

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

На правах рукописи

Мякотных Алина Алексеевна



ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ
МОСТОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ
ТЕРРИТОРИЙ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

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 – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	10
1.1 Территории торфяных месторождений России и особенности их освоения	10
1.2 Технологии освоения торфяных месторождений и горная техника, реализующая данные технологии	21
1.3 Гидравлическое оборудование гидрофицированных горных машин, особенности эксплуатации, причины отказов, техническое обслуживание	35
1.4 Способы контроля состояния гидравлической жидкости как основа безаварийной работы гидравлического оборудования	47
1.5 Выводы по Главе 1	52
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ МОСТОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ НЕОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	54
2.1 Классификация комплексов добычи торфяного сырья	54
2.2 Обоснование рациональной структуры мостовой платформы	56
2.3 Анализ функциональной схемы мостовой платформы с технологическими элементами в виде автономного энерготехнологического центра горного оборудования (АЭТЦ ГО).....	61
2.4 Структурно-параметрический синтез мостовой платформы для технологии освоения неосушенных торфяных месторождений	63
2.5 Комплексное освоение торфяных месторождений	66
2.6 Технология освоения торфяного месторождения с применением мостовой платформы	69
2.7 Обеспечение стабильного основания мостовой платформы.....	71
2.8 Механизм перемещения мостовой платформы	77
2.9 Обеспечение безотказной работы элементов мостовой платформы.....	79
2.10 Выводы по Главе 2.....	82
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ	84

3.1 Планирование экспериментальных исследований для реализации цели работы	84
3.2 Экспериментальные исследования	85
3.2.1 Лабораторное исследование оценки изменения высокочастотного сигнала от класса чистоты рабочей жидкости гидравлической системы.....	85
3.2.2 Физическое моделирование положения полой опоры в зависимости от объема балласта	92
3.2.3 Исследования по оценке сопротивления сдвигу торфяной залежи выбранного месторождения	98
3.3 Выводы по Главе 3.....	105
ГЛАВА 4 РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОСТОВОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	107
4.1 Конструкция мостовой платформы для освоения территорий торфяных месторождений.....	107
4.2 Навесное оборудование мостовой платформы	111
4.3 Механизм шагания мостовой платформы.....	115
4.4 Предложения по диагностике гидравлических систем по величине акустико-эмиссионного сигнала	117
4.5 Выводы по Главе 4.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт о внедрении результатов диссертации	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Патент изобретение «Мостовая плавучая платформа» .	151
ПРИЛОЖЕНИЕ В Патент на устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Патент на полезную модель «Ковш для экскавации и обезвоживания торфа»	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Математическая модель положения опоры в зависимости от водного балласта	154

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Более 20 % площади РФ относятся к категории заболоченных, при этом почти 8 % из них занимают торфяные болота. Значительная часть этих пространств в естественном состоянии сильно обводнена и имеет относительно низкую плотность, из-за чего торфяные грунты, как правило, обладают малой несущей способностью, что делает их труднопроходимыми для большинства колесных и гусеничных машин. При этом для освоения этих территорий в ряде случаев водопонижение невозможно или связано со значительными экологическими рисками.

Вместе с тем, кроме торфа на этих территориях располагаются залежи полезных ископаемых, включая нефть, газ, уголь и металлы, что требует при их освоении, помимо собственно ведения добычи, создавать элементы временной инфраструктуры на заболоченных территориях. Кроме того, освоение торфяных месторождений должно вестись с соблюдением строгих экологических норм с применением наилучших доступных технологий (Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145).

На сегодняшний день практически не существует эффективных решений для проведения работ на торфяных месторождениях без предварительного водопонижения, что придает решениям данной задачи поисковый характер. Одним из перспективных направлений поиска является применение мостовых платформ, способных обеспечивать комплексное освоение территорий торфяных месторождений, для чего требуется обоснование рациональной структуры и параметров их функциональности.

Степень разработанности темы исследования

Вопросам освоения торфяных месторождений посвящены работы ученых: Амаряна Л.С., Базина Е.Т., Валиева Н.Г., Вагаповой Э.А., Гамаюнова С.Н., Горлова И.В., Горячева В.И., Гревцева Н.В., Женихова Ю.Н., Жигульской А.И., Зюзина Б.Ф., Ивановой П.В., Казакова Ю.А., Копенкина В.Д., Копенкиной Л.В., Косова В.И., Лях Д.Д., Мисникова О.С., Михайлова А.В., Опейко Ф.А., Петрова А.А., Пуховой О.В., Самсонова Л.Н., Солопова С.Г., Тюремнова С.Н., Фадеева Д.В.,

Фомина К.В., Худяковой И.Н., Штина С.М., Ялтанца И.М., Cruickshank M., Holmgren K., Jurasinski G., Saarnisto M., Minkkinen K, Wong L.S. и ряда других исследователей.

Результаты исследований упомянутых авторов обладают значительной теоретической и практической ценностью, однако, в них в недостаточной степени выявлены закономерности формирования рациональной структуры мостового комплекса, оценки ее технического состояния, а также надежного перемещения мостовой платформы по опорам на неосушенных торфяных месторождениях. Данные закономерности составляют основу новых технических решений для машин этого класса, что требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Объект исследования – процесс шагания мостовой платформы посредством гидравлического механизма перемещения.

Предмет исследования – мостовая платформа и механизм ее перемещения.

Цель работы – обеспечение функциональности мостовой платформы и заданного уровня готовности механизма ее перемещения при освоении территории торфяного месторождения без предварительного водопонижения.

Идея работы: при освоении территорий неосушенных торфяных месторождений в состав мостовой платформы необходимо включать автономный энерготехнологический центр в составе дизель-генератора и грузоподъемных устройств, а также гидравлический механизм перемещения для шагания по опорным элементам.

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

1. Провести обзор и анализ теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы и на их основе разработать классификацию комплексов добычи торфяного сырья.

2. Провести теоретические исследования по обоснованию и выбору структуры платформы, сочетающей технологические возможности с техническими характеристиками оборудования, обеспечивающими ее функциональность.

3. Провести теоретические и экспериментальные исследования по оценке класса чистоты гидравлической жидкости гидравлической системы и сигнала акустической эмиссии при изменении класса чистоты.

4. Предложить техническое решение мостовой платформы, дать рекомендации по проведению мониторинга состояния гидравлической жидкости гидравлической системы по величине и характеру изменения приведенного сигнала акустической эмиссии.

Научная новизна работы:

1. Установлена функциональная структура мостовой платформы с технологическими элементами в виде автономного энерготехнологического центра горного оборудования, учитывающая закономерности изменения технологических возможностей с техническими характеристиками оборудования и обеспечивающая ее применение на торфяных месторождениях без предварительного водопонижения.

2. Выявлена закономерность изменения интегрального показателя трения D акустического сигнала в диапазоне частот от 20 до 300 кГц от индекса загрязненности жидкости гидравлической системы механизма перемещения мостовой платформы, характеризующая ее коэффициент готовности.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по пунктам:

1. «Научные основы создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях»;

16. «Техническое обслуживание и ремонт горных машин и оборудования с учетом специфики горно-геологических и горнотехнических условий их эксплуатации».

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Получены функциональные зависимости изменения коэффициента готовности от индекса загрязненности и интегрального показателя трения D , описываемые уравнением второй степени.

2. Предложены технические решения мостовой платформы, перфорированного ковша и устройства контроля загрязненности гидравлической жидкости гидравлической системы механизма перемещения мостовой платформы, защищенные патентами Российской Федерации (№ 2807666, Приложение Б; № 2739147, Приложение В; №216019, Приложение Г).

3. Результаты диссертационной работы планируются к использованию в деятельности ООО «М4Е» в рамках реализации мероприятий по оценке технического состояния гидравлической системы, основанной на оценке уровня загрязнения гидравлической жидкости при проведении мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту гидрофицированных машин (акт внедрения от 27.03.2024, Приложение А).

Методология и методы исследования. Для реализации данного исследования применяется комплексный подход, включающий научный анализ и обобщение существующих исследований, обработку и анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований в области горных машин, оборудования торфяного производства и функционирования этих машин. Методологической основой для исследования является системный подход к изучаемым средствам добычи, включающий теоретический анализ и обобщение результатов фундаментальных и прикладных работ отечественных и зарубежных авторов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Функциональность платформы при производстве работ обеспечивается ее рациональной структурой, сочетающей технологические возможности с техническими характеристиками оборудования, объединенного в автономный энерготехнологический центр в составе дизель-генератора и грузоподъемных устройств, а продвижение платформы над поверхностью неосушенного торфяного месторождения по стабильному основанию обуславливают силовые элементы гидравлической трансмиссии.

2. Реализация конструктивных и кинематических связей между корпусом платформы и ее элементами при перемещении по торцевым поверхностям опор реализуется посредством гидравлической трансмиссии, при этом использование

установленной зависимости коэффициента готовности от индекса загрязненности жидкости гидравлической системы позволяет вести мониторинг ее состояния по величине интегрального показателя трения D с достоверностью не ниже 90% с оценкой коэффициента готовности гидравлической системы от 0,99 до 0,90.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается теорией, основанной на достоверных и проверяемых данных и фактах, соответствием опубликованным эмпирическим результатам по теме исследования, удовлетворительной сходимостью полученных данных с данными других исследователей в рассматриваемой предметной области, применением аттестованных и поверенных приборов.

