центру [103]. Шнеки в грунтозаборном устройстве выполняют сразу две функции помимо основной – механического воздействия на залежь с целью разрушения, они выполняют функцию транспортировки разработанного торфа ко всасывающему устройству. Ширина захвата грунтозаборного устройства определяется шириной плавучей базы землесосного снаряда [37].

Работа грунтозаборного устройства напрямую зависит от выбора параметров рабочих элементов фрезерно-шнекового рыхлителя [46], оптимальность величин позволяет добиться рационального размера плоской рабочей поверхности с достаточной площадью залежи. Известно, что оптимальный шаг резания торфа зависит от ширины режущей кромки фрез, глубины и усилий резания (формула 2.1) [105, 103].

$$t_{\text{оп}} = b + k_t h \quad (2.1)$$

где  $b$  – ширина режущей кромки фрезы;

$k_t$  – коэффициент, зависящий от физико-механических свойства залежи;

$h$  – глубина резания.

При глубине резания 4-5см разрушение торфяного пласта происходит с наименьшей возможной энергоемкостью и наивысшей производительностью по торфу [103, 106]. Для торфа  $k_t$  равен 0,95, принимая ширину режущей кромки  $15 \cdot 10^{-3}$  м, а шаг резания, по аналогии с фрезерными комбайнами -  $50 \cdot 10^{-3}$  м, установим глубину резания  $40 \cdot 10^{-3}$  м. Тогда, подставляя соответствующие значения в выражение (2.1) определим оптимальный шаг резания

$$t_{\text{оп}} = 0,001(15 + 0,95 \cdot 40) = 0,053$$

Округляя полученное значение линейного размера до ближайшего в ряду  $Ra10$ , будем считать оптимальным шаг резания равным 0,05 м.

Мощность на привод грунтозаборного устройства определяется формулой 2.2 [103].

$$N = QA_{\text{уд}} \quad (2.2)$$

где  $Q$  – производительность шнека за секунду;

$A_{\text{уд}}$  – удельная работа экскавации торфа.

Производительность машины зависит от геометрических параметров шнека и конструкции всасывающего устройства.

Производительность шнекового питателя грунтозаборного устройства земснаряда определяется по формуле 2.3 [103].

$$Q_{\text{ш}} = 60 \frac{\pi \cdot D^2}{4} H n \varphi_1 \gamma c \quad (2.3)$$

где  $D$  – диаметр шнека, м;

$H$  – шаг шнека, м;

$n$  – частота вращения шнека,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\varphi_1$  – коэффициент заполнения шнека, учитывающий и объем, занимаемый валом шнека, равный 0,25-0,33.

$\gamma$  – объемный вес торфа,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$c$  – коэффициент, учитывающий изменение производительности при изменении угла наклона, для горизонтального расположения равен единице.

Оптимальную скорость на входе во всасывающий наконечник  $V_{\text{вс.н.}}^{\text{опт}}$  (формула 2.4) для гидроторфяной смеси рекомендуется назначать в пределах 3-4 м/с. А скорость во всасывающей трубе широкозахватного грунтозаборного устройства – на 20-25% больше [103].

$$V_{\text{вс.н.}}^{\text{опт}} = 1,2V_{\text{вс.н.}}^{\text{опт}} \quad (2.4)$$

Таким образом, основные технологические параметры землесосных снарядов для добычи торфа частота вращения шнека в пределах  $n=0,3-6,6 \text{ с}^{-1}$ , глубина фрезерования  $h \leq 0,05$

м, скорость перемещения землесосного снаряда в забое  $V = 0,03-0,05$  м/с и скорость всасывания  $V_{вс} = 1,5-2,5$  м/с [103].

Далее при реализации базовой технологии добычи предусматривается трансфер добытой торфяной пульпы гидротранспортом. Для подачи пульпы от землесосного снаряда до места переработки торфяной пульпы (полей сушки) используется всасывающий пульпопровод. Из экспериментальных исследований известно, что величина потерь напора при движении торфяной пульпы в напорных пульпопроводах тем выше, чем больше скорость движения, условная вязкость и содержание сухого вещества в торфяной пульпе [103]. Для устойчивой эксплуатации гидротранспорта нужно учитывать необходимость перекачки пульпы со скоростью выше критической скорости движения, для того чтобы твердые частицы в пульпе перемещались в потоке без расслоения пульпы. При эксплуатации протяженных трубопроводных систем необходимо учитывать «живое» сечение трубопровода, величина которого меньше чем фактический диаметр последнего [16].

Поэтому базовая гидромеханизированная технология предусматривает использование дополнительного погружной насос осевого типа с производительностью 1500-2000 м<sup>3</sup>/ч, мощностью приводного двигателя 100 кВт в линии с палубным центробежным насосом ГРу 1600/25 с подачей (производительностью) 1600 м<sup>3</sup>/ч, мощностью 315 кВт при предельном расстоянии транспортирования до 300-400 м по пульпопроводу диаметром 400 мм [16].

Для оценки параметров напорных трубопроводов основной задачей является либо определение пропускной способности, либо потери напора на том или ином участке, равно как и на всей длине, либо диаметра трубопровода на заданных расходе и потерях напора [103].

В предварительных проектных расчетах, где потери давления не учитываются, размер технологического трубопровода определяется по допустимой скорости (формула 2.5).

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[v]}} \quad (2.5)$$

где  $Q$  – расход перекачиваемой пульпы;

$d$  – внутренний диаметр пульпопровода;

$[v]$  – допустимая скорость потока.

Известно, что для торфов критическая скорость, в м/с, изменяется в зависимости от влаги ( $W = 97\% - 90\%$ ) и находится в диапазоне  $V_{кр} = 1,9-6,5 = [v]$ .

Стандартная гидромеханизированная технология добычи предполагает полевую сушку торфяного сырья, при этом эскавированное сырье сушится только с использованием радиационной энергии солнца и ветра, тем самым крайне зависит от метеоусловий, сушка в тонких слоях предполагает задействование больших территории подготовленных полей для сушки. В дальнейшем подсушенный торф разрезается на кирпичи с помощью специальных

гусениц трактора и требуется ручная укладка этих кирпичей в фигуры сушки. Для переработки торфяного сырья в топливо базовая технология предполагает использование измельчителя и формовщика, а структурой предлагаемой технологии предусмотрены шнековый формовщик и барабанная сушилка.

Изученные в первой главе диссертаций закономерности обезвоживания торфяной пульпы и представленные в разделе 2.1 методы интенсификации обезвоживания торфяного сырья позволяют сделать вывод о необходимости использования магнитного индуктора для улучшения процесса влагоотделения торфяного сырья.

В предлагаемой технологии погружной штатный насос обеспечивает эффективное всасывание образовавшейся в районе действия шнекового рыхлителя торфяной пульпы и транспортировку последней по короткому участку трубопровода земснаряда.

Для отказа от протяженных пульпопроводов предлагается применение тандема земснаряда с установкой обезвоживания торфа (Пат. № 2720341) (Приложение Д), представляющей собой плавсредство с установленным оборудованием понижения влагосодержания добытого сырья [16].

После омагничивания и доставки торфяной пульпы на борт плавучей базы предусматривается предварительное обезвоживание торфяного сырья посредством механизированных отстойников с конвейером, при этом свободная и отделенная из сырья влага подается обратно в карьер, сброс влаги позволяет исключить необходимость ее транспортировки.

Далее предусмотрена подача торфяной пульпы на установку понижения влагосодержания, реализуемая послойным механическим отжатием торфяной пульпы в этажерочном прессе. И в этом случае предусматривается возвращение отжатой влаги обратно в карьер. Применение такого тандема позволяет отказаться от транспортировки 860 кг воды на каждую тонну перекачиваемой торфяной пульпы, полей для сушки, при значительном сокращении пульпопровода до 30 м, необходимом для доставки пульпы к установке понижения влагосодержания формируемого сырья [16].

Трансфер торфяного сырья после установки обезвоживания осуществляется циклическим транспортом от комплекса на борт карьера для дальнейшей переработки [16].

### **2.3 К оценке материального баланса переработки торфяного сырья комплексом**

Для укрупненной оценки материального баланса переработки торфяного сырья рассмотрим удельные энергетические затраты базового варианта, а именно технологию гидродобычи с применением земснаряда и сравним полученные данные с энергетическими затратами по предлагаемому варианту технологии.

Структура комплексов горного оборудования была представлена в разделе 2.2 настоящей главы. Для учета временной составляющей принимаем продолжительность сушки торфяного сырья около двух месяцев (60 дней) [3, 72] сравнение будем осуществлять применительно к этому промежутку календарного времени. При этом примем, что землесосный снаряд работает в одну смену, равной 12 часам.

### **Для базовой технологии добычи**

#### *Проведение добычных работ*

Удельные энергетические затраты на формирование торфяной пульпы при экскавации торфяной залежи посредством землесосного снаряда, оснащенного широкозахватным грунтозаборным устройством фрезерно-шнекового типа [103] примем за  $Q_1$ , МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч) (формула 2.8). Его значение одинаково для базового и нового вариантов. Значение удельной мощности привода фрезерного рыхлителя, приходящегося на 1 м<sup>3</sup> часовой производительности для торфа, составляет 0,5 кВт [103]. Производительность грунтозаборного устройства до 2000 м<sup>3</sup>/ч по торфяной пульпе влагой 96%, определим производительность по сухому торфу, м<sup>3</sup>/ч (формула 2.6):

$$Q_{\text{грунтозаб устр-ва а.с.в}} = \frac{Q_{\text{грунтозаб устр-ва по пульпе}} \cdot (100 - \omega_1)}{\omega_1} \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{грунтозаб устр-ва а.с.в}} = \frac{2000 \cdot (100 - 96)}{96} = 83,33$$

Определим массу сухого торфа, нарезаемого фрезой в час (т/ч) (формула 2.7), принимая плотность сухого торфа 400 кг/м<sup>3</sup>:

$$m_{1 \text{ а.с.в}} = \frac{Q_{\text{грунтозаб устр-ва а.с.в}} \rho}{1000} \quad (2.7)$$

$$m_{1 \text{ а.с.в}} = \frac{83,33 \cdot 400}{1000} = 33,33$$

$$Q_1 = \frac{N_1 Q_{\text{грунтозаб устр-ва по пульпе}}^{3,6}}{m_{1 \text{ а.с.в}}} \quad (2.8)$$

$$Q_1 = \frac{0,5 \cdot 2000 \cdot 3,6}{33,33} = 108$$

Для всасывания гидроторфяной пульпы используется бортовой центробежный насос ГРу 1600/25 с производительностью 1600 м<sup>3</sup>/ч, мощностью 315 кВт, удельные энергетические затраты которого можно оценить величиной  $Q_2$ , МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч).

Так как производительность насоса по торфяной пульпе влагой 96% составляет 1600 м<sup>3</sup>/ч, определим производительность по сухому торфу, м<sup>3</sup>/ч (формула 2.9):

$$Q_{\text{насоса 1 а.с.в}} = \frac{Q_{\text{насоса по пульпе}} \cdot (100 - \omega_1)}{\omega_1} = 66,67 \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{насоса 1 а.с.в}} = \frac{1600(100 - 96)}{96} = 66,67$$

Найдем массу перекачиваемого сухого торфа в час (т/ч), принимая плотность сухого торфа  $400 \text{ кг/м}^3$  (формула 2.10):

$$m_{2 \text{ а.с.в}} = \frac{Q_{\text{насоса 1 а.с.в}} \rho}{1000} \quad (2.10)$$

$$m_{2 \text{ а.с.в}} = \frac{66,67 \cdot 400}{1000} = 26,67$$

Зная мощность привода насоса 315 кВт, затрачиваемую на перекачку 26,67 т сухого торфа, посчитаем удельные энергетические затраты центробежного насоса ГРу 1600/25 (формула 2.11):

$$Q_2 = \frac{N_2 3,6}{m_{2 \text{ а.с.в}}} \quad (2.11)$$

$$Q_2 = \frac{315 \cdot 3,6}{26,67} = 42,5$$

Удельные энергетические затраты на проведение добычных работ примем за  $Q_3$ , МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч) (формула 2.12).

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (2.12)$$

$$Q_3 = 108 + 42,5 = 150,5$$

Масса сухого торфа, перекаченного бортовым центробежным насосом примем за величину  $M_1$ , Т<sub>а.с.в.</sub> тогда за 60 дней при односменной ( $t_{\text{см}}$ ) (формула 2.13):

$$M_1 = m_{2 \text{ а.с.в}} 60 t_{\text{см}} \quad (2.13)$$

$$M_1 = 26,67 \cdot 60 \cdot 12 = 19202$$

### *Гидротранспорт*

Для создания необходимого подпора используется дополнительный погружной насос осевого типа мощностью приводного двигателя 100 кВт при предельном расстоянии транспортирования до 300-400 м по пульпопроводу диаметром 400 мм [16]. Удельные энергетические затраты на дополнительного погружного насоса может быть оценена в величину  $Q_4$ , МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч).

Произведем расчет аналогичный бортовому центробежному насосу.

Аналогично предыдущему расчету  $Q_4$  составит 14, 4 МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч)

### *Процесс сушки*

Полевая сушка добытого торфяного сырья производится на специально подготовленных площадях, пульпа, разливаясь на поля сушки в основном сушится только под воздействием радиационной энергии солнца и зависит от метеоусловий [68, 66]. Обезвоживание гидромассы за счет фильтрации в подстилающий грунт незначительное, позволяет снизить влагу торфяной пульпы со значения 96% до 90%. Учитывая, что удельная теплота испарения или парообразования воды составляет 2453 Дж/кг при стандартных условиях [25], удельные энергетические затраты на сушку можно оценить величиной  $Q_5$ , МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч).

Определим влагосодержание торфяной пульпы по влажности ( $\frac{\text{кг(В)}}{\text{кг(С)}}$ ), равной 90% (по формуле 1.3):

$$W_1 = \frac{90}{100 - 90} = 9$$

Таким образом при полевой сушке, учитывая удельную теплоту испарения воды, потребуется ( $Q_{исп}$ ) 22,1 кДж энергии на 1 кг сухого торфа.

Найдем удельные энергетические затраты, оцениваем на 1 тонну абсолютно сухого торфа (формула 2.14):

$$Q_5 = \frac{Q_{исп} \cdot 10^3 \cdot 10^3}{n \cdot 24 \cdot 10^6} \quad (2.14)$$

$$Q_5 = \frac{22,1 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{60 \cdot 24 \cdot 10^6} = 0,015.$$

Масса сухого торфа ( $t_{а.с.в}$ ), полученного за 60 дней сушки при 12 часовой смене (формула 2.15) по сути равна массе сухого торфа, добытого и перекаченного за 1 рабочий 12 часовой день, так как после разлива все 60 дней пульпа сушится на поле сушки.

$$M_2 = m_{1 \text{ а.с.в}} t_{см} \quad (2.15)$$

$$M_2 = m_{1 \text{ а.с.в}} 12 = 26,67 \cdot 12 = 320,04$$

#### *Поля сушки торфа*

Оценим потребную площадь для осуществления полевой сушки «разлитой» торфяной пульпы. Принимаем оптимальную толщину расстила торфяной пульпы в 30 см ( $t$ ). Зная, что перекачка осуществляется насосом ГРу 1600/25 с производительностью 1600 м<sup>3</sup>/ч, при непрерывной двенадцатичасовой ( $t_{см}$ ) работе можно перекачать торфяную пульпу объемом  $V_1$ , м<sup>3</sup> (формула 2.16):

$$V_1 = Q_{насоса} t_{см} \quad (2.16)$$

$$V_1 = 1600 \cdot 12 = 19200$$

Потребная площадь для осуществления полевой сушки можно оценить величиной  $S_1$ , км<sup>2</sup> (формула 2.17) с учетом 60 дней работы ( $n$ ):

$$S_1 = \frac{V_1}{t} n \quad (2.17)$$

$$S_1 = \frac{19200}{0,3} 60 = 3840000 \text{ м}^2 = 3,84$$

#### **Для предлагаемой технологии добычи**

Логическая схема оценки энергозатрат гидромеханизированной добычи торфяного сырья и его механического обезвоживания с интенсификацией процесса омагничиванием на борту добычного комплекса представлена на рисунке 2.4.

Показатели без штриха относятся к базовой технологии, со штрихом к предлагаемой.

#### *Проведение добычных работ*

Удельные энергетические затраты на создание торфяной пульпы и экскавация торфяной залежи землесосным снарядом аналогичны базовой технологии,  $Q'_1 = Q_1$ , МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч).

Для всасывания гидроторфяной пульпы используется штатный бортовой центробежный насос ГРу 1600/25 с производительностью 1600 м<sup>3</sup>/ч, мощностью 315 кВт, удельные энергетические затраты которого были оценены выше,  $Q'_2 = Q_2$ , МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч).

Тогда масса добытого сухого торфа примем величиной  $M'_1 = M_1$ , Т<sub>а.с.в.</sub>

#### Омагничивание торфяной пульпы

Для интенсификации влагопонижения торфяного сырья предусматривается ее омагничивание в бегущем магнитном поле посредством индуктора, расположенного на конце трубопровода. Для создания магнитного поля используется статорный электрический двигатель, учитывая преобразования и распределение потока потребляемой электрической энергии при формировании магнитного поля статора принимаем мощность двигателя эквивалентно электрическим потерям в обмотке статора, а именно 2,2 кВт.

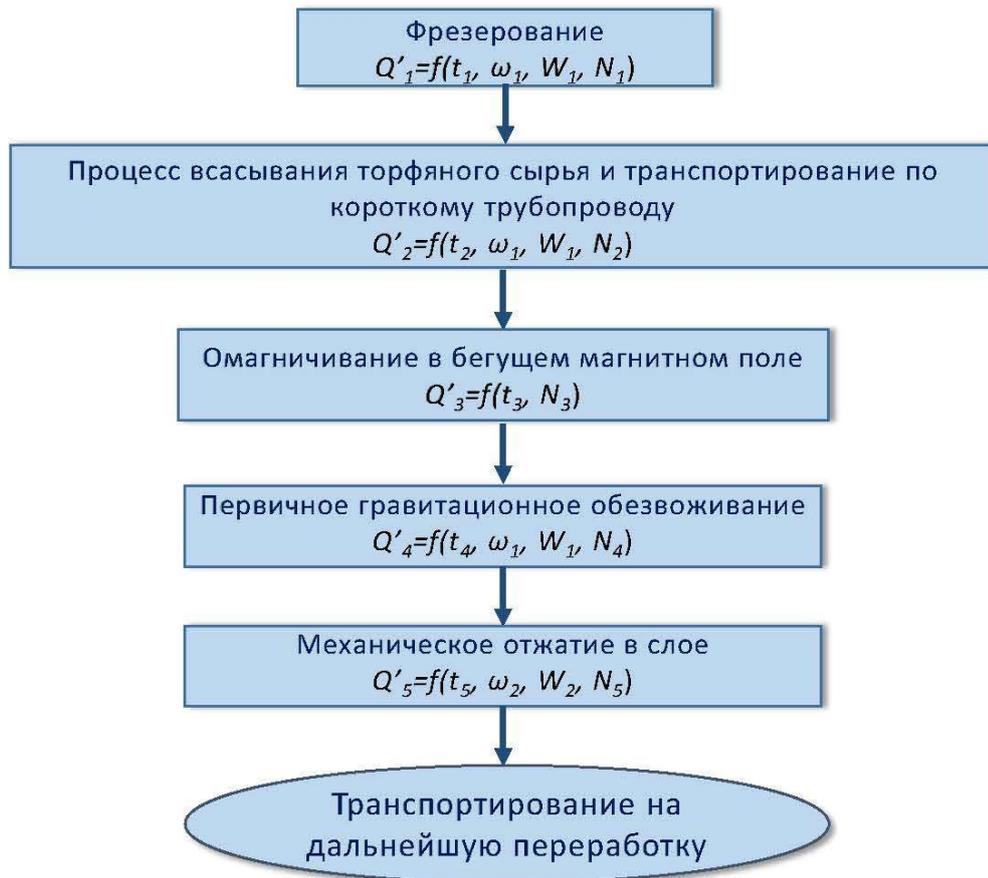


Рисунок 2.4 – Логическая схема оценки энергозатрат гидромеханизированной добычи торфяного сырья и его механического обезвоживания с интенсификацией процесса омагничиванием на борту добычного комплекса

С учетом найденной выше массы перекачиваемого сухого торфа в час  $m_2$  а.с.в., посчитаем удельные энергетические затраты электрический двигатель, МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч) (формула 2.18):

$$Q'_3 = \frac{N_{3,3,6}}{m_{2 \text{ а.с.в}}} \quad (2.18)$$

$$Q'_3 = \frac{2,2 \cdot 3,6}{26,67} = 0,3$$

*Первичное гравитационное обезвоживание и транспортирование пульпы*

Для одновременной транспортировки торфяного сырья и обезвоживания омагничинная пульпа подается на скребковый конвейер первичного гравитационного обезвоживания. Все механизмы скребкового конвейера приводятся в движение от электродвигателя, установленная мощность которого принята в 5 кВт, производительность конвейера 350 т/ч. Гравитационное обезвоживания посредством использования скребкового конвейера позволяет получить на выходе торфяную пульпу влагой 85 %.