Апробация результатов диссертации проведена на 8 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 6 международных. За последние 3 года принято участие в 8 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 6 международных: VI Международная научно-практическая конференция «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте» (ноябрь 2022 года, г. Кемерово), XX Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенная в рамках Уральской горнопромышленной декады (апрель 2022 года, г. Екатеринбург), XXI Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенная в рамках Уральской горнопромышленной декады (апрель 2023 года, г. Екатеринбург), XVI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «Россия молодая» (апрель 2024 года, г. Кемерово), X Международная научно-практическая конференция «Горная и нефтяная электромеханика – 2024: повышение эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования» (ноябрь 2024 года, г. Пермь), XX Всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (декабрь 2024 года, г. Санкт-Петербург), XXIII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (апрель 2025 года, г. Екатеринбург), 83-я

Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (апрель 2025 года, г. Магнитогорск).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; в непосредственном участии в процессах получения и анализа исходных данных, разработке экспериментальных стендов и ключевых элементов экспериментальных установок, обработке и интерпретации экспериментальных данных, в апробации результатов исследования, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 12 печатных работах (пункты списка литературы № 43, 44, 73-80, 133, 155), в том числе в 2 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, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 патента на изобретение (Приложения Б, В) и 1 патент на полезную модель (Приложение Г).

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 176 наименования, и 5 приложений. Диссертация изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 71 рисунок и 28 таблиц.

ГЛАВА 1 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1 Территории торфяных месторождений России и особенности их освоения

Среди массы полезных ископаемых нашей страны важное место занимают торфяные месторождения, которые встречаются почти повсеместно. Около 4,4% [45] суши планеты приходится на заболоченные территории, при этом 60% торфяников от числа общемировых расположены в России [29]. Более пятой части территории государства покрыто болотами и заболоченными оторфованными землями.

В исследовании [131] выделено 4 пояса накопления торфа: полярный, интенсивного торфонакопления, слабого торфонакопления и ничтожного торфонакопления, что также подтверждается распределением заторфованных территорий [17] (рисунок 1.1).

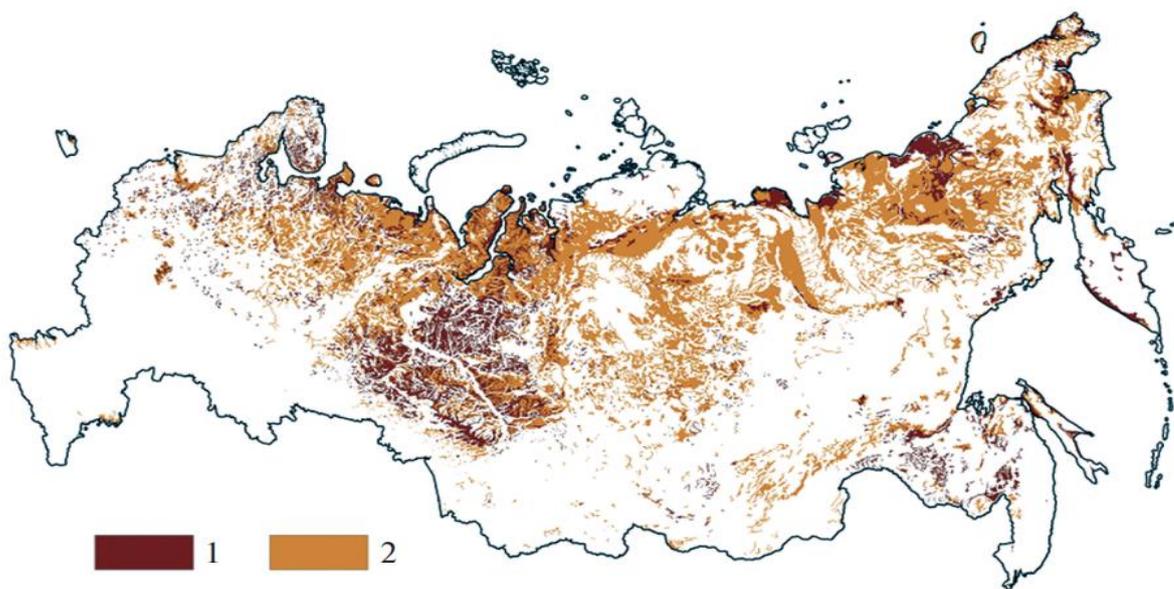


Рисунок 1.1 – Карта заболоченных земель России (1 – мощность торфа более 30 см, 2 – мощность торфа менее 30 см) [17]

В целом, балансовые запасы торфа в стране достигают 19 млрд. т, общая площадь которых в границах промышленной залежи составляет 10,3 млн га [45]. Основная масса запасов торфа сосредоточена в северных районах Европейской части страны, на Урале и в Западной Сибири в силу геоморфологических, климатических и других природных аспектов [29, 45]. Несмотря на то, что большая

часть заторфованных земель (со слоем торфа более 30 см) сосредоточена в Западной Сибири и достигает 80% от общего баланса запасов торфа страны, самым разведанным регионом считается Северо-Западный в силу доступности и высокой плотности заселения в сравнении с регионом Западной Сибири [45]. Статистика разведанных запасов торфа по экономическим регионам, составленная на основе данных исследования [131], представлена на рисунке 1.2.

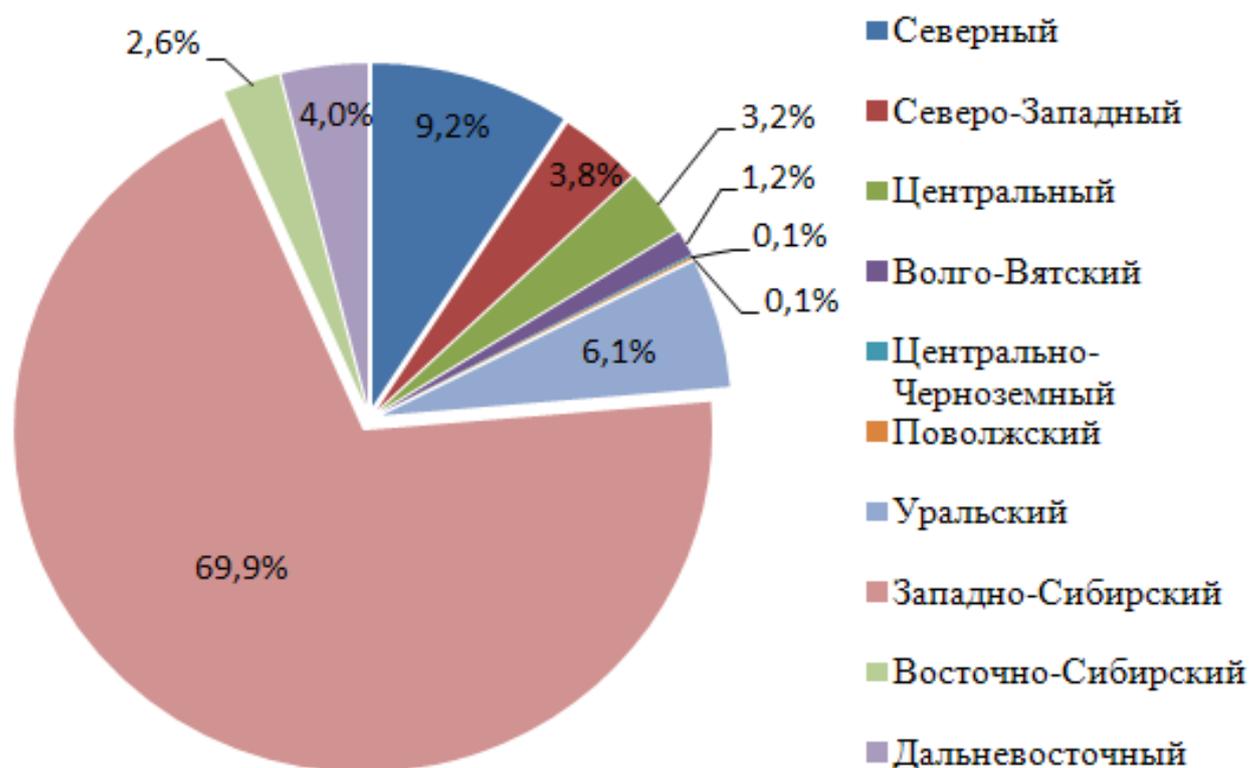


Рисунок 1.2 – Статистика разведанных запасов торфа России [131]

Следует учитывать, что на заболоченных участках, включая территории с торфяниками, располагаются также залежи ценных минеральных ресурсов (рисунок 1.3), в частности, россыпи золота [27, 86, 110], глина [86, 108], металлические руды [108], что накладывает ограничения при их разведке и добыче, из-за особенностей торфяных залежей.

По ГОСТ 21123-85 «Торф. Термины и определения» торф – это «органическая горная порода, образующая 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».



Рисунок 1.3 – Распределение полезных ископаемых России (составлено автором)

Торф в естественном состоянии представляет собой трёхфазную систему, включающую твёрдую, жидкую и газообразную фазы. Границы между этими фазами, а также их соотношение, непостоянны во времени, поскольку непрерывный процесс разложения твёрдой фазы сопровождается образованием газообразных и жидких компонентов.

Твёрдая фаза представлена частицами болотных растений размером от 0,0002 до 10 мм [120]. В качестве жидкой фазы выступает вода различной категории (прочносвязная, иммобилизованная, капиллярная, гравитационная), которая составляет от 90 до 98% (исходя из отношения весового количества воды к весу общей массы торфа) [116]. Газообразная фаза изменчива и состоит из метана, водорода, аммиака, сероводорода, углекислого газа и незначительного количества кислорода.

В силу ряда биохимических процессов, происходящих в болотах [29], торф содержит массу полезных веществ, благодаря которым продукты его переработки разнообразны и применяются в различных отраслях промышленности. Первичные вещества, получаемые из торфа [29, 69]: битумы, целлюлоза, гуминовые вещества, лигнин и углеводы. В исследовании [29] предложено классифицировать всю производимую продукцию из торфа на 4 основные технологические группы: механическая, термохимическая, биохимическая, механотермическая.

Продукция механической группы реализуется в сельском хозяйстве [29, 42, 61, 119] в виде удобрений, гранулированных грунтов, субстратов, мелиорантов, и т.д. Технологическая группа термохимической продукции торфов применяется в химической промышленности благодаря содержанию органических веществ, в частности, гуминовых, углеводных, а также битумов [29, 45]. В процессе переработки из торфа получают удобрения, спирты, красители и воски [28, 29]. Биохимическая группа включает в себя продукцию для ее применения в сельском хозяйстве, на основе торфа изготавливают бактериальные препараты, кормовые дрожжи, подстилку для скота, удобрения и т.д.

Механотермическая группа торфяной продукции получила свое распространение в энергетике и строительстве [22, 28, 29, 30, 38, 45, 55, 61, 87, 106,

169]. В строительстве торфяное сырье используют для получения тепло- и звукоизоляционных материалов [28, 29, 42]. Известны также возможности применения торфов в металлургии [29, 90, 91]

Являясь экологически чистым местным топливом [65, 135, 143] (при использовании торфа в качестве топлива снижается выброс серы до 24 раз в сравнении с углем, сланцами и нефтью [45]), а также экономически выгодным (с учетом логистики цены торф, в сравнении с углем меньше в 7 раз [173]), торф считается целесообразным стратегическим ресурсом. Помимо топлива в энергетической промышленности торф также применим в устройствах для накопления и хранения электрической энергии [68].

Вместе с тем, торф применяют в природоохранной деятельности, в частности, при рекультивации обработанных земель, в качестве фильтрующих материалов, а также в качестве компонента для утилизации отходов [29, 122, 163].

Также одной из основных характеристик торфа является степень разложения, которая характеризует специфические инженерно-геологические особенности торфяной залежи и указывает на процентное содержание продуктов разложения в торфе. Степень разложения изменяется в диапазоне от 1 до 70 % [29]. По ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» торф подразделяют на слаборазложившийся (<20%), среднеразложившийся (20-45%) и сильноразложившийся (>45%).

Другой не менее значимой характеристикой является влажность, зависящая от ряда факторов: от поступления воды (грунтовых вод или осадков) в залежь, от направления и скорости внутризалежных потоков, от влагоемкости и водопроницаемости. Влажность торфяной залежи в естественном состоянии достигает 98% и во многом зависит от степени разложения, так как с увеличением гумификации торф становится плотнее, содержание растительных остатков снижается, а его водопоглощающая способность уменьшается [121]. В работе [120] представлена зависимость влажности нормальнозольных торфов от степени разложения (рисунок 1.4).

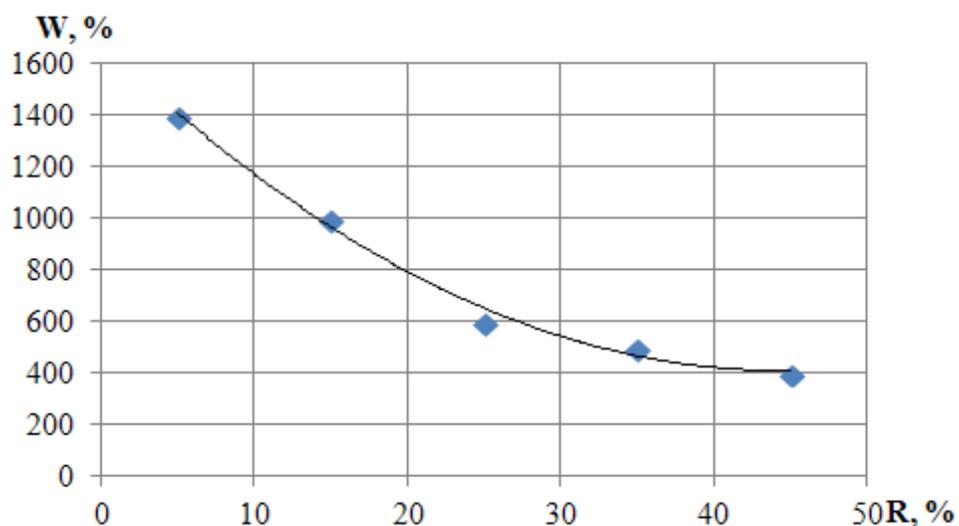


Рисунок 1.4 – Кривая зависимости влажности от степени разложения торфяной залежи [120]

Для торфа также характерна низкая плотность, значительная усадка и сжимаемость, например, с повышением степени разложения плотность торфа увеличивается, но по-прежнему принимает малые значения (550-1000 кг/м³), а влажность торфа варьирует его объемную усадку, с повышением влажности объемная усадка увеличивается и при влажности 1100 % достигает 60% [120].

Стоит также отметить, что при равной степени разложения низинные торфа отличаются меньшей влажностью при сравнении с верховыми, что обусловлено особенностями их ботанического состава (определяется содержанием остатков растений в волокнистой части торфа) и повышенной зольностью, а также естественной усадкой и уплотнением [29, 120].

Важным общетехническим свойством торфа является зольность, которая влияет на выбор направления его использования. Показатель зольности зависит от минеральных веществ, содержащихся в торфе. Так, для верхового торфа зольность составляет 2-4 %, для переходного 4-6 %, а для низинного 6-18 % [69].

Наряду с общетехническими характеристиками, существенное значение имеют физико-механические свойства, в частности: пористость, прочность, несущая способность, внутреннее и внешнее трение [69, 120, 175, 176]. Для торфяных залежей характерны такие показатели: высокая пористость (80-95%), низкая плотность (550-1000 кг/м³), значительная усадка и сжимаемость [120, 171], что напрямую влияет на их несущую способность [35], что, в свою очередь,

отражается на их пригодности для строительства, а также проходимости гусеничной и колесной техники без проведения мероприятий по водопонижению.

На несущую способность торфяной залежи также влияет макроструктура залежи, которую профессор Амарян Л.С. [7] представил восемью типами, различающимися между собой характерными напластованиями (рисунок 1.5).

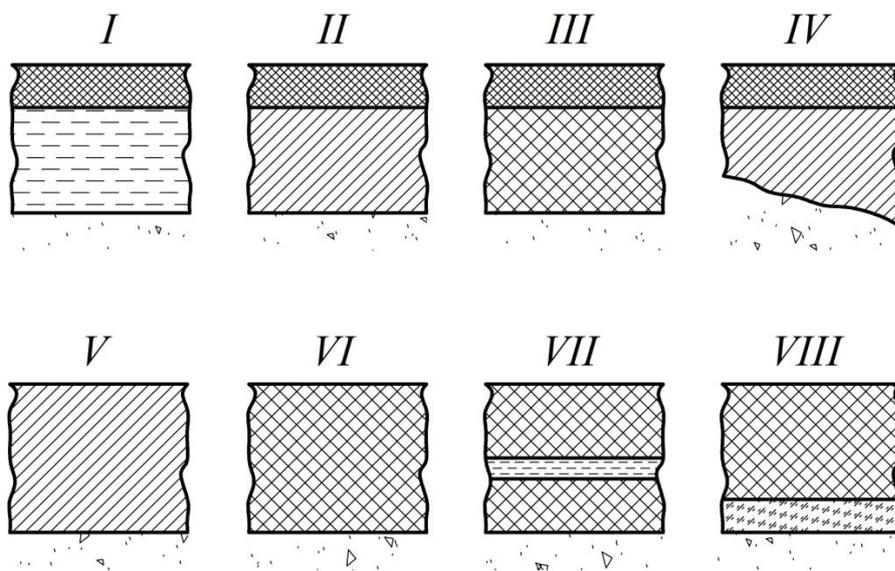


Рисунок 1.5 – Макроструктурные схемы торфяной залежи по Амаряну Л.С. [7]

I, II, III и IV типы имеют пласт малоразложившегося торфа – очесный слой, при этом, у I типа очесный слой расположен на несвязном грунте, II и III типы под очесным слоем имеют влагонасыщенную связную плотную залежь, а IV отличается от II типа наличием уклона при основании залежи. В основании V и VI типа залежи лежит также влагонасыщенный связный пласт, но очесный слой отсутствует. Для VII типа характерна текучая прослойка, а VIII типу слабые сапропелевые отложения, подстилающие залежь [7].