Так как производительность конвейера по торфяной пульпе влагой 96% составляет 350 т/ч, определим производительность по сухому торфу (т/ч) (формула 2.19):

$$Q'_{\text{конв.а.с.в}} = \frac{Q_{\text{конв.по пульпе}}(100-\omega_1)}{\omega_1} \quad (2.19)$$

$$Q'_{\text{конв.а.с.в}} = \frac{350(100 - 96)}{96} = 14,58$$

Определим удельные энергетические затраты скребкового конвейера, МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч) (формула 2.20), учитывая часовую производительность конвейера по сухому торфу, масса торфа ( $m_{3 \text{ а.с.в}}$ ) составит 14,58 т:

$$Q'_4 = \frac{N_{4,3,6}}{m_{3 \text{ а.с.в}}} \quad (2.20)$$

$$Q'_4 = \frac{5 \cdot 3,6}{14,58} = 1,23$$

Оценим массу сухого торфа, обезвоженного посредством скребкового конвейера за 2 месяца работы при ежедневной работе в 21 час 57 мин, Т<sub>а.с.в.</sub> (формула 2.21).

$$M'_2 = m_{3 \text{ а.с.в}} t_{\text{см}} n \quad (2.21)$$

$$M'_2 = 14,58 \cdot 21,95 \cdot 60 = 19202$$

*Механическое отжатие торфяной пульпы.*

Установка обезвоживание представляет собой устройство понижения влагосодержания формуемого сырья при послойном механическом отжатии. Мощность установки принята 15 кВт, производительность до 25 т/ч. После установки торфяное сырье имеет влагу 72% и готово к трансферу циклическим транспортом от комплекса на борт карьера для дальнейшей переработки [16].

Так как производительность установки обезвоживания по торфяной пульпе влагой 82% составляет 76 т/ч, определим производительность по сухому торфу, (т/ч) (формула 2.22):

$$Q_{\text{уст.обезв.а.с.в}} = \frac{Q_{\text{уст.обезв.по пульпе}}(100-\omega_2)}{\omega_2} \quad (2.22)$$

$$Q_{\text{уст.обезв.а.с.в}} = \frac{76(100 - 82)}{82} = 16,69$$

Определим удельные энергетические затраты установки обезвоживания, МДж/(Т<sub>а.с.в.</sub> ч) (формула 2.23), учитывая часовую производительность установки обезвоживания по сухому торфу, масса торфа ( $m_{4 \text{ а.с.в}}$ ) составит 16,7 т:

$$Q'_5 = \frac{N_5 \cdot 3,6}{m_{4 \text{ а.с.в}}} \quad (2.23)$$

$$Q'_5 = \frac{15 \cdot 3,6}{16,7} = 3,23$$

Оценим массу сухого торфа отжатого в установке обезвоживания (формула 2.24) за 2 месяца работы при смене в 19 часов 10 минут, Т<sub>а.с.в.</sub>:

$$M'_3 = m_{4 \text{ а.с.в}} \cdot t_{\text{см}} \cdot n \quad (2.24)$$

$$M'_3 = 16,7 \cdot 19,16 \cdot 60 = 19202$$

Оценка энергопотребления и массы абсолютно сухого торфа для каждой операции базовой и предлагаемой технологии представлены в сводной таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Пооперационные энергозатраты для базовой и предлагаемой технологии за 60 дней работы с оценкой массы абсолютно сухого торфа

Операция	Базовая технология		Предлагаемая технология	
	Энергозатраты, МДж/(Т <sub>а.с.в.</sub> ч)	Масса, Т <sub>а.с.в.</sub> :	Энергозатраты, МДж/(Т <sub>а.с.в.</sub> ч)	Масса, Т <sub>а.с.в.</sub> :
Добыча торфяного сырья	150,5	19202	150,5	19202
Гидротранспорт	14,4	19202	—	—
Омагничивание	—	—	0,3	19202
Обезвоживание	—	—	—	—
Полевое	0,015*	320,04	—	—
Гравитационное	—	—	1,23	19202
Механическое	—	—	3,23	19202
Суммарные значения	(150,5+14,4)60·12=118728	320,04	(150,5+0,3)60·12+60(1,23·21,95+3,23·19,16)=113909	19202
Удельные затраты энергии на производство торфа за 60 дней, МДж/ч	118728/320,04=371	—	113909/19202=5,93	—
Потребная площадь для полевой сушки	3,84 км <sup>2</sup>	—	—	—

\*в балансе затрат энергии не учитывается

#### 2.4 Выводы по главе 2

1. Проведенные исследования позволили сформировать структуру горного оборудования добычи и переработки торфяного сырья предлагаемой гидромеханизированной технологии.

2. Разработана логическая схема оценки энергозатрат гидромеханизированной добычи торфяного сырья и его механического обезвоживания с интенсификацией процесса омагничиванием на борту добычного агрегата.

3. На основе логической схемы оценки энергозатрат гидромеханизированной добычи торфяного сырья и его механического обезвоживания с интенсификацией процесса омагничиванием на борту добычного агрегата выполнена оценка материального баланса переработки торфяного сырья комплексом и ее сравнение с удельными затратами энергии на производство торфа базовой технологии добычи с применением земснаряда и разливом добытого сырья на поля сушки. Предлагаемая технология и комплекс горного оборудования для ее реализации обладают заметными преимуществами в сравнении с базовым вариантом.

## **ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИФИКАЦИИ СНИЖЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТОРФЯНОЙ ПУЛЬПЫ**

### **3.1. Программа проведения экспериментальных исследований**

В соответствии с поставленной целью и задачами исследования разработана программа экспериментальных исследований:

1. отбор и подготовка проб торфяного сырья;
2. проведение анализа физико-механических свойств торфяного сырья;
3. подготовка оборудования для проведения лабораторных исследований;
4. проведение экспериментальных исследований по определению интенсивности влаглоотделения при омагничивании торфяной пульпы постоянным магнитным полем;
5. проведение экспериментальных исследований по определению интенсивности влагоотделения при омагничивании торфяной пульпы бегущим магнитным полем;
6. проведение экспериментальных исследований по определению интенсивности влагоотделения из проб торфяных пульп с различным содержанием анионов и катионов при омагничивании бегущим магнитным полем;
7. проведение экспериментальных исследований с физическим моделированием процесса обезвоживания торфа в гравитационном прессе;
8. обработка полученных данных и обобщение результатов экспериментальных исследований.

### **3.2. Полевой отбор исходного торфяного сырья**

Для подготовки торфяного сырья для дальнейших экспериментальных исследований была организована централизованная поездка на торфяное месторождение, с целью отбора проб и выполнения заготовок торфяного сырья

Было выбрано торфяное месторождение Заозерское Ломоносовского района Ленинградской области, участок №1021 (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Ленинградская область, Ломоносовский район, месторождение Заозерское

Отбор проб торфяной залежи проводился способом зондирования по методике отбора проб из залежи для лабораторных испытаний [52]. Зондирование производилось с использованием пробоотборочного торфяного бура ТБГ-1 с закрывающимся челноком (рисунок 3.2).

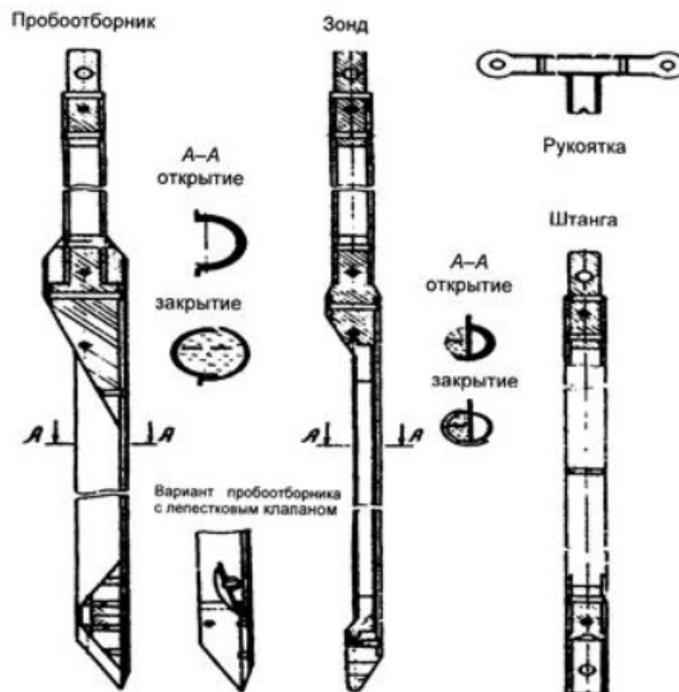


Рисунок 3.2 – Конструкция торфяного бура пробоотборочного ТБГ-1 [52]

Отбор проб проводился вертикальным погружением пробоотборника на глубину 0,5 м с последующим наращиванием длины штанги с шагом 0,5 м до момента появления в месте отбора препятствий. Зондирование осуществлялось с нескольких выбранных пикетных точек. Далее содержимое пробоотборника извлекалось и собиралось в пустую чистую тару. Отобранное торфяное сырье после сбора было доставлено для дальнейших экспериментальных

исследований на базе кабинета торфяной механики кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета.

### 3.3. Определение влаги исходного сырья

Для определения влаги исходного сырья образцы торфяных пульп передавались в центр инженерных исследований Санкт-Петербургского горного университета. Измерение влаги образцов торфяного сырья проводилось на поверенном анализаторе влажности AND MX-50.

Анализатор AND MX-50 – устройство для измерения влаги в материале термографическим методом (рисунок 3.3). Устройство представляет собой две рабочих части: аналитические весы и сушильный блок. Принцип работы анализатора влажности заключается в анализе влаги, которая испаряется при нагревании установленного в устройство образца материала. Последовательность действий следующая:

1. Взвешивание образца материала исходной влажности.
2. Сушка образца под воздействием теплового излучения.
3. Взвешивание образца материала после сушки под действием теплового излучения.
4. Расчет влажной составляющей образца материала [2].



Рисунок 3.3 – Анализатор влажности AND MX-50 [2]

Анализатор используется для определения влагосодержания в твердых, жидких и парообразных материалах максимальным весом образца 51 гр. методом нагрева, что позволяет получить точный результат с помощью 20 автоматических программ измерения с погрешностью до 0.01% влажности [1].

### 3.4. Определение напряженности магнитного поля

Для оценки напряженности магнитного поля при экспериментах использовался измеритель напряженности магнитного поля ИМАГ-400Ц (рисунок 3.4), технические характеристики магнитометра представлены в таблице 3.1.



Рисунок 3.4 – Технические характеристики измерителя напряженности магнитного поля ИМАГ-400Ц

Таблица 3.1 – Технические характеристики измерителя напряженности магнитного поля ИМАГ-400Ц

Наименование характеристики, единица измерения	Значение
Диапазон показаний, А/см (мТл)	1-750 (0,1-100)
Разрешение измерителя, А/см (мТл)	1 (0,1)
Предел допускаемого значения абсолютной погрешности, А/см мТл	$\pm(0,03H+2)$ $\pm(0,03H+0,2)$ H-измеряема величина
Рабочее напряжение питания измерителя от батареи 6F22, В	6-9
Потребляемый ток, мА, не более	12
Габаритные размеры, мм, не более	110×55×25
Масса измерителя с батареей питания, кг, не более	0,2

Продолжение Таблицы 3.1

Наименование характеристики, единица измерения	Значение
Средняя наработка на отказ, ч, не менее	5000
Среднее время восстановления работоспособного состояния, мин, не более	60
Установленный срок службы до списания, лет, не менее	8

В основе работы измерителя положен метод измерения напряженности магнитного поля преобразователем Холла. Конструктивно измеритель собран в одном корпусе, на верхней панели которого расположены жидкокристаллический индикатор, светодиод индикации полярности, кнопка работы в непрерывном режиме и кнопка работы в режиме измерения однократных импульсов поля.

Величина напряженности магнитного поля при экспериментах составляла 30 мТл, измерение осуществлялось с учетом направленности магнитного поля [19].

### 3.5. Экспериментальные исследования по воздействию на торфяную пульпу постоянным магнитным полем

Для лабораторных исследований по определению интенсивности влагоотделения от длительности воздействия постоянного магнитного поля на торфяную пульпу использовался магнитный сепаратор (рисунок 3.5), установленный в лабораторно-обогащительном блоке научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» (современное название).



Рисунок 3.5 – Магнитный сепаратор

Перед проведением экспериментальных исследований были сформированы группы проб, по три образца в каждой, одинакового состава и массы. Исходные массы образцов составляли по  $30 \pm 1$  г. Подготовленные группы проб с образцами подвергались магнитной обработке в постоянном магнитном поле и временем воздействия на них: 15 с, 30 с, 45 с, 60 с и базовой группы – не подвергаемой этой магнитной обработке. Оценка интенсивности влагоотделения проводилась путем периодического измерения массы влаги, отделяемой фильтрованием после омагничивания на протяжении получаса от начала процесса фильтрации [16].

Взвешивание образцов при их подготовке и измерения теряемой влаги проводилась на электронных лабораторных весах Госметр II класса точности, путем многократных равноточных измерений, для фиксации времени воздействия использовался секундомер механический стрелочный СОПр-2а-3000, цена деления по шкале 0,2 с. В эксперименте использовались приборы 2019 года выпуска, таким образом, их поверка не требовалась.

Результаты измерений усреднялись по группе и обрабатывались с выявлением функциональных зависимостей [16].

#### **Результаты экспериментальных исследований по воздействию на торфяную пульпу постоянным магнитным полем**

Для экспериментальных исследований было взято торфяное сырье исходной влагой 92%. После омагничивания (по 15 с, 30 с, 45 с, 60 с) постоянным магнитным полем и базовой– не подвергаемой этой магнитной обработке группы проб торфяных пульп по три образца в каждой фильтровались [19]. Интенсивность влагоотделения определялась путем периодического измерения массы влаги на протяжении получаса от начала процесса фильтрации, усредненные результаты эксперимента представлены в таблице 3.2. Пробы, подвергнутые магнитной обработке после процесса фильтрования с указанием максимально отфильтрованной массой влаги представлены на рисунке 3.6.

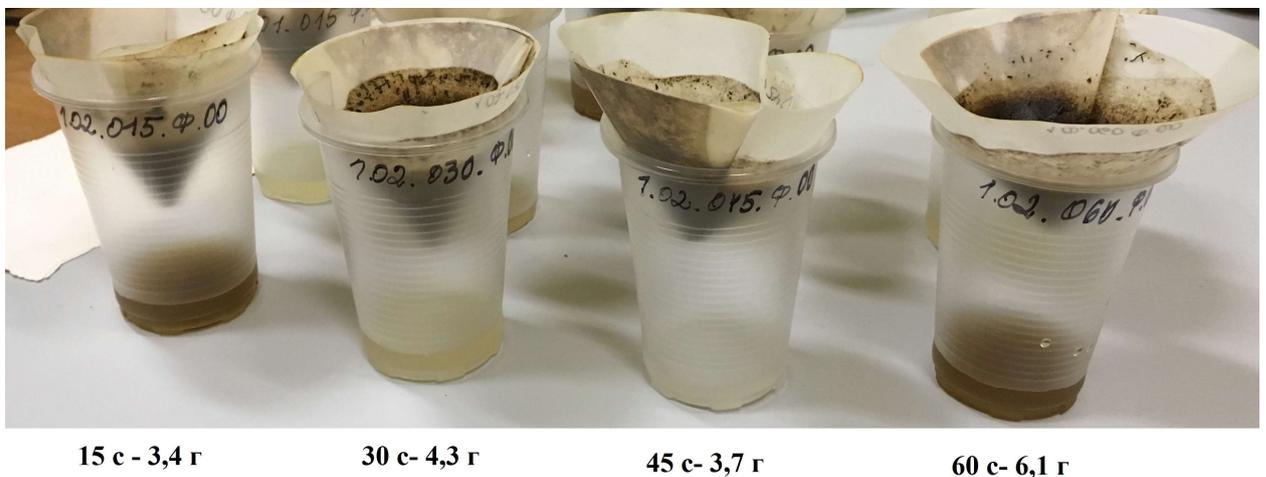


Рисунок 3.6 – Образцы проб после фильтрования

Таблица 3.2 – Усредненные результаты эксперимента по интенсивности влагоотделения торфяных пульп после воздействия на них постоянным магнитным полем

Время фильтрации, мин	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после омагничевания 15 с	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после омагничевания 30 с	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после омагничевания 45 с	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после омагничевания 60 с	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г базовой пробы
1	0,006	0	0	0	0
2	0,070	0,005	0,009	0,100	0,066
5	0,340	0,009	0,289	0,350	0,601
6	0,485	0,169	0,301	0,520	0,720
9	1,006	0,580	0,530	1,200	0,980
11	1,310	0,900	0,720	1,511	1,310
13	1,631	1,100	0,820	1,893	1,610
16	1,998	1,522	1,211	2,311	2,195
18	2,350	1,689	1,457	2,880	2,473
21	2,847	2,100	1,630	3,400	2,691
25	3,385	2,511	2,310	4,110	3,789
36	3,385	4,263	3,719	6,078	5,820

Результаты измерений усреднялись по группе и обрабатывались с выявлением функциональных зависимостей. Результаты обработанных данных представлены на рисунке 3.7 [16].

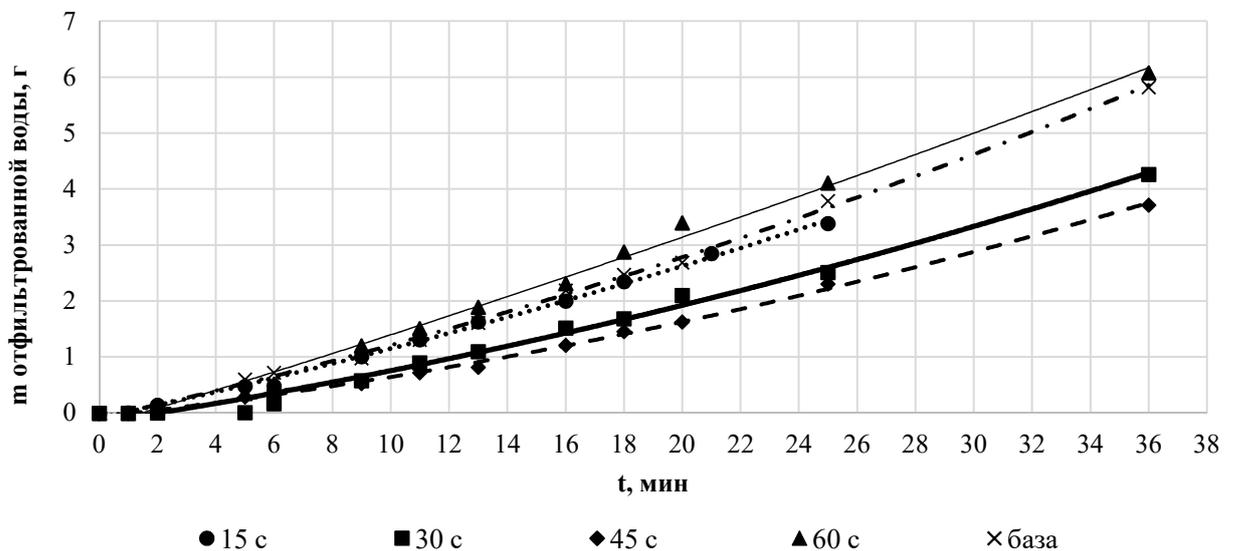


Рисунок 3.7 – Изменение интенсивности влагоотделения торфяных пульп до и после омагничевания постоянным магнитным полем [16]

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что воздействие на пульпу постоянного магнитного поля не дает выраженного положительного эффекта. Такое воздействие либо при длительном нахождении (60 с) в постоянном магнитном поле соизмеримо

с базовой (без омагничивания), либо ухудшает интенсивность влагоотделения при меньшей продолжительности воздействия постоянного магнитного поля [16].

Получены зависимости массы отделенной из пробы влаги ( $m$ , г) от времени фильтрации ( $t$ , мин) [16]:

— для проб после пятнадцатисекундного воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3} (1,2t^2 + 110t - 83) \quad (3.1)$$

— для проб после тридцатисекундного воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3} (1,2t^2 + 80t - 110) \quad (3.2)$$

— для проб после сорокапятисекундного воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3} (1,3t^2 + 58t - 37) \quad (3.3)$$

— для проб после шестидесятисекундного воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3} (0,9t^2 + 142t - 162) \quad (3.4)$$

— для проб без воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3} (1,5t^2 + 117t - 77) \quad (3.5)$$

Коэффициент детерминации для всех выявленных выражений  $R^2 = 0,99$ . Высокое значение  $R^2$  говорит о наличии выявленных реально существующих функциональных зависимостей.

### **3.6. Экспериментальные исследования по воздействию на торфяную пульпу бегущим магнитным полем**

При экспериментальных исследованиях интенсивности водотделения торфяной пульпы при омагничивании ее бегущим магнитным полем в качестве источника бегущего магнитного поля был взят статор однокиловаттного трехфазного электродвигателя [16] (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Статор трехфазного электродвигателя

Используемый статор является частью асинхронного электродвигателя, который можно назвать электромагнитным двигателем, так как вращающийся поток, созданный статором равнозначен электромагниту с бегущим магнитным полем. Статор является неподвижной частью асинхронного электродвигателя и конструктивно выполнен из корпуса, сердечника и обмоток. Корпус выполняет исключительно конструктивную функцию и в электромагнитном процессе не принимает участия. Сердечник – это полый цилиндр, в котором имеются внутренние пазы для обмотки в свою очередь сердечник изготавливается из листовой электротехнической стали. Конструктивно оси трехфазных обмоток статора смещены в по окружности на  $120^\circ$ , а концы обмоток отстоят от пазов начала на  $180^\circ$ . Таким образом, создается магнитное поле при подключении обмоток к трехфазному источнику питания.

Для экспериментальных исследований были подготовлены три типа проб для трех серий опытов, включая контрольную – не подвергаемую магнитной обработке и две идентичные группы, впоследствии подвергнутые пятнадцатисекундному воздействию бегущего магнитного поля однократно и двукратно.

После омагничивания каждая проба отфильтровывалась, производилась фиксация объема отфильтрованной влаги в течении времени. Для определения объема отфильтрованной влаги использовались лабораторные мерные колбы.

Результаты экспериментальных исследований по воздействию на торфяную пульпу бегущим магнитным полем.

Проведенные три серии опытов с подготовкой трех типов проб, включая контрольную – не подвергаемую магнитной обработке и две идентичные группы (рисунок 3.9), впоследствии подвергнутые пятнадцатисекундному воздействию бегущего магнитного поля однократно и двукратно показали хорошую повторяемость результатов.

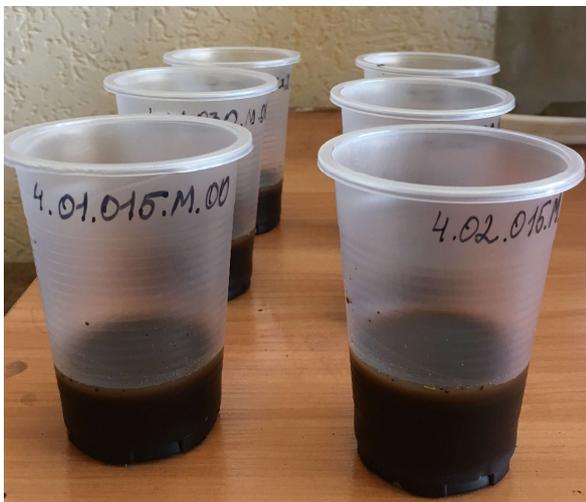


Рисунок 3.9 – Подготовленные образцы проб до магнитной обработки

Изучение влияния на интенсивности водотделения торфяной пульпы при омагничивании ее бегущим магнитным поле проводилось фильтрованием с фиксированием объема отфильтрованной влаги в течении времени [16]. Для определения объема отфильтрованной влаги использовались лабораторные мерные колбы (рисунок 3.10), усредненные результаты эксперимента представлены в таблице 3.3.

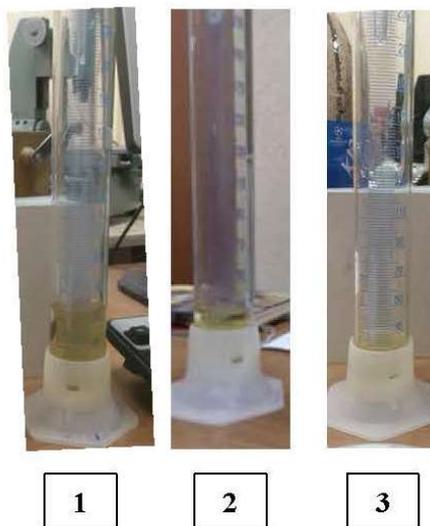


Рисунок 3.10 – Фильтраты первой серии эксперимента (промежуточный результат), где 1 – фильтрат пробы с однократным воздействием бегущего магнитного поля длительностью 15 с, 2 – фильтрат пробы с двукратным воздействием по 15 с бегущего магнитного поля длительностью 2×15 с, 3 – фильтрат пробы без воздействия магнитным полем

Таблица 3.3 – Усредненные результаты эксперимента по интенсивности влагоотделения торфяных пульп после воздействия на них бегущим магнитным полем

Время фильтрации	Усредненный объем отфильтрованной влаги, мл после однократного омагничивания 15 с	Усредненный объем отфильтрованной влаги, мл после двукратного омагничивания по 15 с (2×15 с)	Усредненный объем отфильтрованной влаги, мл без воздействия магнитным полем
Номер на графике	1	2	3
15 с	5	—	—
20 с	10	—	—
30 с	15	—	—
50 с	18	—	—
1 мин	20	4	—
2 мин	22,5	—	—
2 мин 30 с	—	6	3
3 мин	24	—	—
4 мин	25,5	—	—
5 мин	—	—	6
6 мин	28	15	—
8 мин	31	18	—
9 мин	33	—	—
10 мин	—	20	12
11 мин	34	—	—
12 мин	—	22,5	—
13 мин	—	—	15
14 мин	—	24	—
15 мин	36	—	18
16 мин	—	—	20
17 мин	—	26	—
18 мин	36,5	—	22,5
21 мин	—	28	24,5
22 мин	37	—	—
23 мин	—	—	26
25 мин	—	30	27
26 мин	—	31	—
27 мин	37,5	—	—
28 мин	—	—	30
30 мин	—	—	32
31 мин	38	—	—
32 мин	38	35	—

Результаты сравнительно анализа эксперимента представлены на рисунке 3.11, где 1 – усредненные значения серии из трех экспериментов проб с однократным воздействием бегущего магнитного поля длительностью 15 с, 2 – усредненные значения серии из трех экспериментов проб с двукратным воздействием по 15 с бегущего магнитного поля

длительностью  $2 \times 15$  с, 3 – усредненные значения серии из трех экспериментов контрольной пробы без воздействия магнитным полем [16, 94].

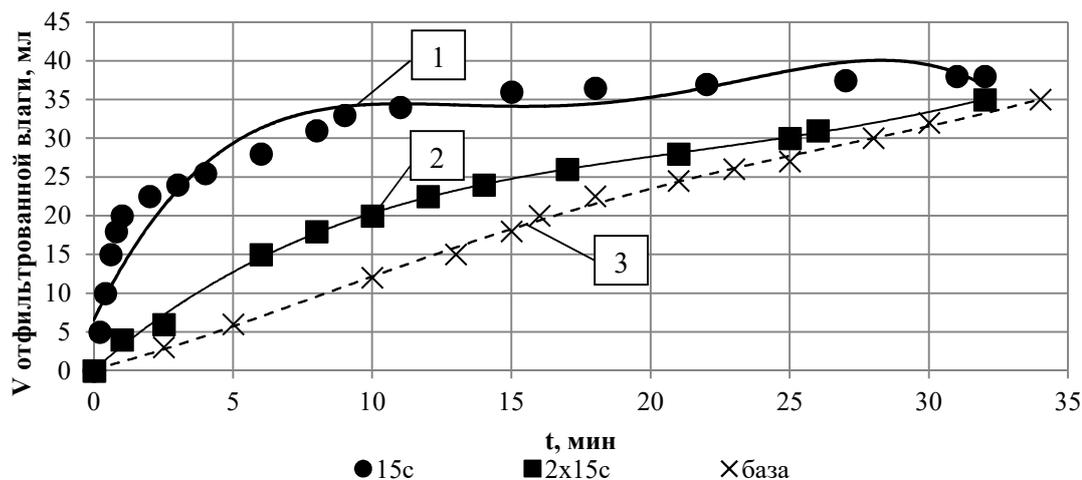


Рисунок 3.11 – Изменение интенсивности влагоотделения торфяных пульп до и после омагничивания в бегущем магнитным полем [16]

Из представленных результатов исследования можно сделать вывод, что интенсивность влагоотделения при кратковременном воздействии бегущего магнитного поля в 1,5 раза больше, чем у контрольной пробы, при этом повторное омагничивание, способствуя процессу влагоотделения, дает значительно меньший эффект. Получены зависимости объема отфильтрованной влаги ( $V$ , мл) от времени фильтрации ( $t$ , мин) [16]:

— для проб с однократным воздействием бегущего магнитного поля [16]

$$V = 10^{-4} (-4t^4 + 283t^3 - 713t^2) + 7,47t + 6,53 \quad (3.6)$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,93$ .

— для проб с двукратным воздействием бегущего магнитного поля

$$V = 10^{-5} (-2t^4 + 310t^3 - 14330t^2) + 3,168t + 0,078 \quad (3.7)$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,99$ .

— для контрольной пробы без воздействия бегущего магнитного поля

$$V = 10^{-5} (-4t^4 - 270t^3 + 5220t^2) + 0,91t + 0,2 \quad (3.8)$$

С коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,99$ .

Высокие значения  $R^2$  говорят о наличии выявленных реально существующих функциональных зависимостях.

### 3.7. Оценка состава водной составляющей торфяной пульпы на обезвоживание торфа

Основной проблемой добычи торфяного сырья на обводненных месторождениях является снижение влаги добытого торфяного сырья [16]. Важная роль в проявлении ассоциативных

взаимодействий в торфе принадлежит воде. Это обусловлено не только большой концентрацией влаги, но и различными состояниями воды в торфе и ее энергетической связи [73], влага в торфе находится в пяти видах: свободная, отделяемая под действием сил тяжести, капиллярная и коллоидная, удаляемая при высушивании торфа, внутриклеточная и химически связанная – гидратная [16, 112].

Торфяная пульпа является раствором сложного состава с очень широким диапазоном содержания растворенных соединений как по их числу, так и по концентрации. По окислительно – восстановительным условиям торфяная пульпа представляет собой систему, для которой характерны ассоциации окислителей ( $O_2$ ,  $Fe^{3+}$ ) и восстановителей (растворенные гуминовые кислоты и  $Fe^{2+}$ ). Известно, что торфяные месторождения представляют собой благоприятную среду для накопления таких элементов как кальций и магний. Данные элементы обуславливают ряд важнейших физико-химических свойств торфа. Изменение содержания кальция, например, приводит к перестройке микроструктуры торфа, а также к изменению его кислотности, водно-физических и многих других свойств [73].

Хочется отметить, что углубленный анализ химического состава торфяной пульпы не входит в задачи диссертационного исследования, выполненный анализ выступает лишь основанием для определения закономерностей процесса влагоотделения из проб разного химического состава.

Для количественной оценки показателей воды подготовленных проб отдавались в аккредитованную лабораторию с получением протоколов испытаний [16] представлены в Приложениях А- В.

### **3.8. Оценка влияния ионов на интенсивность снижения влагосодержания торфяной пульпы**

Были проведены экспериментальные исследования интенсивности влагоотделения из проб торфяных пульп с различным содержанием анионов и катионов при омагничивании их бегущим магнитным полем, для подтверждения теоретических исследований вопроса разрушения прочной связи, существующей между твердой субстанцией торфа и водой, в нем содержащейся, которые вместе образуют коллоидальную систему [16, 17, 130]. В качестве источника бегущего магнитного поля был взят статор однокиловаттного трехфазного электродвигателя [16], описанный ранее в разделе 3.6.

Проводились серии опытов с фильтрацией проб торфяных пульп, специально подготовленного состава, влага которых различалась по химическому составу [16] (смотри раздел 3.7). Всего было 3 типа проб с различным химическим составом, группы проб по девять образцов в каждой подвергались сериям опытов по магнитному воздействию бегущим

магнитным полем на три пробы каждой группы, первая серия опытов – время омагничивания пятнадцать секунд (15 с); вторая серия – двукратное омагничивание по пятнадцать секунд ( $2 \times 15$  с); третья серия – время омагничивания тридцать секунд (30 с). Оценка интенсивности влагоотделения проводилась путем периодического измерения массы влаги, отделяемой фильтрованием [16]. Усредненные результаты эксперимента представлены в таблицах 3.4-3.6.

Таблица 3.4 – Усредненные результаты эксперимента по интенсивности влагоотделения торфяной пульпы с умеренным содержанием солей (сульфатов и хлоридов) ( $\pm$ ) после воздействия бегущим магнитным полем

Время фильтрации, мин	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после однократного омагничивания 15 с	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после двукратного омагничивания по 15 с ( $2 \times 15$ с)	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после омагничивания 30 с
1	5,15	2,79	4,57
2	13,53	8,48	10,77
3	17,27	12,41	13,23
4	24,17	16,13	17,05
5	25,4	18,43	18,76
<b>10</b>	<b>34,61</b>	<b>26,64</b>	<b>28,39</b>
15	39,85	30,41	34,18
20	43,86	33,14	38,89

Таблица 3.5 – Усредненные результаты эксперимента по интенсивности влагоотделения торфяной пульпы с повышенным содержанием катионами  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  (Fe) после воздействия бегущим магнитным полем

Время фильтрации, мин	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после однократного омагничивания 15 с	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после двукратного омагничивания по 15 с ( $2 \times 15$ с)	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после омагничивания 30 с
1	54,08	14,65	25,99
2	72,23	26,69	51,08
3	73,23	43,16	59,21
4	78,11	47,55	66,62
5	83,49	55,26	74,98
6	85,76	60,85	80,72
7	87,56	64,24	84,54
8	89,05	66,93	86,93
9	89,89	70,15	89,03
<b>10</b>	<b>90,37</b>	<b>73,87</b>	<b>90,28</b>

Таблица 3.6 – Усредненные результаты эксперимента по интенсивности влагоотделения торфяной пульпы с высоким содержанием гидрокарбонатов и катионов  $Mg^{2+}$  (Mg) после воздействия бегущим магнитным полем

Время фильтрации, мин	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после однократного омагничивания 15 с	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после двукратного омагничивания по 15 с ( $2 \times 15$ с)	Усредненная масса отфильтрованной влаги, г после омагничивания 30 с
2	0,8	0,38	0,54
4	2,23	1,25	1,74
6	3,26	2,26	2,64
8	3,9	3,34	3,64
<b>10</b>	<b>4,29</b>	<b>3,5</b>	<b>3,9</b>
12	5,28	5,05	5,27
14	7,14	5,84	5,93
19	8,46	7,8	8,05
22	9,65	8,79	9,16
25	11,09	9,93	11,02

Результаты сравнительно анализа эксперимента представлены на рисунке 3.12 с учетом цензурируемых по времени данным. Последние взяты в качестве средних значения массы групп проб (по девять образцов в каждой) полученные по 10-ю минуте фильтрации, по истечении времени фильтрации для торфяной пульпы с повышенным содержанием катионами  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  (Fe) [16].

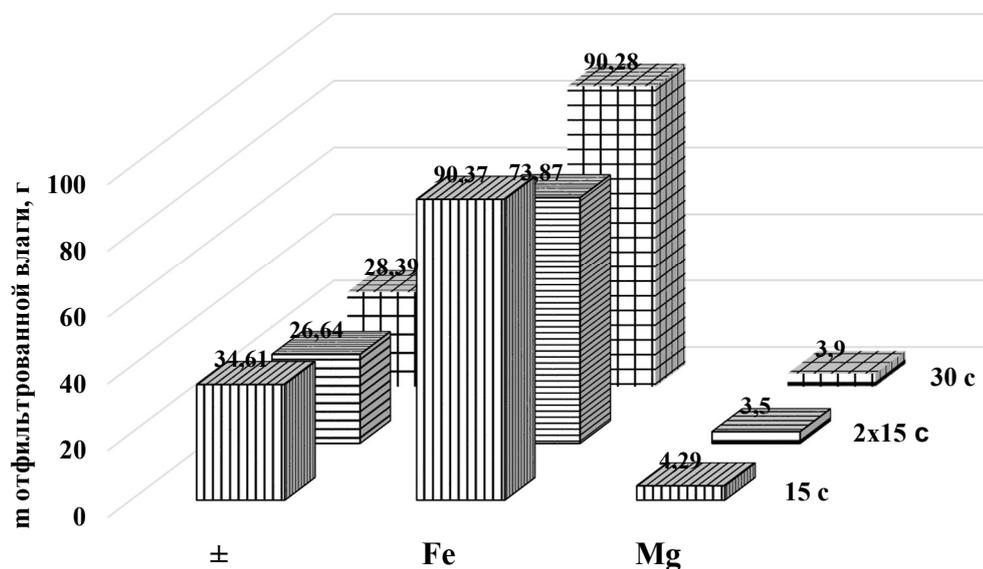


Рисунок 3.12 – Интенсивность влагоотделения торфяных пульп с различным катионно-анионным составом воды после омагничивания бегущим магнитным полем [16]

Анализируя полученные в ходе экспериментов данные (рисунок 3.12), следует подтвердить, что наличие в торфяной пульпе катионов железа положительно влияет на процесс

влагоотделения, интенсивность этого процесса более чем в 4 раза при концентрации железа 0,02% интенсивней происходит у пробы 2 по сравнению с остальными [17]. Схожие тенденции были выявлены в исследованиях гидроторфа [49]. Отделение воды из пульпы путем фильтрования под действием гравитационных сил жидкости у пробы, обогащённой катионами  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  происходит в первые 10 минут фильтрации от начала ее проведения (рисунок 3.13). Выполяживание этого процесса можно объяснить засорением фильтрующей поверхности. При этом лучшим для интенсификации обезвоживания торфяной пульпы под действием бегущего магнитного поля является ее однократное омагничивание, так как при повторном воздействии магнитного поля на уже омагниченный образец наблюдается снижение интенсивности этого процесса, объясняемую тем, что при двукратном омагничивании происходит упорядочение молекул воды в новые плотные ассоциации, которые обволакивают частицы торфа и прочно удерживают их, при этом количество свободной воды уменьшается, а прочносвязанной – увеличивается [16].