Несущая способность (прочность) торфяной залежи влияет на проходимость техники по ее поверхности. В работе [7] предложена категоричность несущей способности торфяной залежи (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Категория проходимости в зависимости от величины несущей способности [7]

Показатель несущей способности	Категория проходимости
<0,3	проходимость отсутствует
0,3-0,5	плохая проходимость
0,5-0,75	удовлетворительная проходимость

Продолжение таблицы 1.1

Показатель несущей способности	Категория проходимости
>0,75	хорошая проходимость

Сам показатель несущей способности, значения которого приведены в таблице 1.1, рассчитывается по формуле (1.1) [7]:

$$P_0 = \left(1 - \frac{P}{P_0}\right), \quad (1.1)$$

где P – среднее давление под опорной поверхностью машину, Па;

P_0 – несущая способность торфяной залежи, Па.

Проходимость также оценивается по данным испытания на вращательный срез (сопротивлению сдвигу) и, исходя из средних результатов на метровой глубине залежи, по таблице 1.2 [6] оцениваются условия проходимости техники.

Таблица 1.2 – Классификация условий проходимости техники по торфяным месторождениям [6]

Условия проходимости	Критерий проходимости, τ , кПа	Характеристика торфяной залежи	Характеристика условий и техники
Легкие	> 17,6	Хорошо осушенная и эксплуатируемая залежь. Предварительно осушенная залежь глубиной менее 1,5 м	Возможен проезд любых гусеничных и колесных машин в сухое время
Средние	11,7-17,6	Предварительно осушенные торфяные залежи со снятым древостоем	Возможен проезд гусеничных болотных тракторов, а также вездеходов на арочных шинах
Тяжелые	7,8-11,7	Мало осушенные или неосушенные торфяные залежи, целиком заполненные торфом, облесенные. Сапропели залегают на глубине более 2 м.	Возможен проезд специальной болотной техники с удельным давлением менее $15 \cdot 10^{-3}$ МПа. Необходимо предварительное снятие деревьев
Особые	< 7,8	Неосушенные глубокие торфяные залежи с озерами и заросшими водоемами. Сапропели залегают на дне водоемов или глубине менее 2 м. Сплавины различной толщины	Возможен проезд плавучей гусеничной техники или машин с арочными многокатковыми шинами. В зимнее время (за исключением теплых зим) обеспечен проезд гусеничных вездеходов

При этом лабораторные испытания свойств торфяной залежи естественного залегания невозможны, так как они не учитывают особенностей ее макроструктуры, а также характер залегания и распределения включений, в силу чего, несущая способность определяется исключительно при инженерных изысканиях. В качестве прибора для проведения испытаний применяется сдвигомер-крыльчатка СК-8 и СК-10 конструкции Л.С. Амаряна [6, 7, 8]. Принцип работы сдвигомера-крыльчатки основан на измерении максимального крутящего момента при вращении его четырехлопастного элемента, погруженного в массив слабого грунта в естественном залегании. По этому моменту рассчитываются удельное сцепление (C) и сопротивление сдвигу (τ). Полученные показания индикатора, установленного на крыльчатке, используют в формуле для нахождения сопротивления сдвигу грунта (1.2):

$$\tau = \frac{\Delta l}{Kn}, \quad (1.2)$$

где Δl – показания индикатора, дел.;

K – постоянная крыльчатки, м³;

n – постоянная упругой пластины, дел/Н·м.

Постоянную упругой пластины и ее жесткость n определяют по результатам градуировки, а постоянную крыльчатки – из выражения (1.3):

$$K = \frac{\pi d^2}{2} \left(\frac{d}{a} + h \right), \quad (1.3)$$

где a – постоянный параметр, равный 3 (при сдвиге на дне скважины или поверхности грунта) или 6 (при сдвиге в толще грунта);

h – высота крыльчатки, м;

d – диаметр крыльчатки, м.

В работе [7] также приведены значения сопротивления сдвигу в зависимости от глубины залежи, типа залежи и ее влагосодержания. Важным наблюдением является равномерность показаний сопротивления сдвигу для каждого из типов залежи, их разница при переходе от одного типа к другому, а также при достижении определенной глубины месторождения значения сопротивления сдвигу принимают постоянное значение.

В классификации [121] торфяные залежи предложено разделять на слабообводненные, обводненные и сильнообводненные по степени обводненности территории, в рекомендациях [84] предложено разделение торфяных залежей также на 3 категории: I – месторождения влагой менее 89% и сопротивлением сдвигу не менее 15 кПа; II – месторождения влагой 89-92 % и сопротивлением сдвигу 8-15 кПа; III – месторождения влагой более 92 % и сопротивлением сдвигу менее 8 кПа. При этом, указано, что минимальное значение сопротивления сдвигу верхнего слоя залежи должно превышать значение в 12 кПа [84].

В силу того, что неосушенные торфяные залежи в естественном залегании принадлежат ко II и III группе классификации [64, 84], накладываются определенные ограничения по проходимости техники по поверхности торфяной залежи, что требует определенного вида работ по увеличению этой проходимости.

Для обеспечения проходимости реализуется ряд мероприятий для подготовки торфяных месторождений к их освоению, например, осушение с помощью каналов [45, 84, 85] или вертикальных и горизонтальных дренажных систем [85, 102], консолидация [60, 85], применение уплотняющих свай [60, 85]. При проведении добычных работ, где торфяное сырье является продуктом добычи на торфяных залежах, осуществляют осушение территории [105]. При этом, различают пять методов осушения, которые зависят от типа водного питания месторождения [64]. Каждый метод направлен на увеличение оттока и уменьшение притока воды. В процессе удаления воды из верхнего слоя торфа в результате осушения происходит уплотнение и, как следствие, оседание поверхности. Подготовка месторождения к добыче может продолжаться до 6 лет [64, 83, 84] в зависимости от проектной мощности предприятия и типа залежи таблица 1.3 [83].
Таблица 1.3 – Сроки подготовки поверхности торфяных месторождений в зависимости от проектной мощности и типа залежи [83]

Проектная мощность, 10 ³ т/год	Сроки подготовки залежи, лет	
	Низинная залежь	Верховая залежь
до 200	2	3
200-400	3	4
400-750	4	5
750-1000	5	6

При осушении поверхности месторождения обеспечивается проходимость техники, но вместе с тем повышаются экологические риски [147, 151, 152, 160, 168].

Во-первых, при осушении увеличивается выделение углекислого газа CO_2 и оксида азота N_2O , что при высоких концентрациях в атмосфере приводит к разрушению озонового слоя и созданию парникового эффекта [145, 151, 152, 168]. В процессе осушения также теряется функция поглощения торфяников парниковых газов [156, 160, 168, 170]. Водоотвод также сопровождается попаданием тяжелых металлов и органических веществ торфа в близлежащие водоемы, кислотные соединения, попадая в водные ареалы, оказывают негативное воздействие на всех водных обитателей этой области, с повышением кислотности воды также ухудшается ее качество, что отражается на местном населении [45, 56, 165, 168]. Иными словами, осушение оказывает значительное воздействие на климат, гидрологию и биоразнообразие ареалов. Все последствия осушения торфяников были сведены в схему (рисунок 1.6).

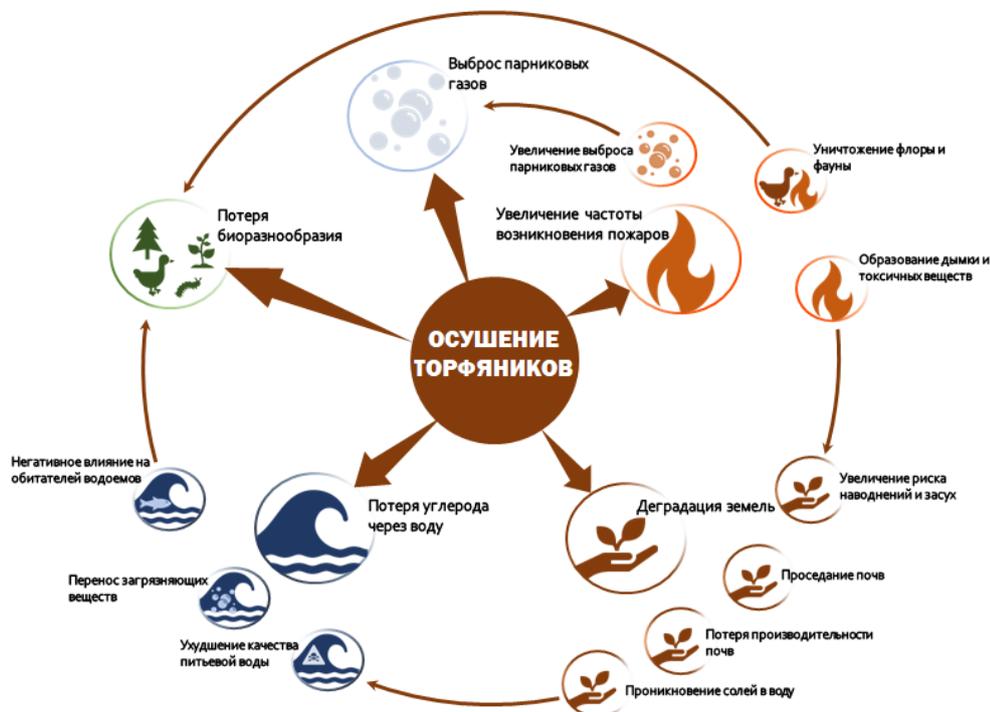


Рисунок 1.6 – Последствия осушения территорий торфяных месторождений
(составлено автором)

Комплекс гидромелиоративных работ по осушению торфяных месторождений формирует инженерно-гидрологическую основу для последующей разработки залежи.