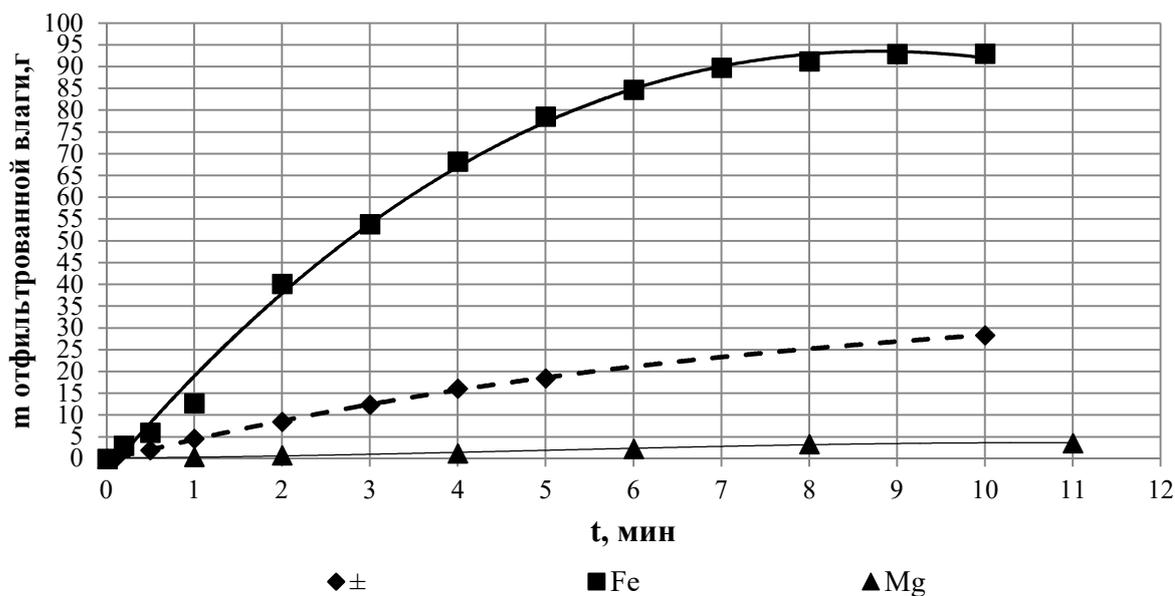


Рисунок 3.13 – Интенсивность влагоотделения торфяных пульп с различным катионно-анионным составом воды после пятнадцатисекундного омагничивания бегущим магнитным полем [16]

Получены зависимости массы отфильтрованной влаги ( $m$ , г) от времени фильтрации ( $t$ , мин) [16]:

— для проб с умеренным содержанием солей ( $\pm$ )

$$m = 10^{-2} (0,81t^3 - 31t^2 + 515t - 43) \quad (3.9)$$

— для проб с содержанием катионов железа (Fe)

$$m = 10^{-2} (2,4t^3 - 167t^2 + 2399t - 339) \quad (3.10)$$

— для проб с содержанием гидрокарбонатов и катионов магния (Mg)

$$m = 10^{-2} (-0,49t^3 + 7,2t^2 + 11,55t + 12,7) \quad (3.11)$$

Все выявленные функциональные зависимости имеют коэффициент детерминации  $R^2 = 0,99$ .

### 3.9. Экспериментальные исследования обезвоживания торфа под действием внешней нагрузки

Для интенсификации процесса отделения влаги отжатию под действием внешней нагрузки проводились эксперименты с физическим моделированием процесса обезвоживания торфа в гравитационном прессе, в качестве пресса с нагрузкой был разработан стенд с винтовым прессом (рисунок 3.14), воздействующим на пуансон в контейнере цилиндрической формы [16] (рисунок 3.15) с перфарированным дном ( $Rv=3$  и площадью перфорации 23%) в виде донной сетки (рисунок 3.16) [117]. Конструкцией винтового пресса предусмотрена тарелка с желобом для сбора отжатой влаги, под тарелку устанавливался поддон для сбора отжатой влаги и ее взвешивание в зависимости от приложенного усилия. Винтовой пресс на нижнем конце винта имеет шарнирно закрепленный поршень, на верхнем конце - рукоятку для вращения винта. Для определения давления отжатия при ручной регулировке хода поршня производилась фиксация показаниями динамометра.



Рисунок 3.14 – Общий вид установки с винтовым прессом

На установке проводилось отжатие проб различной исходной толщины загрузки для установления оптимальной толщины отжимаемого слоя при заданной величине влаги торфяной пульпы после отжатия, обеспечив заданную производительность комплекса.



Рисунок 3.15– Цилиндрическая камера с пуансоном

Камера состоит из полого стального цилиндра высотой 0,08 м и диаметром цилиндра 0,082 м. Прессование загруженного торфяного сырья в камеру осуществляется пуансоном. В камеру устанавливается съемная донная сетка с круглой перфорацией со смещенными рядами отверстий типа Rv.



Рисунок 3.16 – Съемная донная сетка

Образец торфяного сырья помещается в стальной цилиндр с перфорированной донной сеткой без дополнительного уплотнения с определением и фиксацией исходной толщины загрузки торфяной пульпы. Далее проводилось отжатие торфяной гидроторфомассы, отжатая

влага стекает в тарелку винтового пресса через перфорированное дно и поступает в установленный поддон, вес отжатой влаги взвешивался на лабораторных весах. Образец торфяной пульпы сразу после обезвоживания в гравитационном прессе представлен на рисунке 3.17, образец торфяной пульпы после нескольких дней сушки на открытом воздухе после обезвоживания в гравитационном прессе представлен на рисунке 3.18. Полученные данные использовались для определения параметров пресса модуля обезвоживания, обеспечивающего заданную производительность при достижении удовлетворительного уровня отжатия торфяного сырья на борту автономного добывающе-перерабатывающего комплекса [16].



Рисунок 3.17 – Образец торфяной пульпы сразу после обезвоживания в гравитационном прессе



Рисунок 3.18 – Образец торфяной пульпы после нескольких дней сушки на открытом воздухе после обезвоживания в гравитационном прессе

Оценка влагоотделения при отжати торфяной пульпы проводилась путем измерения массы влаги, отделяемой при увеличении нагрузки. Усредненные результаты эксперимента представлены в таблицах 3.7-3.9.

Таблица 3.7 – Усредненные результаты эксперимента влагоотделения при отжати торфяной пульпы с толщиной отжимаемой пульпы 19,06 мм

Нагрузка, МПа	Усредненная масса отжатой влаги, г	Усредненная влага торфа, %	Толщина слоя, мм
0	0	96	19,06
0,01	19,935	92,67	13,09
0,02	53,935	86,50	8,33
0,05	55,535	84,00	7,93
0,1	65,935	81,37	7,61
0,14	66,875	80,72	7,22
0,26	68,935	79,28	6,67
0,3	69,521	78,00	6,34
0,4	72,342	77,01	5,94
0,5	75,236	76,00	5,34
0,6	77,935	75	3,55

Таблица 3.8 – Усредненные результаты эксперимента влагоотделения при отжати торфяной пульпы с толщиной отжимаемой пульпы 27,66 мм

Нагрузка, МПа	Усредненная масса отжатой влаги, г	Усредненная влага торфа, %	Толщина слоя, мм
0	0	96	27,66
0,01	68,023	92,16	14,12
0,02	80,565	90,57	11,73
0,05	89,345	88,87	11,21
0,07	94,570	87,63	10,95
0,17	96,781	86,42	10,20
0,25	97,561	85,50	9,94
0,40	98,435	84,60	8,95
0,5	102,304	84,00	8,15
0,6	105,210	83,63	6,76

Таблица 3.9 – Усредненные результаты эксперимента влагоотделения при отжати торфяной пульпы с толщиной отжимаемой пульпы 42,97 мм

Нагрузка, МПа	Усредненная масса отжатой влаги, г	Усредненная влага торфа, %	Толщина слоя, мм
0	0	96	42,97
0,01	97,52	95,30	23,56
0,02	109,68	94,77	21,17

Продолжение таблицы 3.9

Нагрузка, МПа	Усредненная масса отжатой влаги, г	Усредненная влага торфа, %	Толщина слоя, мм
0,03	117,77	94,35	19,57
0,04	125,51	93,85	17,98
0,06	132,02	93,33	16,59
0,21	139,52	92,72	15,20
0,30	142,31	92,60	14,76
0,40	145,22	92,40	14,20
0,50	146,12	92,00	13,53
0,60	147,52	91,86	13,06

Результаты эксперимента изменения усредненной влаги торфа при росте давления в процессе прессования в зависимости от отношения толщины слоя отжимаемой пульпы к толщине слоя отжатой пульпы без выдержки под нагрузкой представлены на рисунке 3.19 [16].

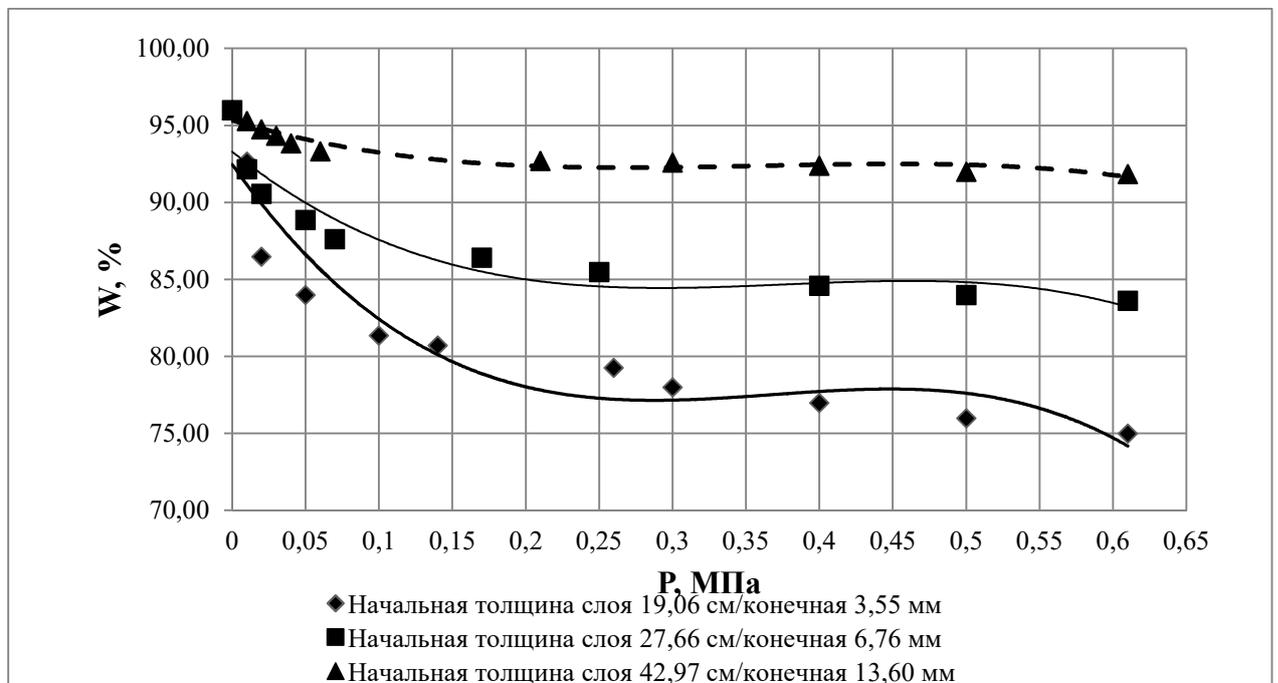


Рисунок 3.19 – Изменение усредненной влаги в торфяных образцах с разной толщиной загрузки сырья в пресс при увеличении нагрузки [16]

Получены зависимости влаги торфяного сырья ( $W$ , %) от нагрузки ( $P$ , МПа) [16]:

— для слоя начальной толщины 19,06 см

$$W = -351,2P^3 + 387,5P^2 - 135,7P + 92,5 \quad (3.12)$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,9$ .

— для слоя начальной толщины 27,66 см

(3.13)

$$W = -189,7P^3 + 214,5P^2 - 76,7P + 93,3 \quad (3.14)$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,89$ .

— для слоя начальной толщины 42,97 см (3.15)

$$W = -78,6P^3 + 85P^2 - 28,7P + 95,3;$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,92$ .

Полученные значения коэффициента детерминации  $R^2$  говорят о наличии выявленных реально существующих функциональных зависимостей.

Рациональным давлением отжатия является величина в 0,6 МПа, увеличение продолжительности действия нагрузки критически не влияет на интенсификацию процесса обезвоживания [117], что подтверждает теорию о удалении основного количества влаги в первые минуты при механическом отжиме и условном делении процесса обезвоживания на две области: первая, при небольших значениях давлений возможно снизить влагу торфа с показателя 90% до 80%, а во второй области, для снижения влаги ниже 80% необходимо значительно увеличивать давление нагрузки, рациональным показателем определена влага 75% [16, 29, 101, 118].

### 3.10. Выводы по главе 3

1. На основе выявленных теоретических предположений и для проверки полученных данных, в рамках темы диссертационного исследования была разработана методика экспериментальных исследований.

2. В соответствии с разработанной программой был спланирован и организован выезд для полевого сбора образцов торфяного сырья для последующих лабораторных исследований.

3. По разработанным методикам экспериментальных исследований в лабораторных условиях были определены: интенсивность влагоотделения при омагничивании торфяной пульпы постоянным магнитным полем; интенсивность влагоотделения при омагничивании торфяной пульпы бегущим магнитным полем.

4. Была проведена оценка состава водной составляющей торфяных пульп на обезвоживание торф, экспериментальные исследования по определению интенсивности влагоотделения из проб торфяных пульп с различным содержанием анионов и катионов при омагничивании бегущим магнитным полем.

5. Для обоснованного выбора параметров пресса модуля обезвоживания, обеспечивающего заданную производительность при достижении удовлетворительного уровня отжатия торфяного сырья на борту комплекса проводились экспериментальные исследования по интенсификации процесса отделения влаги отжатием под действием внешней нагрузки.

## ГЛАВА 4 РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МОДУЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

### 4.1. Предлагаемая технология гидромеханизированной добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле

Учитывая выявленные и выше представленные закономерности и тенденции интенсификации влагопонижения торфяного сырья обратимся к реализации данного подхода в торфодобыче на обводненных месторождениях [13,16, 92].

Для выполнения добычных работ на обводненном месторождении торфа, как было предложено в разделе 2.1, используется землесосный снаряд, оснащенный фрезерно-шнековым разрыхлителем прямого вращения (по ходу движения земснаряда), работающий с низкими окружными скоростями и большими подачами на фрезы [105]. Частота вращения режущих фрез составляет 0,33-0,5 Гц, глубина резания до 50 мм, скорость подачи вдоль забоя 0,03-0,05 м/с и скорость потока на всасе составляет 1,5-2,5 м/с [16].

Для подачи пульпы от землесосного снаряда до плавучего комплекса используется всасывающий пульпопровод длиной в 30 м. Оценка величины потерь напора при движении гидроторфяной смеси и скорости потока с учетом содержания сухого вещества в торфяной пульпе позволяет использовать штатный (предлагаемый существующей технологией) всасывающий насос, а именно центробежный насос ГРу 1600/25 с подачей 1600 м<sup>3</sup>/ч и мощностью 315 кВт [16].

За плавучую базу выбран комплекс, содержащий плавучее основание с расположенными на нем механизмом движения, технологическими автономными модулями с входными и выходными элементами стыковки с автономными технологическими модулями (Патент РФ № 2 599 117) [16, 96, 114]. Для создания возможности круглогодичной добычи торфяного сырья на обводненных месторождениях, а именно обеспечения работы комплекса в зимние периоды предлагается техническое решение по созданию над комплексом оборудования защитного пространства для этого предложено и запатентовано «Трансформируемое сооружение – укрытие» (Патент №2672366), представлено в Приложении Г [18, 95]. На рисунке 4.1 схематично представлен комплекс оборудования реализующий технологию гидромеханизированной добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле, где 1 – плавучая база, 2 – фрезерно-шнековый рыхлитель, 3 – всасывающая линия, 4 – всасывающий пульпопровод, 5 – установка обезвоживания, 6 – трансформируемое сооружение– укрытие.

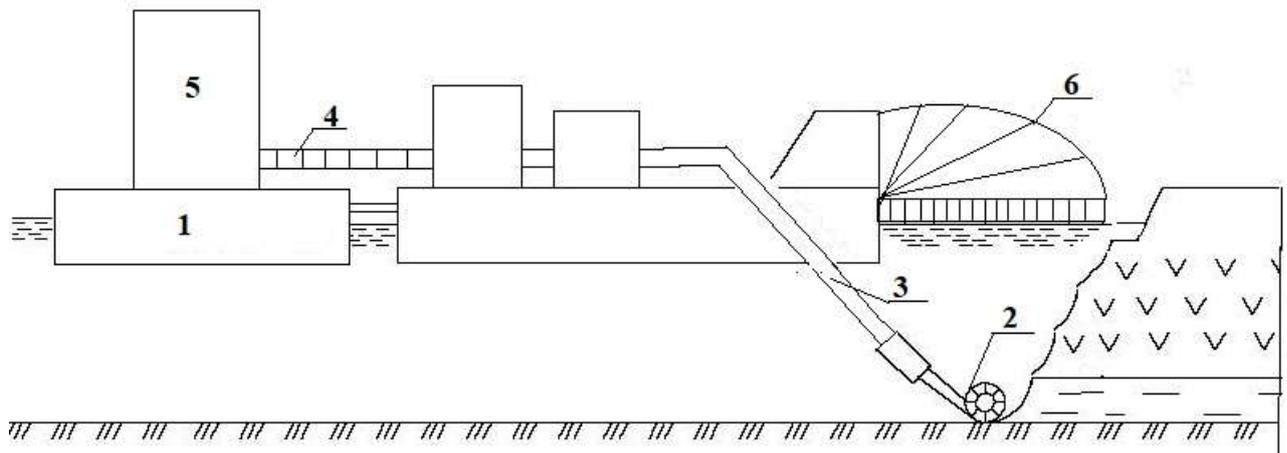


Рисунок 4.1 – Тандем земснаряда с установкой обезвоживания торфа

Укрытие позволяет создать дополнительное пространство над частью месторождения в месте добычи, защищая от внешних погодных условий (ветра, дождя, снега) и обеспечивает комфортные условия для работы техники.

Поступая на борт плавучего комплекса, торфяная пульпа для доставки на установку послышного механического отжатия проходит процесс омагничивания в бегущем магнитном поле напряженностью  $30 \cdot 10^9$  А/м в течение 10-15 с что обеспечивается индуктором длиной 15 м, расположенной на конце трубопровода. Как показывает качественный анализ торфяной влаги пульпы содержание ионов железа достаточно для проведения эффективной магнитной обработки, при низком содержании катионов железа предполагается ее коагулирование коллоидальным раствором окиси железа концентрацией 0,02% [16]. Омагниченная пульпа подается на скребковый конвейер (Патент РФ № 2152343) первичного гравитационного обезвоживания (рисунок 4.2). Скребковый конвейер для обезвоживания транспортируемого материала включает привод, рештачный став из секций, дно которых выполнено в виде шпальтовых сит, тяговый орган - цепи со скребками, на которых закреплены передние относительно направления перемещения материала очистители и натяжную головку. Скребок оснащен очистителем, который образует полость, позволяющую увеличить скорость и глубину обезвоживания сырья [16, 17].