1.2 Технологии освоения торфяных месторождений и горная техника, реализующая данные технологии

Выбор технологии (способа) освоения торфяного месторождения основан на следующей методике (рисунок 1.7) [48].

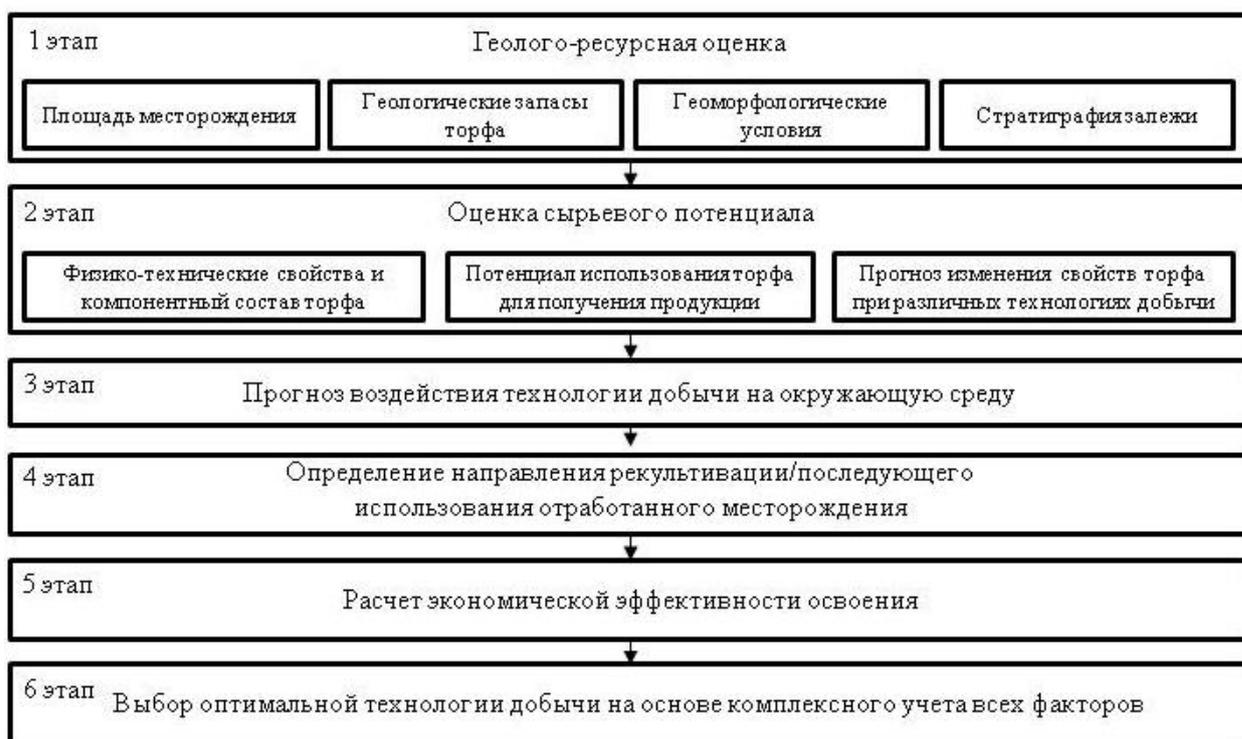


Рисунок 1.7 – Структура методического подхода к выбору технологии освоения торфяного месторождения [48]

Разработка месторождения для получения торфяной продукции осуществляется несколькими способами. Машинно-резной способ (рисунок 1.8-1.9) сегодня применяется преимущественно в арктических зонах с мерзлой торфяной залежью на месторождениях малой площади и глубины [9, 10, 40], подготовительные мероприятия, в частности осушение торфяной залежи, не требуется.



Рисунок 1.8 – Машинно-резной способ добычи торфяного сырья [34]

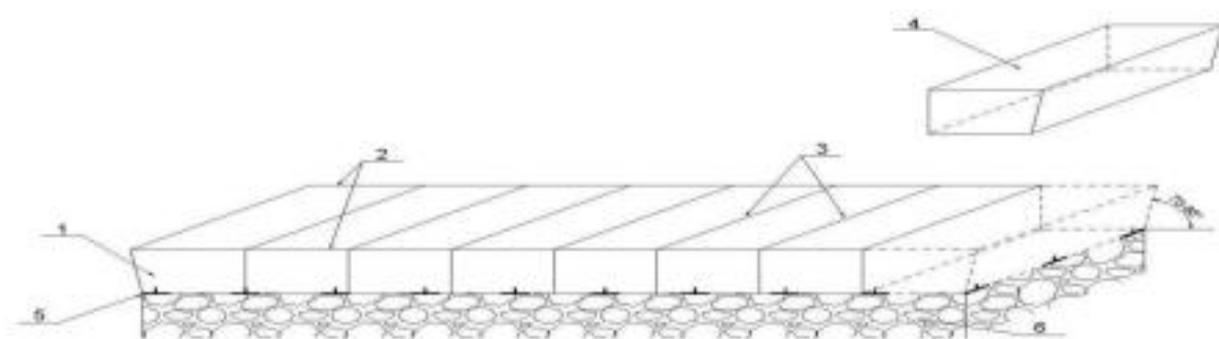


Рисунок 1.9 – Способ зимней добычи мерзлого торфа: 1 – блок; 2 – продольные пропилы; 3 – поперечные пропилы; 4 – извлеченный блок; 5 – граница талого слоя; 6 – мерзлота [39]

К преимуществам такого способа также относятся низкие инвестиционные вложения [141], минимальная доступность продукта окислительно-деструктивным процессам в период добычи [48], структура конечной продукции зависит исключительно от состава сырья и условий сушки [48]. Данный способ имеет также ряд недостатков [141]: высокую себестоимость и трудоемкость, низкую механизацию получения готовой продукции, а также большой срок окупаемости.

Фрезерная добыча сопровождается работой широкой номенклатуры парка узкоспециализированной техники (рисунок 1.10).

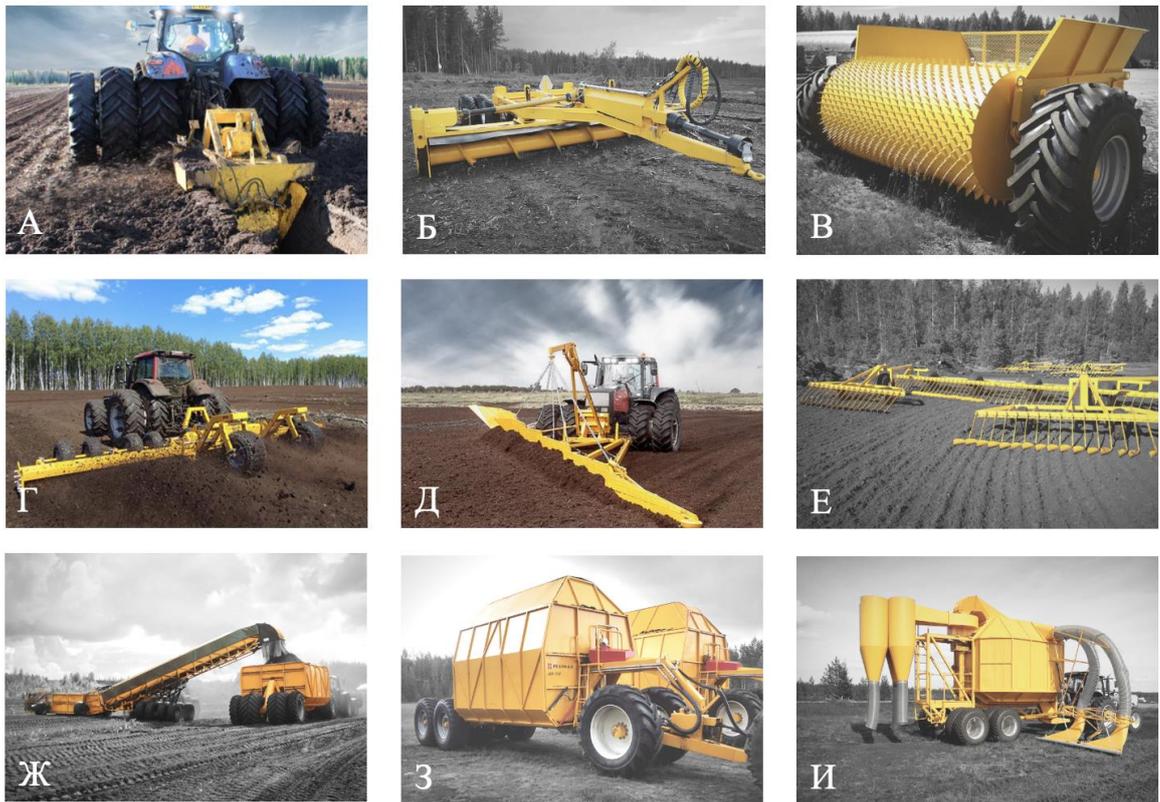


Рисунок 1.10 – Примеры машин, участвующих в добыче фрезерного торфа:

А –шнековый канавокопатель *QJK-0.7 Meripeat* [117]; Б – шнековый выравниватель *KTR-6 Peatmax* [166]; В – сборщик древесины *KPK-3 Peatmax* [166]; Г – фрезерный барабан *PM-6.0 Meripeat* [117]; Д – валкователь *MPR-9.0 Meripeat* [117]; Е – ворошилка *JLK-19S Peatmax* [166]; Ж – погрузчик *JKS-15S Peatmax* [166]; З – механический комбайн *JMK-55V Peatmax* [166]; И – пневмоуборочный комбайн *JIK-40 Peatmax* [166]

Технология добычи фрезерным способом включает в себя несколько этапов [9, 83, 112, 113, 126]: 1) подготовительный: на данном этапе проводят осушительные мероприятия, сводку растительности, корчевание/глубокое фрезерование, выравнивание площадей; 2) фрезерование: данная операция представляет собой измельчение верхнего слоя торфяной залежи на глубину до 20 см с получением фрезерной крошки размером до 60 мм и служит для ускорения процесса сушки; 3) ворошение: данная операция предназначена для осуществления перемешивания высушенных и сырых частиц с целью повышения испаряемости, что позволяет сократить процедуру сушки (процедура ворошения проводится 2-3 раза для одного слоя фрезерной крошки); 4) валкование: подготовительный этап

для уборки торфа, при котором машины осуществляют сбор высушенного продукта (влажность сырья ~50% [84, 114]) в валки треугольного профиля вдоль картовых каналов; 5) уборка: данная операция заключается в перемещении высушенного торфа к месту хранения (штабелю); 6) штабелирование – заключительный этап добычи торфяного сырья фрезерным способом, проводимый с целью организации хранения торфяной крошки с минимальными потерями.

К преимуществам данного способа относится полная механизация всех процессов [4, 48, 109], осушение продукции за счет солнечной радиации и ветра [48], впоследствии достигаются низкая себестоимость продукции и невысокая трудоемкость [140]. Несмотря на преимущества данного способа и его распространенность, он обладает рядом недостатков, к которым относится: потребность в мероприятиях по осушению территорий [101, 127, 140]; пожароопасность участков добычи [57, 101]; ухудшение качества воды из-за проведения гидромелиоративных работ [101]; сезонность работ, что влечет также простои оборудования [23, 24, 112]; зависимость от метеорологических условий [112]; необходимость применения широкой номенклатуры парка узкоспециализированной техники, что приводит к большим инвестиционным тратам [137, 140]; повышенная запыленность на территориях, вызывающая увеличение изнашивания техники [140]; окисление сырья во время сушки, что является следствием снижения концентрации ценных органических веществ [67, 140]; потеря продукции при сушке, транспортировке и складировании [25, 26, 140].

Одной из разновидностей такого способа добычи является производство крошкообразного торфа с пассивным рыхлением [19], отличительной особенностью которого является применение сельскохозяйственных машин при разработке месторождения на каждом из этапов разработки, что является существенным преимуществом данного способа, особенно при последующем использовании отработанных территорий в сельскохозяйственных целях, с возможностью применения той же техники для выполнения сельскохозяйственных задач.

Еще одной модификацией фрезерной добычи торфа является фрезформовочный способ [16]. Данный способ имеет существенное отличие – конечным продуктом является брикет. Фрезформовочный способ добычи кускового торфа представляет собой послойное или щелевое фрезерование торфяной залежи с последующей формовкой торфа [19]. Данный способ реализуется с применением меньшей номенклатуры машин, в отличие от фрезерного способа, также стоимость данной техники ниже в силу того, что большая часть является прицепным устройством, для функционирования которого служит универсальная машина в виде трактора (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Техника, применяемая при фрезформовочном способе добычи: А – экструдер с плоским торцом *PK 1 SL R12* производителя *Meripeat* [117]; Б – борошиллка *KNH-18 Meripeat* [117]; В – валкователь *KA-4.0 T Meripeat* [117]; Г – погрузчик кускового торфа *КНТ-2.0 Meripeat* [117]

Данная технология добычи также требует предварительной подготовки месторождения, однако, дальнейшие этапы отличаются от добычи фрезерным способом и включают в себя [83, 113]: 1) щелевое фрезерование: фрезерный комбайн извлекает сырье из канавок глубиной 40 см; 2) прессование: торфяная крошка после извлечения подается в шнековый пресс комбайна; 3) брикетирование: крошка продавливается через профилированные мундштуки, в

результате чего формируется сплошная цилиндрическая лента; 4) формование брикетов: при выходе из мундштука цилиндрическая лента разламывается на цилиндрические брикеты; 5) полевая сушка: брикеты выкладываются на поле для естественной сушки; 6) штабелирование: высушенные брикеты складывают в штабели для последующего хранения или транспортирования.

Сокращение количества операций и номенклатуры машин является преимуществом фрезформовочного способа добычи торфяного сырья в сравнении с фрезерным способом, а также достоинством данной технологии является возможность организации процессов добычи на небольших месторождениях, так как поле сушки и добычи совмещено [48], но в технологии также существуют и недостатки, такие как низкая прочность и высокая ломкость продукта (брикета), усиление окислительно-деструктивных процессов [48], также как и фрезерный способ, данная технология требует вложения больших инвестиций при большом сроке окупаемости и средней себестоимости получаемого продукта [140].

Помимо добычи крошкообразного торфа, существуют также способы по добыче кускового торфа [103], осуществляемые посредством экскавации. Экскавация возможна несколькими способами, если быть точнее, то несколькими машинами, в зависимости от которых происходит название их способов: экскаваторный способ [48, 53, 70, 164], багерный [19, 20, 41, 142] (то же что и экскаваторный, но вместо одноковшового экскаватора применяется многоковшовый) и бульдозерный [19, 20, 51, 63, 142]. Данные способы представляют собой карьерную добычу торфяного сырья с ее экскавацией на заданную или полную мощность. Для них также требуется предварительная подготовка месторождения для обеспечения проходимости техники на гусеничном и колесном ходу, отличающаяся тем, что осушение проводят до влаги залежи 86-88% [70, 104]. При этом, в реализации добычи данными способами участвует только выемочная и транспортная техника, что существенно отражается на инвестиционных затратах на начало разработки месторождения, что является одним из основных преимуществ данного способа. Кроме того, при реализации данной технологии не требуются большие площади торфяных месторождений

[164]. Также проведение экскавации возможно в зимний период [95], что позволяет проводить разработку месторождения без дорогостоящих мероприятий по осушению территорий [29]. Дополнительно ко всему, сокращаются природоохранные риски (в случае зимней разработки месторождения), зависимость от погодных условий; сохраняются свойства и качество продукта в силу того, что процесс окисления кускового торфа ниже; ниже потери продукции, которые при фрезерном способе выше из-за вида продукта (торфяной крошки) [53]. Возможность осушения торфяного сырья не только в полевых, но и в лабораторных условиях, что существенно влияет на качество итогового продукта. А также кусковому торфу свойственна высокая теплота сгорания.

Недостатком данного способа является: высокая влажность исходного материала, что в свою очередь увеличивает время на осушение/обезвоживание сырья; необходимость подготовки месторождения в ряде случаев, в том числе осушительных мероприятий.

Также распространенными способами добычи торфяного сырья являются способы, в процессе которых получают торфяную гидромассу (гидроторф). К ним относится гидромеханизированный способ и способ скважинной гидродобычи. При скважинной гидродобыче осуществляется размыв залежи на глубину, что приводит к формированию глубоких скважин. Одновременно торфяная пульпа засасывается и транспортируется по трубопроводам на переработку. В цехе переработки материал подвергается фракционированию, обезвоживанию (отжиму воды) и брикетированию. Данный метод характеризуется полной независимостью от погодных условий и обеспечивает освоение до 90% запасов месторождения (в отличие от фрезерного способа, где этот показатель составляет лишь около 50%). Однако реализация метода требует значительных капиталовложений, включая строительство высокотехнологичных перерабатывающих комплексов в непосредственной близости от месторождений [19, 20, 54]. При гидромеханизированном способе (рисунок 1.12) [134, 136, 143] реализуется размыв залежи до влажности 95-97% струей воды высокого давления, что обеспечивает

эффективное транспортирование гидромассы по трубам на заранее подготовленные поля для размыва и распределяется по полю слоем 20-40 см.



Рисунок 1.12 – Получение гидроторфа размывом [71]

Сушка гидромассы происходит за счет фильтрации гидромассы в подстилающий грунт и испарения воды под влиянием солнечной радиации. После чего формируются кирпичи и сушатся до влаги 40-45%, а затем убираются в штабели.