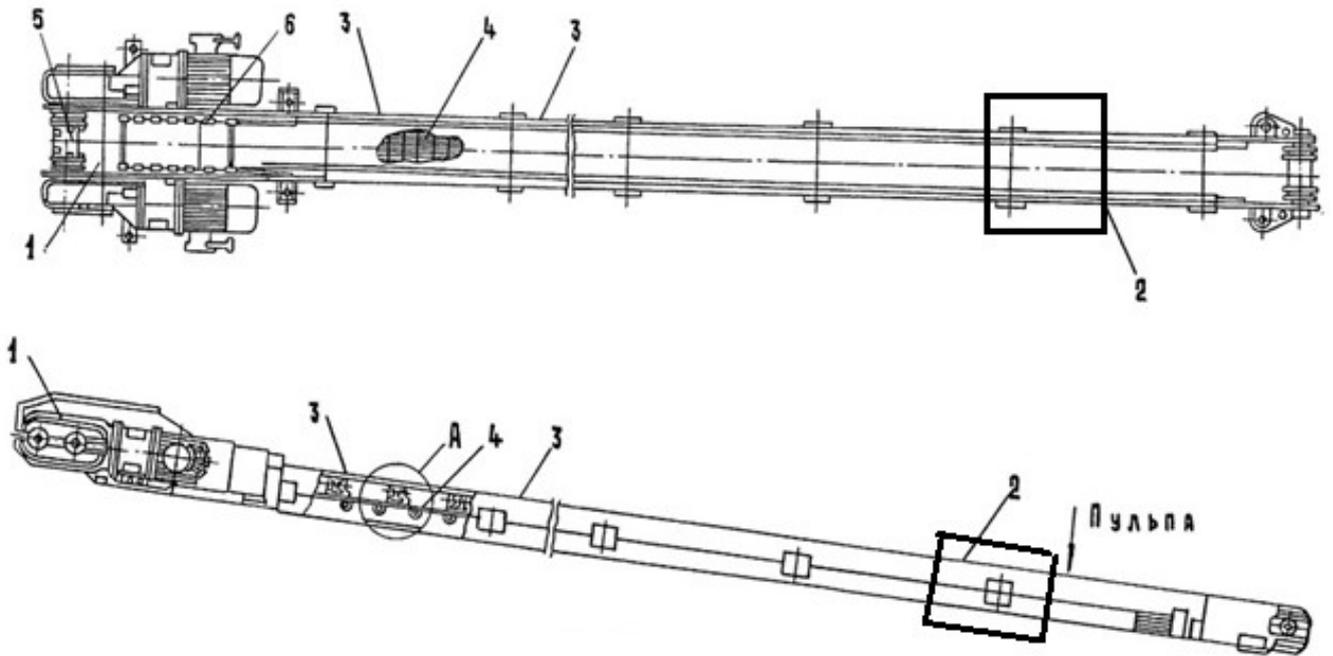


Рисунок 4.2 – Скребок-конвейер первичного гравитационного обезвоживания: где 1 – привод; 2 – решетчатый став; 3 – фильтрующие секции; 4 – шпальтовые сита; 5 – натяжная головка; 6 – тяговый орган

После гравитационного обезвоживания посредством использования скребок-конвейера торфяная пульпа влагой 85-86% подается на установку обезвоживания торфа [16].

Как было отмечено ранее решение проблемы гидродобычи торфа на обводненных месторождениях с исключением необходимости перекачки лишней влаги по протяженному напорному трубопроводу с возможностью снижения влаги добытого торфяного сырья непосредственно на борту комплекса является актуальным и требует своего решения. Для решения поставленных задач была разработана установка обезвоживания торфа (Патент РФ № 2720341) «Установка обезвоживания торфа» (Приложение Д), схема устройства установки представлена на рисунке 4.3.

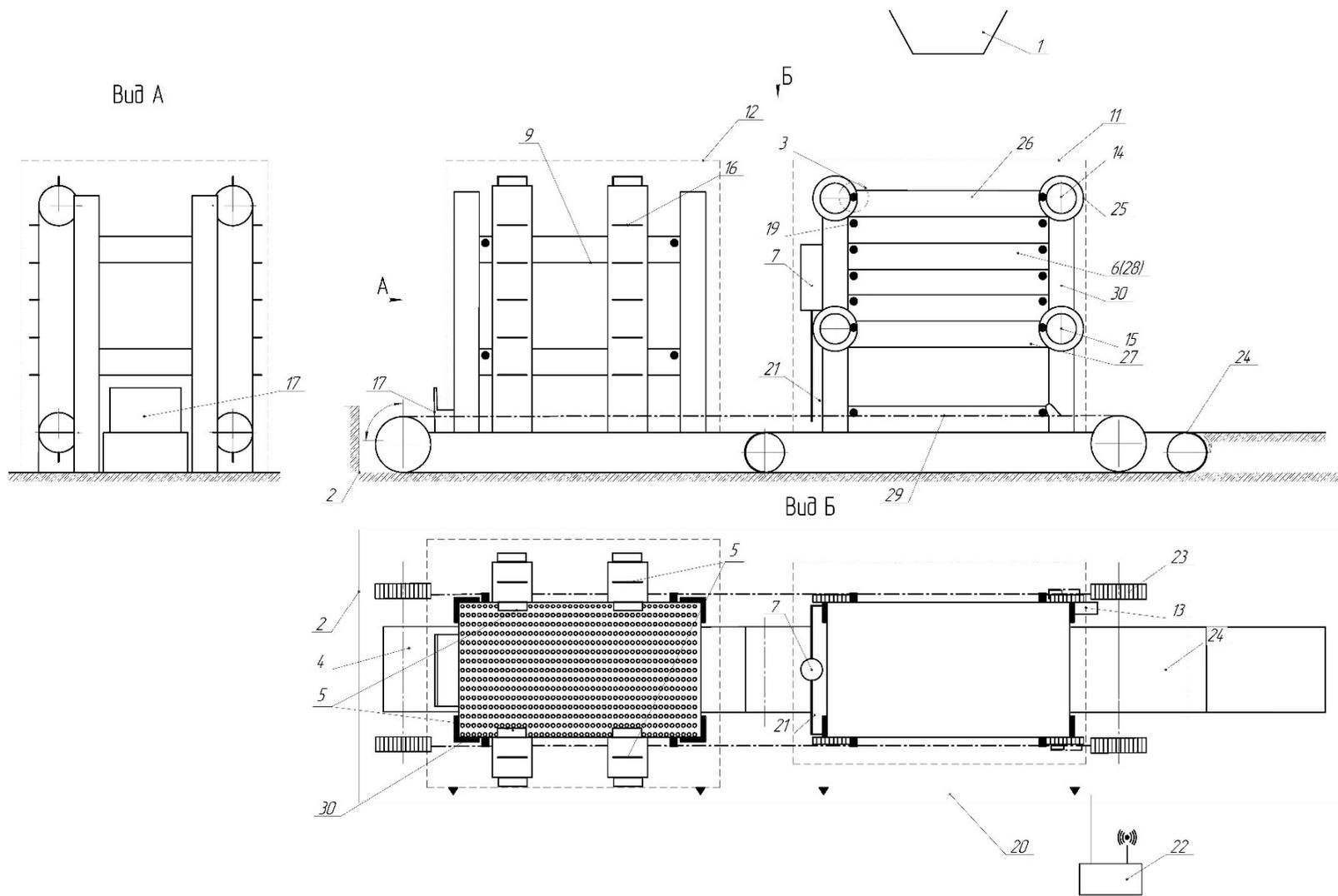


Рисунок 4.3 – Схема устройства установки обезвоживания торфа

Установка для обезвоживания торфа, содержит дозировочный бункер 1, станину с направляющими 2, жестко установленными вертикально в колодце спуска 11 и колодце подъема 12 поддонов, горизонтально-подвижный питатель с приводами 4, подъемник поддонов 5 и вертикально подвижный пригруз 7. Поддоны 6 выполнены вкладываемыми, имеют уклоны поддонов 8 и двойное дно: первое – фильтрующее дно поддона 10 и второе – наружное дно поддона 9, а также откидную торцевую стенку 18, которая скреплена с поддоном, например, петлей. Наружное дно поддона 9 и фильтрующее дно поддона 10 не соприкасаются друг с другом. Наружное дно поддона 9 выполнено толстостенным, не гладким с наружной стороны, например, с выступами. Упоры поддонов 19 выполнены в виде цевок и расположены на боковых стенках в верхней их части так, что вкладываемость поддонов не нарушена (рисунок 4.4)

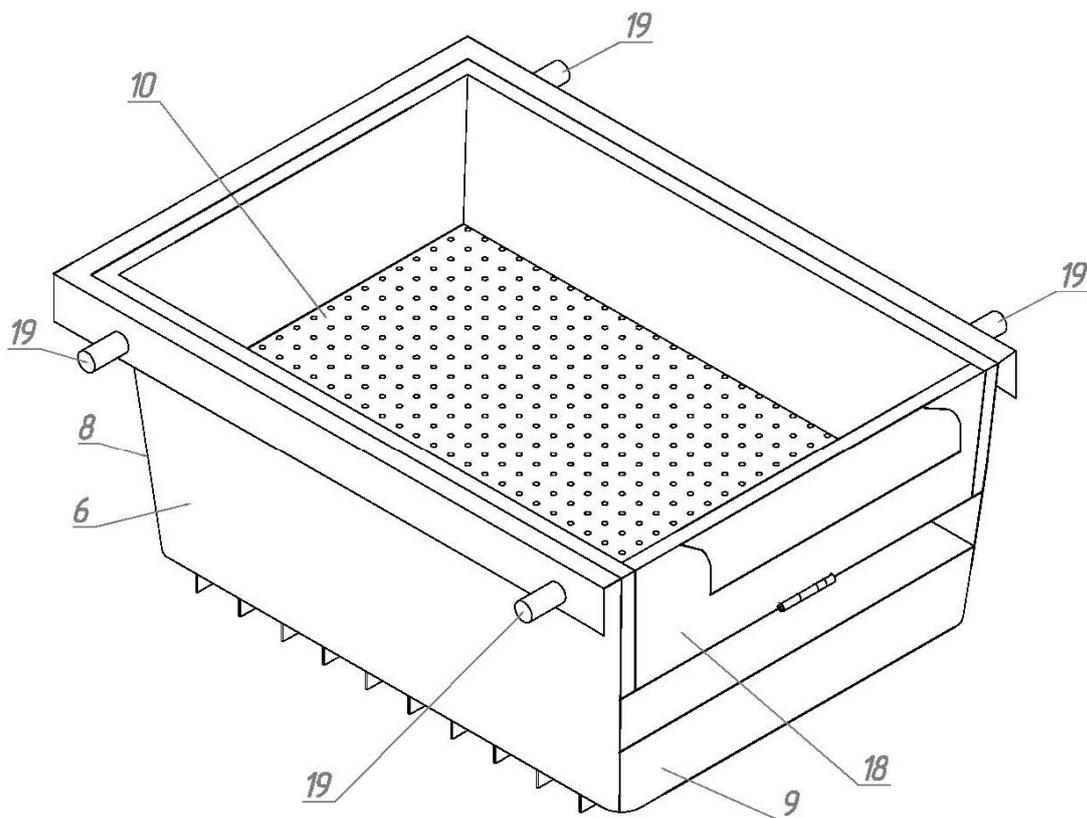


Рисунок 4.4 – Общий вид поддона установки обезвоживания торф

В колодце спуска 11 стационарно установлены средства отвода влаги 13 и приводной механизм передачи поддонов 3 с приводом удержания 14 и приводом выпуска 15. В свою очередь, привод удержания 14 и привод выпуска 15 выполнены в виде цевочных колес с приводами 25, при этом привод удержания 14 установлен в верхней части колодца спуска 11 и представляет собой цевочные зацепления цевочных колес с приводами 25 и цевок верхнего поддона, а привод выпуска 15 установлен в нижней части колодца спуска 11 и представляет

собой цевочные зацепления цевочных колес с приводами 25 и цевок нижнего поддона. Углы поворота всех цевочных колес с приводами 25 согласованы. Поддоны 6 в колодце спуска 11 установлены друг на друга в виде столба вложенных поддонов 28, при этом верхний поддон 26 зафиксирован приводом удержания 14, а сам столб вложенных поддонов 28 зафиксирован приводом выпуска 15 приводного механизма передачи поддонов 3 нижнего поддона 27 всего столба вложенных поддонов 28. Поддоны 6 в столбе вложенных поддонов 28, размещенные в колодце спуска 11 имеют заданное положение с углом наклона к горизонту от  $0^\circ$  до  $10^\circ$  для стока воды и свободу перемещения под собственным весом в направляющих колодца спуска 11. В столбе вложенных поддонов 28 откидная торцевая стенка 18 поддонов 6 установлена вверх и зафиксирована направляющими колодца спуска 11 [16].

Колодец подъема 12 поддонов 6 оснащен подъемником поддонов 5 в виде механизма подъема поддонов с приводом 16, выполненным, например, в виде двух вертикальных парных цепей с зацепами, и ограничителем движения поддонов 17, например, в виде упора. Под колодцем спуска 11 и колодцем подъема 12 поддонов 6 расположен горизонтально-подвижный питатель с приводами 4 его конвейерной ленты с приводом 24 и крюка с приводом 23. Над ним установлен вертикально подвижный пригруз 7 с шибером очистки поддона 21, при этом, нижнее положение шибера очистки поддона 21 выше положения фильтрующего дна поддона 10 выпущенного поддона 29 при его расположении на конвейерной ленте с приводом 24 горизонтально-подвижного питателя с приводом 4. На станине с направляющими 2 установлены датчики перемещения 20, связанные с блоком управления 22 приводами с встроенным алгоритмом управления ими. Датчики перемещения 20 осуществляют контроль местоположения: поддонов 6 в подъемнике поддонов 5 и на конвейерной ленте с приводом 24 горизонтально-подвижного питателя с приводами 4, шибера очистки поддона 21, крюка с приводом 23, угловых положений цевочных колес с приводами 25.

Установка для обезвоживания торфа работает следующим образом. Верхний поддон 26 устанавливаются в верхнюю часть колодца спуска 11 с поднятой откидной торцевой стенкой 18 так, что последняя зафиксирована в поднятом положении вертикальными направляющими 30. Торф в виде торфяной пульпы из дозирочного бункера 1 парциально подается в верхний поддон 26. Последний, в исходном положении удерживается приводом удержания 14 приводного механизма передачи поддонов 3 цевочными колесами с приводами 25, которые находятся в зацеплении с упорами поддона 19, выполненными в виде цевок. После заполнения верхнего поддона 26 цевочные колеса с приводом 25 поворачивают на угол, больший угла зацепления, освобождая верхний поддон 26, который пополняет столб вложенных поддонов 28, поставленных друг на друга в колодце спуска 11. Поставленные друг на друга поддоны 6 давят на нижерасположенные поддоны 6 в столбе вложенных поддонов 28 своим весом и весом

материала, загруженного в них. Наружное дно поддона 9 вышестоящего поддона 6 создает прессующее давление на торфяную пульпу нижестоящего поддона. Под действием этого давления, свободная влага выдавливается через фильтрующее дно поддона 10 в пространство между наружным дном поддона 9 и фильтрующим дном поддона 10, а отжатая влага отводится через средства отвода влаги 13. Благодаря уклонам поддонов 8 и свободе перемещения в вертикальных направляющих 30 поддон 6 в столбе вложенных поддонов 28 может опускаться вплоть до соприкосновения наружной поверхности наружного дна поддона 9 вышестоящего поддона с фильтрующим дном поддона 10 нижележащего поддона.

Одновременно с опусканием верхнего поддона 26 в верхней части колодца спуска 11 нижний поддон 27 столба вложенных поддонов 28 свободно установленных друг на друга поддонов 6 в нижней части колодца спуска 11 освобождается приводом выпуска 15, а дальнейший поворот цевочных колес с приводом 25 обеспечивает удержание столба вложенных поддонов 28 в колодце спуска 11. Освобожденный нижний поддон 27 становится выпущенным поддоном 29 и падает на выключенный горизонтально подвижный питатель с приводами 4, в частности на его конвейерную ленту с приводом 24 и его откидная торцевая стенка 18 открывается. Вертикально подвижный пригруз 7 опускается вниз и своим шибером очистки поддона 21 с торца противоположного откидной торцевой стенке 18 отделяет спрессованный материал от торцевой стенки выпущенного поддона 29. При этом шибер очистки поддона 21 не касается фильтрующего дна поддона 10. Крюк с приводом 23 осуществляет захват выпущенного поддона 29 и перемещает его до ограничителя движения поддонов 17 в нижней части колодца подъема 12 в его вертикальных направляющих 30, а отформованный материал остается на конвейерной ленте с приводом 24. Включатся привод конвейерной ленты с приводом 24 горизонтально подвижного питателя с приводом 4 и отформованный материал транспортируют к месту складирования обезвоженного торфа. Вертикально подвижный пригруз 7 поднимается в исходное положение.

Доходя до ограничителя движения поддонов 17, выпущенный поддон 29 поднимается по колодцу подъема 12 вертикальными парными цепями с захватами путем зацепления захвата цепи и упорами поддона 19. В верхней части колодца подъема 12 поддон 6 перемещается в верхнюю часть колодца спуска 11, таким образом, поддон 6 становится верхним поддоном 26, а вертикальные направляющие 30 обеспечивают закрытие откидной торцевой стенкой 18 поднятием её наверх так, что последняя зафиксирована в поднятом положении вертикальными направляющими 30. При этом поддон 6, занимая положение верхнего поддона 26, в таком положении готов к загрузке торфа в виде торфяной пульпы из дозирочного бункера 1. И цикл повторяется.

Трансфер торфяного сырья влагой 75% осуществляется циклическим транспортом – шаттлами от комплекса на борт карьера для дальнейшей переработки. Для переработки торфяного сырья в топливо структурой, предлагаемой гидромеханизированной технологией добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле предусмотрены шнековый формовщик для измельчения торфа и барабанная сушилка для получения торфа кондиционной влаги [16].

#### 4.2. Оценка производительности установки обезвоживания торфа

Учитывая полученные, в ходе экспериментальных исследований данные по отжатию торфяного сырья под действием внешней нагрузки, можно оценить производительность установки по обезвоживанию торфяной пульпы при послойном механическом отжатию торфяной пульпы в поддонах с двойным дном и размеры этих поддонов.

Зная общий вид поддона (рисунок 4.4) примем следующие конструкционные параметры этого поддона:

- Размеры поддона 1,2×1,4×0,3 м, толщина стенок 5 мм;
- Материал поддона нержавеющая сталь  $\rho=7950 \text{ кг/м}^3$ ;
- Размеры наружного толстостенного дна 1,36×1,16×0,1 м;
- Материал наружного толстостенного дна свинец  $\rho=11400 \text{ кг/м}^3$ ;
- Вкладываемость поддонов 65%.