Также к способам получения гидроторфа относятся дражный способ [93] и добыча гидроторфа земснарядами (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Добыча торфа земснарядами [31]

Ключевое преимущество метода – возможность добычи торфа из болот напрямую, минуя этап осушения. Основные машины – плавучие земснаряды с торфососами, забирающие жидкий торф прямо из-под воды. Пульпа тут же измельчается и направляется по трубопроводам на сушку. На мелководье вместо земснарядов работают плавучие экскаваторы (ковши на понтонах или самоходных машинах). Они поднимают торф, который затем поступает на шнекеры и далее по трубопроводам – также на поля сушки.

Основным преимуществом гидромеханизации является полная механизация процессов разработки месторождения, возможность разработки залежей с высоким содержанием древесных включений (пностости), всесезонность работ, возможность глубокозалежных месторождений, безопасность разработки (невозможность воспламенения полей добычи при разработке из-за высокой влажности), возможность разработки сильнообводненных торфяных залежей [19, 20]. Данный способ потерял свою актуальность из-за ряда недостатков, в частности, дороговизны (требуется строительство перерабатывающих цехов вблизи месторождения, дорогостоящая техника и высокие затраты на трубопроводы), высоких затрат элеткроэнергии (около 30 кВт в час на 1 т продукции [143]), значительных затрат на размыв водой, низкой механизацией осушительных процессов, а также масштабности полей для сушки гидромассы.

Несмотря на то, что общее воздействие торфодобычи (от добычи до использования) на экосистемы считается менее значительным, чем у других полезных ископаемых, отрасль сталкивается с серьезными экологическими проблемами. Ключевые из них – нарушение болотных биоценозов, отчуждение территорий, нагрузка на водные системы и запыление воздуха. Особую опасность представляет осушение залежей, часто становящееся причиной масштабных лесных пожаров. Именно эти экологические риски, наряду с другими факторами, сдерживают темпы развития отрасли.

Ключевыми направлениями модернизации торфяных технологических комплексов являются [41]: универсальность (повышение многофункциональности машин); инновации (применение новых машин и материалов в производстве

оборудования); эксплуатация (улучшение потребительских свойств машин); мобильность (возможность эффективного применения машин); эргономика (повышение удобства эксплуатации оборудования); гидравлика (активное внедрение/расширение применения гидравлических трансмиссий); надежность (увеличение срока службы и безотказности машин); сервис (организация комплексного сервисного сопровождения техники).

При этом стоит учитывать, что эффективным можно считать лишь тот вариант освоения торфяного месторождения, который обеспечивает максимум экономической выгоды от добычи при строгой минимизации ущерба окружающей среде [48].

Добыча торфа без процедуры осушения является одним из главных преимуществ инновационных способов добычи, с целью сокращения антропогенного влияния на экосистемы. При этом, без процедуры осушения применение колесной и гусеничной техники, как было сказано ранее, трудноосуществимо. С этой целью существуют разработки комплексов добычи торфяного сырья с применением понтонов и мостовых конструкций, в качестве оснований для мостовых конструкций служат винтовые сваи, при применении свай их внедрение производится в минеральный подстилающий слой торфа на глубину не менее 2 м [120]. При этом, расположение свайного основания может быть различным, в зависимости от условий залегания залежи (рисунок 1.14).

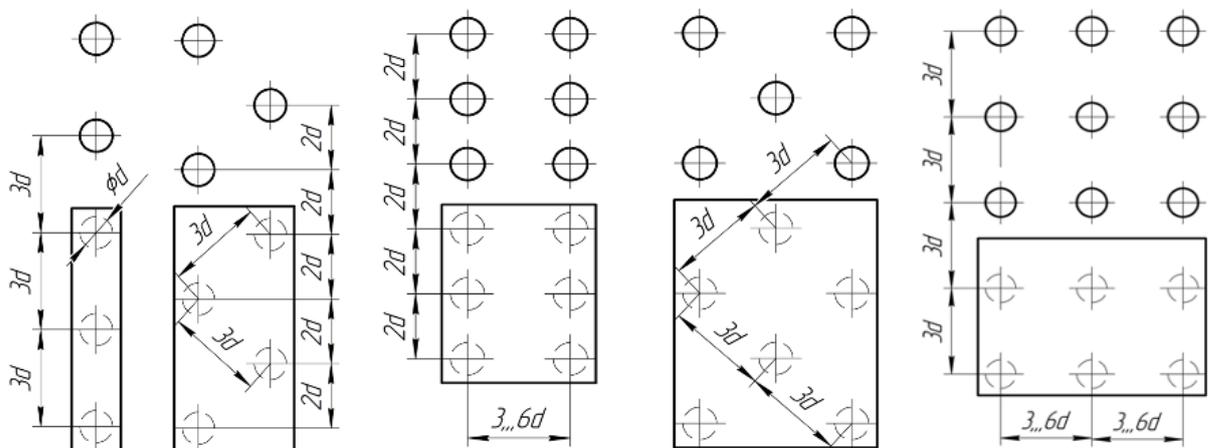


Рисунок 1.14 – Схемы расположения опорных оснований (составлено автором)

Примерами таких комплексов являются разработки, представленные в патентах [92, 93, 94, 95, 97, 99] и исследовании [123]. Разработка [92, 130]

представляет собой пример плавучей платформы (рисунок 1.15) с основанием в виде понтонов. Ее особенностью является способность самостоятельного перемещения без тяговых агрегатов за счет шагания. При этом, шагание основано на пошаговом перемещении свайных конструкций, прикрепленных непосредственно к самим понтонам [124]. Также ключевой особенностью данной разработки является возможность применения базовой техники с поверхности платформы.

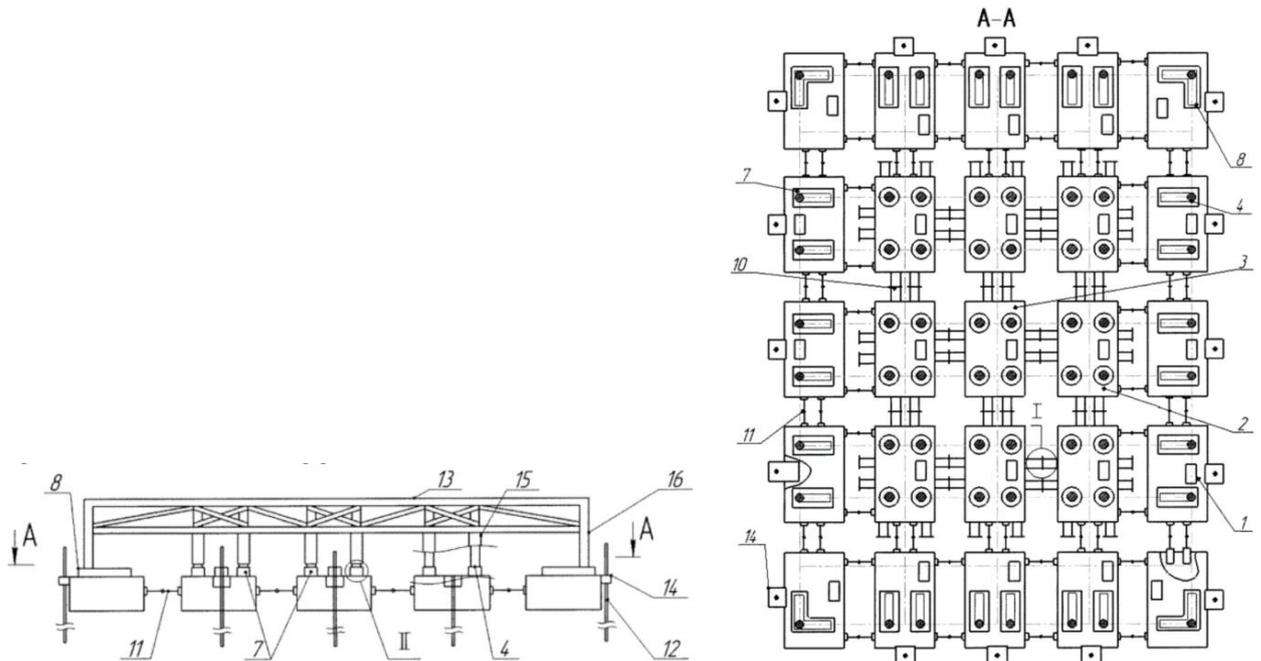


Рисунок 1.15 – Плавучая платформа: 1 - цистерна внешнего периметра; 2 - цистерна внутреннего периметра; 3 - внутренняя цистерна; 4 - гнездо; 7 - линейная направляющая; 8 - угловая направляющая; 10 - замковое соединение в виде полупетель со съемным шкворнем; 11 - замковое соединение в виде полусцепок с силовыми элементами в виде линейных двигателей; 12 - якоря в виде свай; 13 - несущая рама с палубным настилом; 14 - устройство для установки и извлечения свай; 15 - внутренняя стойка; 16 - внешняя стойка; 17 - полусцепка; 18 - корпус полусцепки; 19 - полупетля; 20 - шкворень; 21 - металлическая оболочка; 22 - неметаллическая оболочка [92]

Принцип работы мостового траншейного комплекса (рисунок 1.16) представлен в работе [94], его суть заключается в том, что по настилу, опирающемуся на сваи в параллельных траншеях, перемещается мостовая платформа с ходовыми колесами.