Определим собственный вес поддонов

Масса поддона без учета толстостенного дна  $m_{\text{поддона}}$ , кг можно рассчитать по формуле 4.1, учитывая массу конструктивных особенностей поддона в виде упоров, фильтрующего дна оцененных массой 57,99 кг:

$$m_{\text{поддона}} = V\rho = (2 \times (1,4 \cdot 0,3 \cdot 0,005) + 2 \times (1,2 \cdot 0,3 \cdot 0,005))7950 = 62,01 + 57,99=120 \quad (4.1)$$

Масса толстостенного дна  $m_{\text{дна}}$ , кг с учетом массы выступов 52 кг (формула 4.2):

$$m_{\text{дна}} = V\rho = (1,36 \cdot 1,16 \cdot 0,1)11400 = 1798 + 52 = 1850 \quad (4.2)$$

Вес загружаемой торфяной пульпы в поддон

Учитывая плотность торфяной пульпы  $\rho=1200 \text{ кг/м}^3$  и толщину загружаемого слоя 65 мм определим массу торфяной пульпы  $m_{\text{пульпы}}$ , кг загружаемой в один поддон:

$$m_{\text{пульпы}} = V\rho = (1,4 \cdot 1,2 \cdot 0,065)1200 = 131,04 \quad (4.3)$$

Суммарная масса поддона с двойным дном  $m_{\Sigma}$ , кг заполненным торфяной пульпой составит по формуле 4.4:

$$m_{\Sigma} = 131,04 + 1850 + 120 = 2101 \quad (4.4)$$

Зная необходимую величину отжатия 0,6 МПа, определим давление отжатия  $P$ , Н (формула 4.5):

$$P = FS = 0,6 \cdot 10^6 \cdot (1,2 \cdot 1,4) = 100,8 \cdot 10^4 \quad (4.5)$$

Учитывая второй закон Ньютона найдем массу  $m$ , кг для достижения такой силы давления (формула 4.6):

$$m = \frac{P}{g} = \frac{100,8 \cdot 10^4}{10} = 100,8 \cdot 10^3 \quad (4.6)$$

Усредненное количество поддонов  $N$ , шт для обеспечения необходимо давления в столбе вложенных поддонов (формула 4.7):

$$N = \frac{m}{m_{\Sigma}} = \frac{100,8 \cdot 10^3}{2101} = 48 \quad (4.7)$$

Высота столба поддонов  $H$ , м, учитывая вкладываемость поддонов 65% составит (формула 4.8):

$$H = 48 \cdot 0,3 \cdot 0,65 = 9,4 \quad (4.8)$$

Производительность установки обезвоживания  $Q$ , т/ч (формула 4.9) с учетом времени передвижения поддонов в колодце спуска, загрузки порожнего, отсутствие необходимости длительной выдержки самого нижнего поддона под нагрузкой штабеля верхних и времени на один полный цикл оцененный в 5 мин:

$$Q = \frac{(48 \cdot 131,04 \cdot \frac{60}{5})}{1000} = 75,5 \quad (4.9)$$

Таким образом, предложен комплекс горного оборудования, предназначенный для первичного обезвоживания торфяной пульпы, который обеспечивает производительность комплекса 25 т/ч влагосодержанием 75% при размерах поддона  $1,2 \times 1,4 \times 0,3$  м и высоте столба поддонов 9,4 м, что обеспечивает максимальное давление в слое 0,6 МПа, при этом рациональная толщина отжимаемого слоя составляет 0,065 м [16].

### 4.3. Внедрение результатов диссертации

Результаты диссертации использованы в проектах по реконструкции электросетевого хозяйства в рамках развития программы Сахалинского региона по электрогенерации на нетрадиционных видах топлива. А именно, в рамках работы ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» при разработке документации по проекту № 483-ГЭ-18-П «Реконструкция ЦРК Сахалинской области» по модернизации объекта теплоснабжения – центральных районных котельных (ЦРК) с использованием местных видов топлива в виде торфа.

В рамках реализации инвестиционной программы на территории островного региона по повышению эффективности работы жилищно-коммунального хозяйства выбрано два направления:

- строительство новых газовых котельных;
- реконструкция существующих ЦРК с переводом их на местное топливо.

В соответствии с техническим заданием при реконструкции ЦРК предусматривается строительство системы газоснабжения в пределах котельной. Возможно два пути газификации котельных: подача природного газа к котельным от газопроводов - вводов, от системы приёма, хранения и регазификации сжиженного природного газа или получением генераторным газом из торфа способом газификации. Таким образом резервным топливом реконструируемых котельных является торф, добываемый на территории острова. Всего на острове Сахалин известно около 200 месторождений торфа с общими ресурсами 1047 млн т. Согласно оценке общих торфяных ресурсов области, проведенной силами геологоразведочной компании СахГРЭ одним из перспективных месторождений выбрано Озерецко-Песочное месторождение, находящееся в 2 км юго-западнее с. Мицулевка Анивского городского округа (рисунок 4.5), запасы торфа этого месторождения можно использовать как бытовое и энергетическое топливо, площадь промышленной залежи составляет 9,7 тыс. га, запасы торфа 32,6 млн. т, средняя глубина 2,68 м, категория запасов С<sub>2</sub>, в естественных условиях торфяная залежь верхового и низинного типа со степенью разложения 30% и влажностью 93% [5].

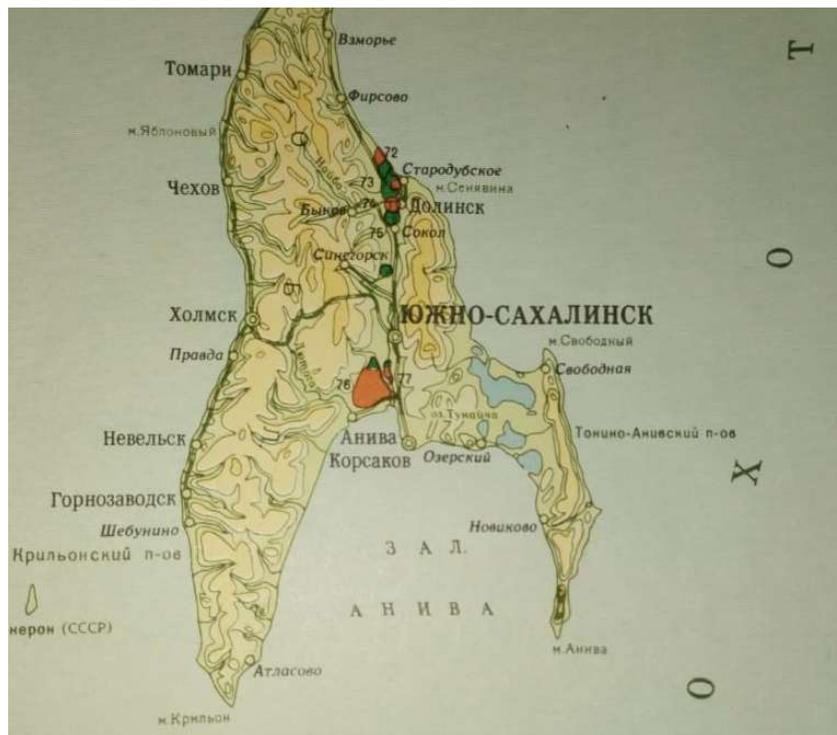


Рисунок 4.5 – Озерецко-Песочное торфяное месторождение на карте о. Сахалин представлено под номером 76

При разработке документации по проекту предложена следующая технологическая схема добычи и переработки торфяного сырья (рисунок 4.6): применение земснаряда для проведения добычных работ в тандеме с установкой обезвоживания торфа, которая в свою очередь может быть установлена на борту карьера в непосредственной близости к месту добычи. Добытое и обезвоженное в установке до 72-75% влаги торфяное сырье для получения

энергетически плотного кускового топлива измельчают в роторно-дисковом измельчителе типа РДИ, с последующим формованием кускового торфяного топлива в шнековом прессе [126, 133, 134]. Формуемая торфяная масса для производства окускованного торфяного сырья должно находиться в мягкопластичном равновесном напряженно-деформированном состоянии [67]. После торфяное сырье подается в шнековую машину для получения энергоплотного бездефектного окускованного торфяного топлива диаметром 14 мм с влажой менее 50% с досушкой до уровня кондиционной влаги в барабанной сушилке [74]. Окускованное торфяное топливо будет автотранспортом транспортироваться на склады котельных для сжигания и использования в ЖКХ или получения генераторного газа.

Генераторный газ можно получить при газификации торфа в поточном газогенераторе, установленном внутри котельной. Суть газогенерации заключается в производстве горючего газа посредством нагрева сырья, таким образом происходит трехэтапный процесс газификации торфа в поточном газогенераторе, включающий в себя: подсушку торфа с испарением влаги, термическую деструкцию торфа с выделением летучего коксового остатка, газификация полученного коксового остатка [89]. Получаемый генераторный газ состоит из монооксида углерода, метана, водорода, диоксида углерода и небольшого количества углеводородных соединений более высокого порядка [88, 89].

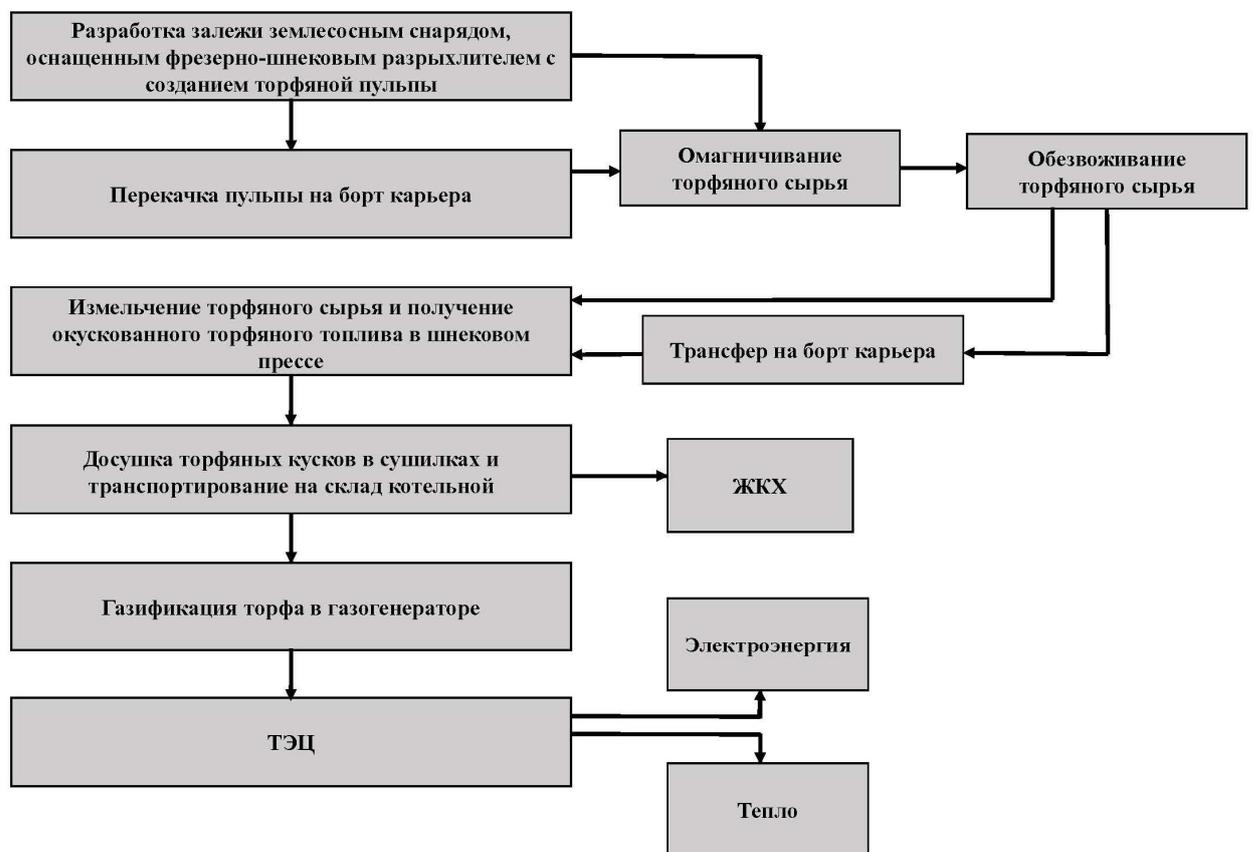


Рисунок 4.6 – Предложенная технологическая схема

Предложенные рекомендации и технические предложения по выполнению конструктивных схем позволяют эффективно использовать местное топливо, с реализацией перевода региональных котельных с угля или мазута на местный вид топлива – торф с получением генераторного газа и дальнейшее развитие идеи строительства многотопливных котельных. Акт внедрения результатов кандидатской диссертации представлен в Приложении Е.

Предложенное техническое решение по обезвоживанию торфяной пульпы посредством установки обезвоживания (Патент РФ № 2720341) (Приложение Д) позволит повысить эффективность получения торфяного сырья, его применения при высоком уровне механизации и автоматизации технологических процессов горного и сопутствующего с ним производств.

#### **4.4. Выводы по главе 4**

1. Разработана гидромеханизированная технология добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле.

2. Дано полное техническое решение по реализации гидромеханизированной технологии добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле.

3. Определены конструктивные параметры установки обезвоживания торфа и определена ее производительность по торфяной пульпе.

4. Описаны технические предложения и рекомендации, используемые в проекте по реконструкции ЦРК Сахалинской области для реализации перевода региональных котельных с угля или мазута на местный вид топлива – торф с получением генераторного газа.

5. Результаты диссертации использованы в проектах по реконструкции электросетевого хозяйства в рамках развития программы Сахалинского региона по электрогенерации на нетрадиционных видах топлива, что подтверждается актом внедрения результатов кандидатской диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предлагается новое решение актуальной задачи – обоснование и выбор параметров горного оборудования модуля обезвоживания по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Предложено новое техническое решение по реализации гидромеханизированной торфодобычи на обводненных месторождениях с обоснованием параметров выбранного горного оборудования и конструктивных решений модуля обезвоживания торфа.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. На основании обзора, анализа и обобщения теоретических и экспериментальных исследований по теме исследований установлено, что вопросы протекания процессов обезвоживания торфяного сырья в искусственно создаваемых средах при внешнем воздействии на торфяную пульпу подробно не изучены, а для решения задач интенсификации обезвоживания торфа посредством воздействия магнитного поля требуется проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на обоснованный выбор параметров оборудования дегидратации торфяного сырья плавучего добычного комплекса.

2. На основе анализа существующей гидромеханизированной технологии добычи торфяного сырья предложен комплекс гидромеханизированной добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания с омагничиванием торфяной пульпы в бегущем магнитном поле. Выполненная оценка материального баланса переработки торфяного сырья комплексом показала, что на примере укрупненной оценки при продолжительности добычи торфяного сырья в 60 дней и 12-ти часовой смене предлагаемая технология предполагает отказ от полей сушки площадью 3,84 км<sup>2</sup>, при этом удельные затраты энергии на производство торфа за 60 дней в 60 раз меньше чем у базовой технологии, а полученная на выходе масса абсолютно сухого торфа в 60 раз больше. Предложенная технология позволяет исключить использование ручного труда, обеспечив механизацию процесса обезвоживания торфяного сырья.

3. В результате проведенных экспериментальных исследований по воздействию на торфяную пульпу постоянным магнитным полем выявлена неэффективность этого приема. При этом воздействие на торфяную пульпу бегущим магнитным полем показало, что интенсивность влагоотделения при кратковременном воздействии бегущего магнитного поля порядка 10-15 секунд в 2 раза повышает интенсивность влагоотделения без омагничивания. Достаточным напряжением магнитного поля для получения положительного эффекта составило  $30 \cdot 10^9$  А/м.

4. На основе экспериментальной оценки влияния ионов на интенсивность снижения влагосодержания торфяной пульпы подтверждено положительное влияние на процесс влагоотделения наличия в торфяной пульпе катионов железа, при этом достаточной определена

концентрация железа 0,02%, что способствует повышению интенсивности влагоотделения в 5-20 раз в зависимости от элементного состава солей водной составляющей торфяной пульпы.

5. На основе экспериментальных исследований по обезвоживанию торфа под действием внешней нагрузки установлено рациональное давление отжатия величиной в 0,6 МПа, при этом увеличение продолжительности действия нагрузки критически не влияет на интенсификацию процесса обезвоживания, а рациональным показателем определена влага 75% после отжатия. Выявлено влияние удельной загрузки фильтра на эффективность процесса механического обезвоживания торфа, определена рациональная толщина отжимаемого слоя, которая составляет 0,065 м.

6. Для решения поставленных задач была разработана установка обезвоживания торфа (Патент РФ № 2720341). Предложенная установка позволит решить проблемы гидродобычи торфа на обводненных месторождениях с исключением необходимости перекачки лишней влаги по протяженному напорному трубопроводу с возможностью снижения влаги добытого торфяного сырья непосредственно на борту комплекса.

7. Предложен комплекс горного оборудования, предназначенный для первичного обезвоживания торфяной пульпы, который обеспечивает производительность комплекса 25 т/ч влагосодержанием 75% при размерах поддона 1,2×1,4×0,3 м и высоте столба поддонов 9,4 м, что обеспечивает максимальное давление в слое 0,6 МПа. Обосновано применение индуктора длиной 15 м, расположенной на конце трубопровода для омагничивания торфяной пульпы в бегущем магнитном поле напряженностью  $30 \cdot 10^9$  А/м в течение 10-15 с.

8. Результаты диссертации использованы в проектах по реконструкции электросетевого хозяйства в рамках развития программы Сахалинского региона по электрогенерации на нетрадиционных видах топлива, получен акт внедрения от научно-производственной компании ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА», результаты исследования применены при разработке документации по проекту № 483-ГЭ-18-П «Реконструкция ЦРК Сахалинской области» по модернизации котельных с использованием местных видов топлива в виде торфа.

9. Перспективным направлением дальнейших исследований в области развития гидромеханизированной технологии добычи торфяного сырья является усовершенствование разработанной методики интенсификации обезвоживания торфяного сырья для ее применения при торфодобыче на обводненных месторождениях.

Предложенные рекомендации и технические предложения по выполнению конструктивных схем позволяют эффективно использовать местное топливо, с реализацией перевода региональных котельных с угля или мазута на местный вид топлива – торф с получением генераторного газа и дальнейшее развитие идеи строительства многотопливных котельных.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Анализатор влажности [сайт]: ООО "БИОЛАЙТ СПБ" –URL: <https://a-and-d.ru/catalog/hygrometer/> (дата обращения: 23.03.2023)
2. Анализатор влажности [сайт]: ООО «Мир Весов» – URL: <https://www.mirvesov.ru/analizatory-vlazhnosty/730.htm> (дата обращения: 22.04.2023)
3. Антонов, В.Я. Технология полевой сушки торфа / В.Я. Антонов, Л.М. Малков, Н.И. Гамаюнов // М.: Недра, 1981. – 239 с.
4. Арефьев, Н.Н. Научное обоснование технических решений и разработка на их основе средств повышения эффективности судовых энергетических установок землесосных снарядов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.05 / Арефьев Николай Николаевич. – Нижний Новгород, 2011. – 41 с.
5. Атлас торфяных ресурсов СССР. – М. : ГУГиХ., 1968. – 96 с.
6. Афанасьев, А.Е. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства / А.Е. Афанасьев, Н.В. Чураев. – Москва: Издательство "Недра", 1992. – 288 с.
7. Афанасьев, А.Е. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений / А. Е. Афанасьев, В.И. Малков, В.И. Смирнов // М.: Недра, 1987. – 311 с.
8. Базин, Е.Т. Физические и технологические основы осушения и комплексного использования торфяных месторождений: дис. д-ра техн. наук. Калинин, 1988. 51 с.
9. Базин, Е. Т. Технический анализ торфа / Е.Т. Базин, В.Д. Копенкин, В.И. Косов и др. // М.: Недра, 1992. – 31 с.
10. Базин, Е.Т. Физические процессы в торфяных залежах при их осушении и разработке / Е.Т. Базин, В.И. Косов // Калинин: КГУ, 1984. С.9-18.
11. Барбин, М.Б. Интенсификация процессов обезвоживания / М.Б. Барбин, Л.Ф. Долина, В.С. Каминский, К.И. Сафронова, М.С. Соколова // М.: Недра, 1982. – 224 с.
12. Бондарев, Ю.Ю. Создание оборудования горно-энергетического комплекса для производства топлива из торфяного сырья / Ю.Ю. Бондарев, С.Л. Иванов // Современные технологии в горном машиностроении: сборник научных трудов семинара. –М.: МГГУ, 2014. – С. 421–427.
13. **Вагапова, Э.А.** Гидромеханизованная добыча торфяного сырья интенсификацией процесса влагоотделения / **Э.А. Вагапова**, С.Л. Иванов // Научный потенциал молодежи и технический прогресс: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2023. с.44-45 DOI: 10.26160/2618-7493-2023-6.

14. **Вагапова, Э.А.** Интенсификация процесса сгущения торфяной пульпы Сборник статей и тезисы участников Международного семинара, посвященного 100-летию создания первого в России горно-электромеханического факультета «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019» – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. с.85-88.
15. **Вагапова, Э.А.** К вопросу о первичном обезвоживании торфяного сырья добытого гидромеханизированным способом/ **Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, И.Н. Худякова** // Сборник трудов 14-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Том 1/ Под ред. Р.А. Ковалева – Тула: ТулГУ, 2018. с. 230-234.
16. **Вагапова, Э.А.** Комплекс гидромеханизированной добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле / **Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, П.В. Иванова, И.Н. Худякова** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 7. – С. 21–36. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_21
17. **Вагапова, Э. А.** Обоснование и выбор оборудования для первичного обезвоживания торфяного сырья при его гидромеханизированной добыче из неосушенной залежи / **Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S18. – С. 3-11. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-7-18-3-11.
18. **Вагапова, Э.А.** Оценка энергопотребления технологического оборудования автономного модульного комплекса для добычи и переработки торфяного сырья из неосущенного месторождения / **Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, И.Н. Худякова** // Сборник трудов 13-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Том 1/ Под ред. Р.А. Ковалева – Тула: ТулГУ, 2017. С.155-162.
19. **Вагапова, Э.А.** Сравнительная оценка магнитного воздействия на интенсивность процесса водоотделения при добыче и переработке топливного торфяного сырья обводненных месторождений / **Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов** // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы I международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – С. 158-160.
20. **Валиев, Н.Г.** Гидромеханизированный способ добычи торфа: современное состояние и перспективы / **Н.Г. Валиев, Н.В. Гревцев, М.С. Лебзин** // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 4. – С. 141-150.

21. Великанов, В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели // Записки Горного института. 2020. Т. 241. С. 29-36. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29
22. Воларович, М.П. Введение в физику торфа / М. П. Воларович, Т. П. Кузьминская // М.: Госэнергоиздат, 1947.
23. Гамаюнов, С.Н. Классификация способов добычи торфа и производства торфяной продукции / С.Н. Гамаюнов, А.Н. Гамаюнова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 12-18.
24. Гамаюнов, С.Н. К вопросу о классификации способов добычи торфа / С.Н. Гамаюнов, А.Н. Гамаюнова // Труды Инсторфа. – 2015. – № 11(64). – С. 13-18.
25. Гармаев, О.Ж. Методы интенсификации полевой сушки торфяного сырья и способы ее механизации / О.Ж. Гармаев, Д.Д. Северикова, А.В. Михайлов // – 2017. – Т. 9, № 3. – С. 66
26. Геблер, И.В. О механическом обезвоживании торфяной гидромассы и получении из нее товарного торфа без разлива на полях сушки / И.В. Геблер., В.Н. Пономарев // Известия томского ордена трудового красного знамени политехнического института им. С.М. Кирова. – 1965. – Том 136. – С.61-67.
27. Гидротехника [сайт]: Кноор Baggerwerken B.V. – URL: <https://www.knoorbv.nl/> (дата обращения: 02.02.2023)
28. Голубев, И.А. Практика применения аппаратов магнитной обработки для интенсификации процессов первичной подготовки нефти / И.А. Голубев, А.В. Голубев, А.Б. Лаптев // Записки Горного института. – 2020. – Т. 245. – С. 554-560. – DOI 10.31897/PMI.2020.5.7.
29. Горячев, В.И. Выбор пресса для обезвоживания торфа в технологии фракционирования торфяного сырья гидроразмывом / В.И. Горячев, И.И. Михеев, А.Л. Яблонев, К.В. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S38. – С. 22-30. – DOI 10.25018/0236-1493-2018-7-38-22-30.
30. Горячев, В.И. Искусственное обезвоживание торфа: монография – Тверь. ТвГТУ, 2012. 183 с
31. ГОСТ 21123-85 Торф. Термины и определения
32. Гревцев, Н.В. Занимательно о торфе / Н.В. Гревцев, А.Н. Сёмин, И.Н. Гревцева // Москва: Фонд «Кадровый резерв», 2020. – 192 с.
33. Дементьев, В.А. Эксплуатация обводненных месторождений / В.А. Дементьев. – Москва: Горная книга, 2010. – 208 с.

34. Епифанцев, К.В. Выбор рациональных параметров наборной матрицы торфяной формующей машины для получения энергоплотного окускованного топлива : специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Епифанцев Кирилл Валерьевич. – Санкт-Петербург, 2012. – 145 с.
35. Жигульская, А.И. Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения: Учебное пособие / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская; Тверской государственный технический университет. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016. – 160 с
36. Жигульская, А.И. Экологические аспекты в выборе конструктивных и схемных решений оборудования для переработки торфодревесного сырья / А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин, А.В. Танделов, М.К. Шихмагомедов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 3. – С. 62-66.
37. Жуков, Д.В. Новые подходы к проектированию фрез (классических, для глиняных грунтов). Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S11. – С. 262-270.
38. Журавлев, А.В. Физико-технологические основы повышения эффективности производства формованной торфяной продукции в условиях Урала : специальность 05.15.05 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Журавлев Анатолий Васильевич. – Тверь, 1993. – 44 с.
39. Заровняев, Б.Н. Перспективы освоения месторождений торфа Арктических и Субарктических районов России / Б.Н. Заровняев, В.Ф. Попов, Г.В. Шубин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 6. – С. 168-177. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-6-0-168-177.
40. Земснаряд – URL: <https://greenworld.today/tehnologii/1439/> (дата обращения: 20.04.2023)
41. Земснаряд [сайт]: «DREDGE YARD»– URL: <https://www.dredgeyard.ru/zemsnaryadyi/zemsnaryad-csd-450/> (дата обращения: 12.04.2023)
42. Земснаряд [сайт]: ООО «Дноуглубительные системы» – URL: <https://dragflow.ru/mobilnyie-zemsnaryadyi/zemsnaryady-serii-drsp/> (дата обращения: 23.04.2023)
43. Земснаряд [сайт]: ООО «Компания «ДРАГФЛО РУС» – URL: <https://dragflow.ru/proektyi-s-zemsnaryadami/> (дата обращения: 12.01.2023)
44. Земснаряд [сайт]: ООО «Техразвитие»– URL: <https://tehrzv.ru/dredger/> (дата обращения: 12.04.2023)

45. Земснаряд [сайт]: ООО «Техразвитие»– URL: <https://tehrzv.ru/dredger-ecotech/>. (дата обращения: 12.04.2023)
46. Зюзин, Б.Ф. Машины и оборудование торфяных производств: учебное пособие / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, П.А. Яконовский, Т.Б. Яконовская. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. 160 с.
47. Кашинская, Т.Я. Изменение химического состава торфа в осушенных залежах / Т.Я. Кашинская [и др.] // Природопользование. Вып. 1. Минск, 1996. С. 103–109.
48. Классен, В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978 – 240с.
49. Классон, Р.Э. Гидроторф.1-4 ч. кн.2 / Р.Э. Классон, В.Д. Кирпичников, Г.Л. Стадников, П.Н. Ефимов, Б.В. Мокрашанский, М.Н. Леман, Л.А. Ремизов // Упр. Гидроторфа при В.С.Н.Х. – издатель: «Науч.-техн. упр. В.С.Н.Х. СССР»; надзагол.: "В.С.Н.Х. СССР. Науч.-техн. упр. Центр. науч.-исслед. ин-т по торфяной пром. «Инсторф», Москва : [б. и.], 1923-1927 ("Мосполиграф", 20-я тип. "Красный пролетарий"). – 298 с.
50. Копаница, Н.О. Активация сырьевых компонентов и формовочных смесей в производстве теплоизоляционных материалов / Н.О. Копаница, В.Н. Сафронов, М.А. Ковалева, Ю.С. Саркисов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 5(677). – С. 22-29.
51. Копаница, Н.О. Композиционные строительные материалы на основе модифицированных торфов : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Копаница Наталья Олеговна. – Томск, 2011. – 48 с.
52. Король, Н.Т. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний / Н.Т. Король, В.М. Петрович, Н.С. Якобсон // ГОСТ-17644-83. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1983/ – 14 с.
53. Корчак, А.В. Техничко-технологический комплекс гидромеханизированной добычи и производства топливно-энергетического торфа / А.В. Корчак, И.М. Ялтанец, С.М. Штин // Горный журнал. – 2011. – № 12. – С. 45-48.
54. Косов, В.И. Научные основы использования торфяных ресурсов в стратегии устойчивого развития России / Режим доступа: <http://www.mostorf.ru/t29.html>. – 2008.
55. Косов, В.И. Системные принципы разработки ресурсосберегающих технологий в торфяном производстве. Автореф. дис. д-ра техн. наук. Тверь, 1991
56. Кузубова, Л.И. Очистка нефтесодержащих сточных вод / Л. И. Кузубова, С. В Морозов // СО РАН. ГПНТБ, НИОХ.- Новосибирск, 1992. – 72 с.

57. Лебедева, А.И. Проблема искусственного обезвоживания торфа / А.И. Лебедева, С.А. Макаров // Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов: сборник научных трудов. – Тверь, 2018. – С. 136–140
58. Лешков, В.Г. Разработка россыпных месторождений: учебник для техникумов. Москва, Недра, 1985. 568 с.
59. Лиштван, И.И. Торфяные ресурсы и их использование, в том числе в Припятском полесье Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана: материалы Международной науч.-практ. конференции, Пинск, 8–11 июня 2015 г.: в 2 ч. / Институт природопользования НАН Беларуси, Полесский государственный университет [и др.]; ред.кол.: В.С. Хомич (отв. ред.) [и др.]. – Пинск: УО «Полесский государственный университет», 2015. – Ч. 1. – С. 21-26
60. Лях, Д.Д. Обоснование параметров модуля формирования торфяного сырья и энергомассовых характеристик комплекса оборудования по добыче и переработке торфа / Д.Д. Лях, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6. – С. 93-108. – DOI 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_0\_93.
61. Михайлов, А.В. Анализ условий вертикальной выемки торфяного сырья / А.В. Михайлов, Е.А. Родионов, И.Е. Звонарев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 1. – С. 48-54. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-01-0-48-54.
62. Михайлов, А.В. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом / А.В. Михайлов, Ю.А. Казаков, Д.Р. Гарифуллин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 317-330. – DOI 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_317.
63. Михайлов, А.В. Методология оценки многократной проходимости горнотранспортного агрегата по слабым грунтам / А.В. Михайлов, Ю.А. Казаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 8. – С. 95-110. – DOI 10.25018/0236\_1493\_2022\_8\_0\_95.
64. Михайлов, А.В. Механизация добычи торфа из неосушенной залежи / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчев, Д.О. Нагорнов // Записки Горного института. – 2012. – Т. 196. – С. 256-260.
65. Михайлов, А. В. Торфяное топливо и распределенная энергетика / Сб. тр. XII междунар. научно-практ. конфер. «Научная дискуссия: инновации в современном мире» – М.: Изд. «Международный центр науки и образования», 2013. С.15-19

66. Михайлов, А.В. Торфяные ресурсы Северо-западного федерального округа России и перспективы их освоения / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Записки Горного института. – 2013. – Т. 200. – С. 226-230.
67. Михайлов, А.В. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 4. – С. 59-63.
68. Михайлов А.В. Эффективность карьерной добычи торфа с полевым механическим обезвоживанием / А.В. Михайлов, О.Ж. Гармаев, А.С. Федоров, Д. Р. Гарифуллин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 7. – С. 30-41. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-07-0-30-41.
69. Михеев, И.И. Аналитическое обоснование рациональных конструкторско-технологических параметров ленточно-роликового пресса для обезвоживания торфа / И.И. Михеев, В.И. Горячев, Д.М. Щербакова // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 3(3). – С. 64-70.
70. Морозов, В.В. Обезвоживание сапропеля магнитной обработкой / Морозов В.В, В.Н. Фомин // Техника в сельском хозяйстве. – 1993. – № 5-6. – с.31.
71. Мякотных, А.А. Средства и технологии добычи торфяного сырья обводненных месторождений / А.А. Мякотных, Э.А. Вагапова, П.В. Иванова, С.Л. Иванов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XXI международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской гонопромышленной декады 06-07 апреля 2023 г. / Под общ.ред. Лагуновой Ю.А. / Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2023. С. 76-79.
72. Наседкин, Н.А. Теория и расчет сушки гидроторфа от разлива до формовки. // Торфяная промышленность, 1944, №1, С 16-21.
73. Наумова, Л.Б. Обменные катионы и их влияние на гидрофильность торфа / Л. Б. Наумова, Н.П. Горленко, А.И. Казарин // Химия растительного сырья. – 2003. – № 3. – С. 51-56.
74. Наумович, В.М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов. М.: Недра, 1971. 280 с.
75. Наумович, В.М. Технология комбинированного предприятия по выработке торфяных брикетов, электрической и тепловой энергии. //Известия Академии наук Белорусской ССР. 1953, №1, С.149-159

76. НП «РОСТОРФ» [Электронный ресурс] – URL: [http://rostorf.ru/files/prezentaciya\\_universal.pdf](http://rostorf.ru/files/prezentaciya_universal.pdf) (дата обращения: 09.12.2019)
77. Отчет НИГТЦ ДВО РАН о НИР. Переработка торфа Митогинского месторождения, расположенного в Усть-Большерецком муниципальном районе Камчатского края, с организацией производства топливных пеллет. Петропавловск- Камчатский, 2015. – 9с.
78. Панов, В.В. Восстановление торфяных болот: учебный курс. – Тверь–Москва: ООО «Издательство Триада», 2021. – 184 с
79. Пиирайнен, В.Ю. Современный взгляд на решение проблем экологии Уральского алюминиевого завода / В. Ю. Пиирайнен, А. В. Михайлов, А. А Баринкова // Цветные металлы. 2022. № 7. – С. 39-45. DOI: 10.17580/tsm.2022.07.04.
80. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Открытые горные работы" направления подготовки "Горное дело" и по основной образовательной программе подготовки магистра "Технология и комплексная механизация торфяного производства" направления подготовки "Горное дело" / В. И. Смирнов [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Тверской гос. технический ун-т. – 1-е изд.. – Тверь: Тверской гос. технический ун-т, 2007. – 392 с.
81. Расчет и подбор фильтров // Фильтры. Системы очистки URL: [http://oilfilters.ru/filters\\_calculation\\_and\\_selection/#selection\\_of\\_filters\\_calculation\\_tasks](http://oilfilters.ru/filters_calculation_and_selection/#selection_of_filters_calculation_tasks) (дата обращения: 10.10.2018).
82. **Резванова, Э. А.** Интенсификация первичного обезвоживания гидроторфяной смеси при добыче торфяного сырья на борту автономного модульного комплекса / **Э.А. Резванова**, С.Л. Иванов // Сборник трудов 12-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Том 1/ Под ред. Р.А. Ковалева – Тула: ТулГУ, 2016. – с. 200-203.
83. **Резванова, Э.А.** Интенсификация снижения влагосодержания торфяного сырья при его подготовке к последующей переработке / **Э.А. Резванова**, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов // Научная дискуссия: вопросы технических наук. – 2017. – № 5(45). – С. 24-30.
84. **Резванова, Э.А.** Механическое обезвоживание гидроторфяной смеси на борту автономного модульного комплекса / **Э.А. Резванова**, С.Л. Иванов, Л.А. Лоскутов // Master's Journal. – 2017. – № 1. – С. 105-108
85. Сафонов, Д.Н. Управление процессом разделения технологических пульп медно-никелевого производства в современных фильтр-прессах: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06. – Санкт-Петербург, 2012. – 108 с.

86. Смирнов, В.И. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа : учебное пособие / В.И. Смирнов, А.Н. Васильев, А.Е. Афанасьев, А.Н. Болтушкин ; под ред. В.И. Смирнова. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2007. 392 с.
87. Сорокина, И.Д. Синтез и оценка эффективности использования железо-алюминиевого коагулянта для очистки воды / И.Д. Сорокина, А.Ф. Дресвянников // Вестник Казанского технологического университета. — 2009. — № 4. — С. 146-158.
88. Суворов, В.И. Механо-химия торфа / В.И. Суворов // Труды Инсторфа. – 2012. – № 6(59). – С. 36-40.
89. Тимофеева, С.С. Перспективы использования торфа в региональной энергетике / С.С. Тимофеева, Г.Р. Мингалеева // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325, № 4. – С. 46-55
90. Тяботов, И.А. Биоэнергетика на основе торфа / И.А. Тяботов, А.В. Горбунов, А.И. Усманов, В.А. Усманова // Уральская горная школа - регионам : сборник докладов международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 11–12 апреля 2016 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2016. – С. 553-554.
91. Фомин, К.В. Методика оценки спектральной плотности момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Записки Горного института. 2020. Т. 241. С. 58-67. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.58
92. Фомин, К.В. Расчет взаимных спектральных плотностей моментов сопротивления на рабочих органах торфяного фрезерующего агрегата // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 745-756. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.14
93. Худякова, И.Н. Выбор и обоснование параметров технологического оборудования комплекса добычи торфяного сырья из натуральной залежи / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S4. – С. 3-15. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-3-4-3-15.
94. Худякова, И.Н. Об эффективности применения омагничивания торфяной пульпы при обосновании параметров оборудования комплекса для добычи и переработки торфяного сырья / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Сборник трудов 13-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Том 1/Под ред. Р.А. Ковалева – Тула: ТулГУ, 2017. с.168-172.
95. Худякова, И.Н. Формирование структурной формулы комплекса добычи торфяного сырья из обводненной залежи / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции/ Под общей редакцией

- Ю.А. Лагуновой. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2019. – С. 156-159.
96. Худякова, И.Н. Формирование структуры комплекса добычи и переработки торфяного сырья для месторождений естественной обводненности / И.Н. Худякова, **Э.А. Вагапова**, С.Л. Иванов // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы I международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – С. 148-150.
97. Худякова И.Н. Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова, **Э.А. Резванова**, А.А. Коконков // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/103TVN317.pdf> (доступ свободный).
98. Цупров, С.А. Механический способ обезвоживания торфа. Торфяная промышленность, №2, 1947
99. Чебан, А.Ю. Гидромеханизованная добыча строительных горных пород в бассейне реки Амур. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 2(36). – С. 73-78. – DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-2-73-78.
100. Шерстнев, В.И. Влияние водных свойств и структуры торфа на процесс его механического обезвоживания / В.И. Шерстнев, М.С. Лебзин // Экономические, экологические и социальные проблемы горной промышленности Урала : Сборник научных статей / Под общей редакцией Н.В. Гревцева, И.А. Коха. – Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2017. – С. 128-131.
101. Шерстнев В.И. Исследование процессов обезвоживания с учетом изменения параметров прессования / В.И. Шерстнев, М.С. Лебзин, М.А. Резник, А.А. Галембо // Уральская горная школа - регионам : сборник докладов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 24–25 апреля 2017 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2017. – С. 622-623.
102. Шерстнев, В.И. Исследование влияния качественной характеристики торфа на процесс обезвоживания / В.И. Шерстнев, А.И. Усманов // Теория и практика мировой науки. – 2018. – № 5. – С. 48-51.
103. Штин, С.М. Гидромеханизованная добыча торфа и производство торфяной продукции энергетического назначения / С.М. Штин ; С.М. Штин ; под ред. И. М. Ялтанца. – Москва : Горная кн., 2012.
104. Штин, С.М. Гидромеханизованная технология добычи торфа. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 225 с.

105. Штин, С.М. Инновационные технологии в гидромеханизации горных и строительных работ / С.М. Штин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S1. – С. 382-403
106. Штин, С.М. Использование торфов Западной Сибири в энергетических целях на основе применения гидромеханизированных технологий / С.М. Штин // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 6(31). – С. 50-54.
107. Штин, С.М. Применение торфа как топлива для малой энергетики / С.М. Штин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 7. – С. 82-96.
108. Якупов, Д.Р. К вопросу классификации способов добычи торфяного сырья и средств их реализации / Д.Р. Якупов, С.Л. Иванов, П.В. Иванова, Е.К. Пермякова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S34. – С. 3-11. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-10-34-3-11.
109. Ялтанец, И.М. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Гидромеханизированные и подводные горные работы. Книга 2: Дрожная разработка россыпных месторождений. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2009. – 218 с.
110. Ялтанец, И.М. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Гидромеханизированные и подводные горные работы: учебник / И.М. Ялтанец. – 2-е изд., стер. – Москва: Горная книга, 2009. – Книга 1. Разработка пород гидромониторами и землесосными снарядами. – 517 с
111. Andreasson, A. Surface and colloid chemistry of peat and peat dewatering. Electrostatic effects / A. Andreasson, B. Jönsson, B. Lindman // Colloid & Polymer Science. – 1988. – Vol. 266, No. 2. – P. 164-172. – DOI 10.1007/bf01452814. – EDN GSDOHL.
112. Afanasev, A.E. Contact interactions between particles in the course of dewatering of colloid capillary-porous peat bodies. Kolloidnyj Zhurnal. – 1991. – Vol. 53, No. 3. – P. 425-430
113. Chmielewska, I. Effect of fibre content on the geotechnical properties of peat // Studia Geotechnica et Mechanica 2023; 1–11. DOI: 10.2478/sgem-2023-0003.
114. Fadeev, D.V. The algorithm for estimating loads, supports floating platform complex for the extraction and processing of peat raw materials/ D.V. Fadeev, **E.A. Vagapova**, I.N. Khudyakova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) 378 (2019) 012012 DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012012. p.1-6.
115. Fraczek J. Analysis of mechanical dewatering of digestate / K. Mudryk, M. Wrobel, M. Jewiarz, K.Dziedzic // Agricultural Engineering. 2016. Vol. 20 No. 4, pp.157-166.

116. Holden, J., Chapman, P. J. and Labadz, J. C, 2004 Artificial drainage of peat-lands: Hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progress in Physical Geography*, 28(1): 95–123.
117. Hosonda, H. Dehydration of peat / Y. Tazaki, S. Honoma, M. Yumiyama // *Journal of the Fuel Society of Japan* 67(9):791-794. DOI:10.3775/jie.67.9\_791
118. Ivanov, S.L. Modeling of the process of mechanical dehydration of raw peat materials in the working tools of mining machines / I.N. Khudyakova, **E.A. Vagapova** , P.V. Ivanova // *Journal of Physics: Conference Series*. 1753 (2021) 012048 DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012048. pp. 1-7
119. Ivanova, P. Extraction mechanization of soft soils / S. Ivanov, A. Mikhailov, D. Shishlyannikov // *Journal of Applied Engineering Science*. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 610–617.
120. Jucha, W. Using remote sensing materials to assess the effects of peat extraction on the morphology and vegetation cover of a raised bog / P. Mareczka, D. Okupny // *Mires and Peat*. 2020, vol. 26, pp. 19. DOI: 10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1835.
121. Konstantinova, E. Sustainable Management of Peat Extraction Fields / E. Konstantinova, L. Brunina, A. Persevica // *Environment Technology Resources Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2019, vol. 1, pp 114–117. DOI: 10.17770/etr2019vol1.4116
122. Khudyakova, I.N. Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration / I.N. Khudyakova, **E.A Vagapova**, S.L Ivanov // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 194 (2018) 032010 DOI:10.1088/1755-1315/194/3/032010. p.1-6
123. Lekomtsev, A.V. Technology of stable water-oil emulsion breaking by magnetic impact / A.V. Lekomtsev, P.Y. Ilyushin, I.B. Stepanenko, O.R. Mekhanoshina, V.S. Bakaneev, G.Y Korobov, W. Kang // *Chemical and Petroleum Engineering*, 2021, 57(1-2), 98-105. DOI: 10.1007/s10556-021-00901-4
124. Lourenco, M., Peat definitions: A critical review / M. Lourenco, J. Fitchett, S. Woodborne // *Progress in Physical Geography* 4, 2022 DOI:10.1177/03091333221118353.
125. Matus, M. Modularity of pressing tools for screw press producing solid biofuels / M. Matus, P. Krizan // *Acta Polytechnica*. Vol. 52 No. 3/2012, pp.71-76.
126. Mirna, A. Determination of cation exchange capacity and analysis of cation availability in hemic and sapric peat with different preparation and extraction methods / A. Mirna, M. Azwar, N. Makruf // *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*. 2021, Vol. 6 No. 1, pp 47–53. DOI: doi.org/10.22146/ipas.52411

127. Parra-Gomez, L. An insight into drying-wetting cycles of peat / L. Parra-Gomez, S. Muraro, C. Jommi // E3S Web of Conferences 382, 01005 (2023) p 1-6. DOI: 10.1051/e3sconf/202338201005
128. **Rezvanova, E.A.** Intensification of primary dehydration of hydropeat during production fuel peat on board an autonomous modular complex / **E.A. Rezvanova**, S.L. Ivanov // 57 Konferencija Studenckich Kol Naukowych Pionu Gorniczego 8 grudnia, Krakow, AGH, 2016. – p. 15.
129. **Rezvanova E.A.** Objective laws of developments of moisture separation at influence of a magnetic field on peat sludge / **E.A. Rezvanova**, S.L. Ivanov // Scientific reports on resource issues 2018, Freiberg, International University of resources, 2018. p. 257-265.
130. Usup, A. Climate Change Mitigation Through Forest Fire Prevention and Peatland Rewetting Programs in Central Kalimantan Indonesia / A. Usup, A. Afentina, Y. Aguswan // Journal of Ecological Engineering. 2021, vol. 22(11), pp 230–238. DOI: 10.12911/22998993/143264.
131. **Vagapova, E.A.** Primary dehydration of peat on a floating mining complex / **E.A. Vagapova**, I.N. Khudyakova, D.V.Fadeev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) 378 (2019) 012104 DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012104. p.1-6
132. Whitton, S. Application of screw press filtration to tailings dewatering / W. Wimmmler, T. Vangsness // The Australian coal industry's research program, Project number C23041, 2015
133. Wimmer, W. The underdog mechanical alternative for failings dewatering: the screw press / S. Whitton, L. Wimmmler // Paste 2019, Cape Town, South Africa. pp. 349-360. DOI:10.36487/ACG\_rep/1910\_24\_Wimmmler
134. Yaltanets, I.M. Structure of Integrated Mechanization at a Hydromechanized Enterprise in the Operation of Peat and Sapropel Fields and Production of Peat-Sapropel Fertilizers / I.M. Yaltanets, V.A. Kazakov, V.A. Demytyev // Power Technology and Engineering. – 2022. – Vol. 55, No. 5. – P. 652-658. – DOI 10.1007/s10749-022-01412-9.
135. Yaltanets, I.M., Demytyev, V.A. & Kazakov, V.A. Structure of Integrated Mechanization at a Hydromechanized Enterprise in the Operation of Peat and Sapropel Fields and Production of Peat-Sapropel Fertilizers. Power Technol Eng 55, 652–658 (2022).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Протокол испытаний торфяной пульпы с умеренным содержанием солей



Общество с ограниченной ответственностью  
**«Центр экоаналитических услуг «ОПЫТ» (ООО «ЦЭУ «ОПЫТ»)**  
 198095, Санкт-Петербург, ул.Шапкина, д.32-34, лит. А тел./факс: (812) 252-06-63

Аттестат аккредитации  
 испытательной лаборатории  
 № RA.RU.517884,  
 внесение в реестр  
 аккредитованных лиц 08.06.2015 г.

**УТВЕРЖДАЮ**  
 Начальник испытательной  
 лаборатории ООО «ЦЭУ «ОПЫТ»  
 А.Н. Рязанцев  
 «05» апреля 2018 г.



**ПРОТОКОЛ № 0304/28**  
**ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОБ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**  
 от «05» апреля 2018 г.

1. Заказчик: Вагапова Э.А.
2. Место отбора: Торфяное месторождение Ленинградской области
3. Наименование пробы: лаб. № 0304-28
4. Сведения об отборе: проба отобрана и доставлена представителем
5. Дата и время отбора: 03.04.2018 г. 09.00
6. Дата и время доставки: 03.04.2018 г. 17.10
7. Цель исследования: определение химических показателей
8. Средства измерения: Спектрофотометр ПЭ-5400УФ, спектрометр атомно-абсорбционный «КВАНТ-2АТ», рН-метр Н1991002
9. Дополнительные сведения: объем исследований по согласованию с Заказчиком

№ п/п	Определяемые показатели	Ед.изм	Результаты исследований	НД на методы исследований
1.	Запах	баллы	0	ГОСТ 3351
2.	рН	ед.рН	5,6	ФР.1.31.2007.03794
3.	Мутность	ЕМФ	1,3	ФР.1.31.2007.03808
4.	Цветность	градусы	13	ГОСТ 31868
5.	Жесткость общая	°Ж	1,0	ГОСТ 31954
6.	Щелочность общая	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,50	ГОСТ 31957
7.	Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,40	ГОСТ 33045
8.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	1,5	ГОСТ 33045
9.	Перманганатная окисляемость	мгО/дм <sup>3</sup>	3,3	ФР.131.2013.13900
10.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	11	ГОСТ 4245
11.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	12	ГОСТ 31940
12.	Железо +2	мг/дм <sup>3</sup>	<0,05	ФР.1.31.2010.07607
13.	Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	0,11	ФР.1.31.2013.16027
14.	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,0028	ФР.1.31.2013.16027

Результаты исследования не имеют нормативов по СанПиН по согласованию с Заказчиком.

Погрешности результатов не превышают пределов, допустимых по НД на методы испытаний  
 Условия проведения испытаний соответствуют указанным в методиках КХА

Ответственный исполнитель

Ответственный за оформление протокола

Аккредитованная Испытательная  
 Лаборатория ООО «ЦЭУ «ОПЫТ»  
 экоаналитических услуг «ОПЫТ» Н.В. Богачева  
 Аттестат Аккредитации  
 № RA.RU.517884 от 08.06.15 А.З. Сабаноква

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Протокол испытаний торфяной пульпы с повышенным содержанием катионами  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ 

Общество с ограниченной ответственностью

«Центр экоаналитических услуг «ОПЫТ» (ООО «ЦЭУ «ОПЫТ»)

198095, Санкт-Петербург, ул. Шапина, д. 32-34, лит. А тел./факс: (812) 252-06-63

Аттестат аккредитации  
испытательной лаборатории  
№ RA.RU.517884,  
внесение в реестр  
аккредитованных лиц 08.06.2015 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник испытательной  
лаборатории ООО «ЦЭУ «ОПЫТ»  
А.Н. Рязанцев  
«05» апреля 2018 г.



ПРОТОКОЛ № 0304/29  
ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОБ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ  
от «05» апреля 2018 г.

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. Заказчик:                | <u>Вагапова Э.А.</u>   |
| 2. Место отбора:            | <u>Торфяное месторождение Ленинградской области</u>  |
| 3. Наименование пробы:      | <u>лаб. № 0304-29</u>  |
| 4. Сведения об отборе:      | <u>проба отобрана и доставлена представителем</u>  |
| 5. Дата и время отбора:     | <u>03.04.2018 г. 09.00</u>   |
| 6. Дата и время доставки:   | <u>03.04.2018 г. 17.12</u>   |
| 7. Цель исследования:       | <u>определение химических показателей</u>  |
| 8. Средства измерения:      | <u>Спектрофотометр ПЭ-5400УФ, спектрометр атомно-абсорбционный «КВАНТ-2АТ», рН-метр Н1991002</u> |
| 9. Дополнительные сведения: | <u>объем исследований по согласованию с Заказчиком</u>   |

№ п/п	Определяемые показатели	Ед.изм	Результаты исследований	НД на методы исследований
1.	Запах	баллы	0	ГОСТ 3351
2.	рН	ед.рН	6,1	ФР.1.31.2007.03794
3.	Мутность	ЕМФ	1,1	ФР.1.31.2007.03808
4.	Цветность	градусы	14	ГОСТ 31868
5.	Жесткость общая	°Ж	1,0	ГОСТ 31954
6.	Щелочность общая	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,2	ГОСТ 31957
7.	Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,40	ГОСТ 33045
8.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	1,3	ГОСТ 33045
9.	Перманганатная окисляемость	мгО/дм <sup>3</sup>	3,3	ФР.131.2013.13900
10.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	19,8	ГОСТ 4245
11.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	96,2	ГОСТ 31940
12.	Железо +2	мг/дм <sup>3</sup>	4,2	ФР.1.31.2010.07607
13.	Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	5,8	ФР.1.31.2013.16027
14.	Магний +2	мг/дм <sup>3</sup>	9,6	ФР.1.31.2016.22443

Результаты исследования не имеют нормативов по СанПиН по согласованию с Заказчиком.

Погрешности результатов не превышают пределов, допустимых по НД на методы испытаний  
Условия проведения испытаний соответствуют указанным в методиках КХА

Ответственный исполнитель

Ответственный за оформление протокола

Аккредитованная Испытательная  
Лаборатория ООО «Центр  
экоаналитических услуг «ОПЫТ»  
Аттестат Аккредитации  
№ RA.RU.517884 от 08.06.15 А.З. Сабаноква

Н.В. Богачева

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Протокол испытаний торфяной пульпы с высоким содержанием гидрокарбонатов и катионов $Mg^{2+}$



Общество с ограниченной ответственностью  
**«Центр экоаналитических услуг «ОПЫТ» (ООО «ЦЭУ «ОПЫТ»)**  
 198095, Санкт-Петербург, ул. Шакина, д.32-34, лит. А тел./факс: (812) 252-06-63

Аттестат аккредитации  
 испытательной лаборатории  
 № RA.RU.517884,  
 внесение в реестр  
 аккредитованных лиц 08.06.2015 г.

УТВЕРЖДАЮ  
 Начальник испытательной  
 лаборатории ООО «ЦЭУ «ОПЫТ»  
 А.Н. Рязанцев  
 «05» апреля 2018 г.



### ПРОТОКОЛ № 0304/30 ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОБ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ от «05» апреля 2018 г.

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. Заказчик:                | <u>Вагапова Э.А.</u>   |
| 2. Место отбора:            | <u>Торфяное месторождение Ленинградской области</u>  |
| 3. Наименование пробы:      | <u>лаб. № 0304-30</u>  |
| 4. Сведения об отборе:      | <u>проба отобрана и доставлена представителем</u>  |
| 5. Дата и время отбора:     | <u>03.04.2018 г. 09.00</u>   |
| 6. Дата и время доставки:   | <u>03.04.2018 г. 17.13</u>   |
| 7. Цель исследования:       | <u>определение химических показателей</u>  |
| 8. Средства измерения:      | <u>Спектрофотометр ПЭ-5400УФ, спектрометр атомно-абсорбционный «КВАНТ-2АТ», рН-метр HI991002</u> |
| 9. Дополнительные сведения: | <u>объем исследований по согласованию с Заказчиком</u>   |

№ п/п	Определяемые показатели	Ед.изм	Результаты исследований	НД на методы исследований
1.	Запах	баллы	0	ГОСТ 3351
2.	рН	ед.рН	5,5	ФР.1.31.2007.03794
3.	Мутность	ЕМФ	1,5	ФР.1.31.2007.03808
4.	Цветность	градусы	19	ГОСТ 31868
5.	Жесткость общая	°Ж	5	ГОСТ 31954
6.	Щелочность общая	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,6	ГОСТ 31957
7.	Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,40	ГОСТ 33045
8.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	1,0	ГОСТ 33045
9.	Перманганатная окисляемость	мгО/дм <sup>3</sup>	3,3	ФР.131.2013.13900
10.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	150	ГОСТ 4245
11.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	30	ГОСТ 31940
12.	Железо +2	мг/дм <sup>3</sup>	0,11	ФР.1.31.2010.07607
13.	Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	1,3	ФР.1.31.2013.16027
14.	Магний +2	мг/дм <sup>3</sup>	52	ФР.1.31.2016.22443

Результаты исследования не имеют нормативов по СанПиН по согласованию с Заказчиком.

Погрешности результатов не превышают пределов, допустимых по НД на методы испытаний  
 Условия проведения испытаний соответствуют указанным в методиках КХА

Ответственный исполнитель

Ответственный за оформление протокола

Исполнитель  
 Лаборатория Испытательная  
 экоаналитическая ООО «ЦЭУ  
 «ОПЫТ» Н.В. Богачева  
 Аттестат Аккредитации  
 № RA.RU.517884 от 08.06.15 А.З. Сабаноква

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Патент на изобретение «Трансформируемое сооружение»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2672366

**ТРАНСФОРМИРУЕМОЕ СООРУЖЕНИЕ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Худякова Ирина Николаевна (RU), Фадеев Дмитрий Владимирович (RU), Вагапова Эльнара Абдуллаевна (RU), Иванов Сергей Леонидович (RU)*

Заявка № 2018104765

Приоритет изобретения 07 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 14 ноября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 07 февраля 2038 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## Патент на изобретение «Установка обезвоживания торфа»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2720341

## УСТАНОВКА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ТОРФА

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Ваганова Эльнара Абдуллаевна (RU), Худякова Ирина Николаевна (RU), Иванов Сергей Леонидович (RU)*

Заявка № 2019124365

Приоритет изобретения 29 июля 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 29 апреля 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 29 июля 2039 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Изrael



**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
**Акт внедрения**



**ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»**

199178, Санкт-Петербург, 13-я линия В.О., д. 78

ИНН 7813121149/КПП 780101001; ОКВЭД 26.51.7, ОКПО 52122445

т/ф.: (812) 648-24-60; info@lenprom.spb.ru www.lenprom.spb.ru

**Утверждаю**

Генеральный директор

ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»



Цудиков Д.Б.

«15» марта 2023 г.

**АКТ**

о внедрении результатов  
кандидатской диссертации

**Вагаповой Эльнары Абдуллаевны**

Специальность 2.8.8 – Геотехнология, горные машины

Комиссия рабочая в составе:

**Председатель:** главный инженер Лазарук Н.В.;

**Члены комиссии:** начальник проектного отдела Лавров Е.П., ведущий технолог Шевченко Е.П., инженер - проектировщик Шаталов М.С.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему **«Обоснование и выбор параметров оборудования дегидратации торфяного сырья плавучего добычного комплекса интенсификацией обезвоживания пульпы»**, представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы в проектах по реконструкции электросетевого хозяйства в рамках развития программы региона по электрогенерации на нетрадиционных видах топлива деятельности ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» проект № 483-ГЭ-18-П «Реконструкция ЦРК Сахалинской области» и при разработке документации по модернизации центральных районных котельных с использованием местных видов топлива в виде торфа:

- технических предложений по выполнению конструктивных схем;
- рекомендаций.

СТРОИТЕЛЬСТВО И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
**АГНКС И КРИОАЗС ПОД КЛЮЧ**

**ООО ЛенПромАвтоматика**

Использование указанных результатов позволяет эффективно использовать местное топливо, с реализацией перевода региональных котельных с угля или мазута на основе местных видов топлива и дальнейшее развитие идеи строительства многотопливных котельных.

**Председатель комиссии**

Главный инженер  
ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

Лазарук Н.В.

**Члены комиссии:**

Начальник проектного отдела  
ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

Лавров Е.П.

Ведущий технолог  
ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

Шевченко Е.П.

Инженер – проектировщик  
ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

Шаталов М.С.