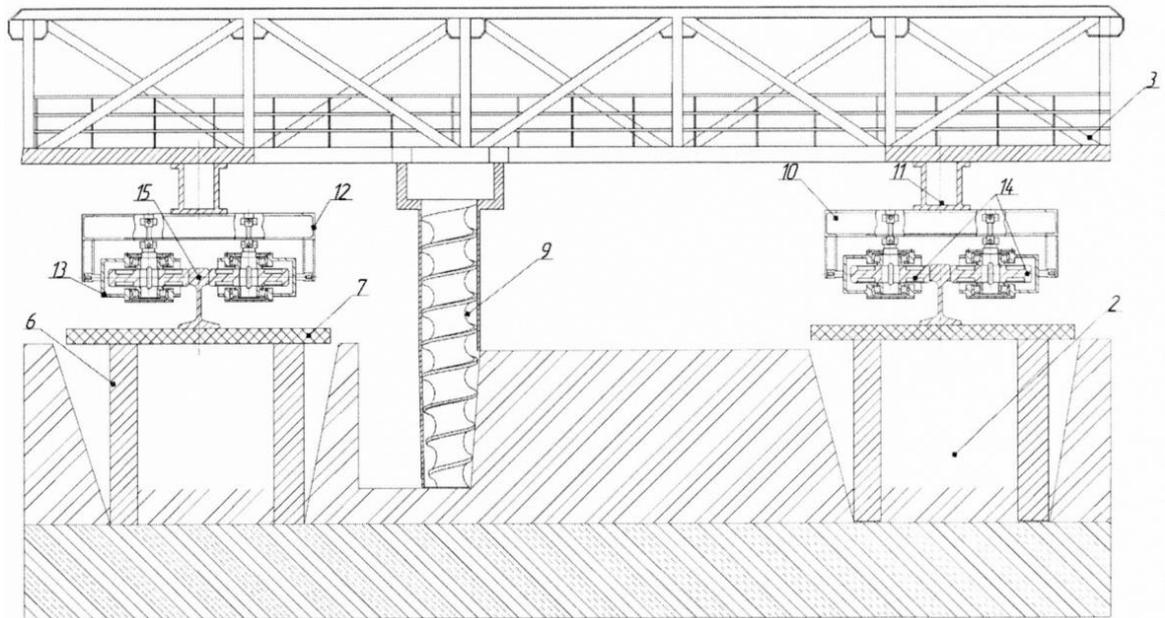


Рисунок 1.16 – Мостовой траншейный комплекс добычи торфяного сырья: 2 – траншея; 3 – мост; 6 – винтовые сваи; 7 – настил; 9 – исполнительный орган; 10 – каретка; 11 – вертикальная ось; 12 – рама каретки; 13 – тяговое устройство; 14 – ведущие колеса; 15 – тяговый рельс [94]

На этой мобильной платформе закреплены манипуляторы, оснащенные сменным навесным оборудованием для трех основных операций: добычи торфа, корчевания пней и удаления объемных древесных включений. При этом, навесное оборудование вариативно в зависимости от задач, поставленных при проектировании разработки торфяного месторождения.

В работе [97] представлен принцип геотехнологии отработки неподготовленной торфяной залежи в рамках сплошной однобортовой продольной системы разработки обратным ходом (рисунок 1.17). В нем предлагается вести разработку торфяного месторождения поблочно и обратным ходом – из центра к краям. Ключевое преимущество метода: непрерывное приближение к месту складирования в процессе работы, что оптимизирует логистику, сокращая объем операций по перемещению сырья и уменьшая связанные с транспортировкой трудозатраты.

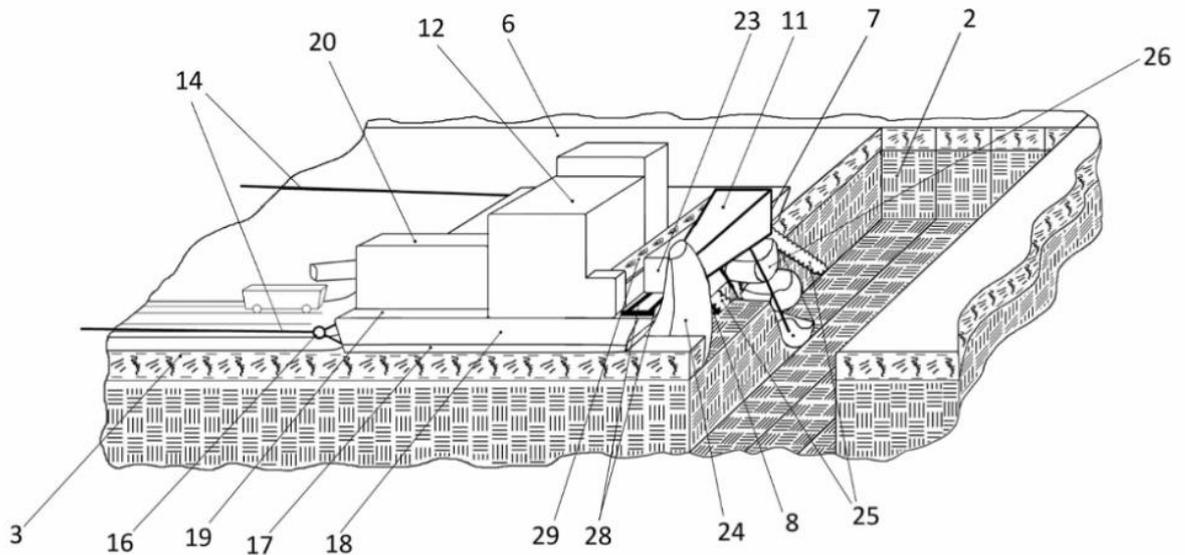


Рисунок 1.17 – Технология добычи торфа обратным ходом: 2 – траншея; 3 – верхний горизонтальный породообразующий слой; 6 – блок; 7 – фронт моста; 8 – щель; 11 – модуль экскавации; 12 – модуль переработки; 14 – гибкие связи; 16 – проушины; 17 – донная часть понтонов; 18 – боковая часть понтонов; 19 – настил; 20 – бункер-питатель; 23 – подвижная платформа; 24 – механизм среза; 25 – щелевой баровый исполнительный орган; 26 – механизм экскавации; 28 – направляющие рельсовых линейных устройств; 29 – конвейер [97]

Разработка [99] представляет собой способ и устройство возведения свайных оснований (рисунок 1.18), предотвращающих отклонение сваи при их внедрении в минеральный грунт в условиях высокой обводненности, что может являться одним из этапов разработки обводненных торфяных месторождений. В работе [123] представлена технология с применением самоходной шагающей тележки (рисунок 1.19), основание которой – мост с опорой на две точки, за счет чего обеспечивается минимальное взаимодействие с залежью.

В силу того, что представленные комплексы являются в своем большинстве автономными и основой их функционирования служит гидрофицированная техника, необходимо ее поддержание безотказного состояния, что возможно с применением ряда способов.

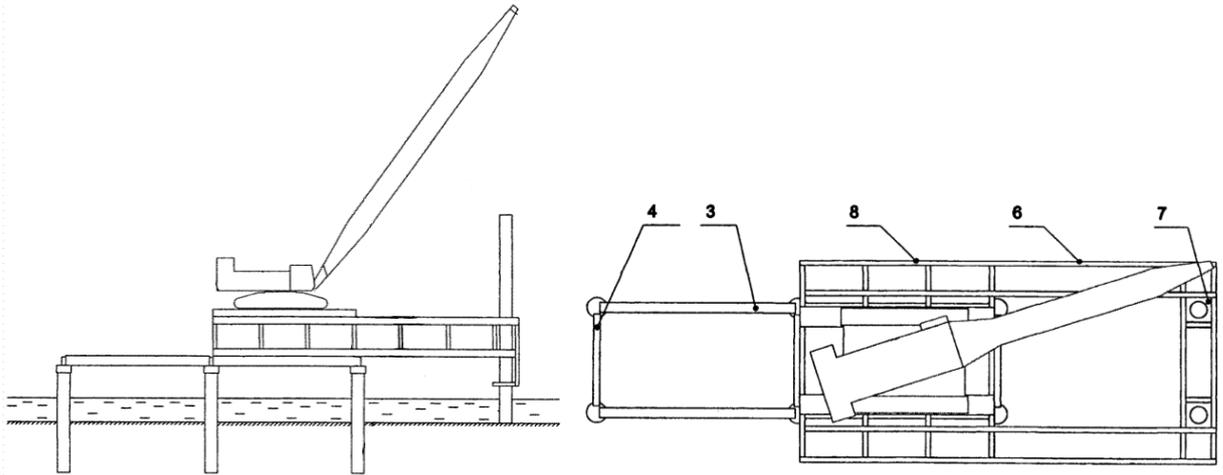


Рисунок 1.18 – Технологический комплекс возведения свайных мостовых оснований на акватории: 1 - подъемный монтажный кран; 2 - технологическая платформа ТП; 3 - продольная опорная балка; 4 - поперечная балка (ригель); 5 - металлический стакан, установленный на оголовке сваи; 6 - двухъярусный кондуктор; 7 - кондукторные гнезда; 8 - двухъярусная кондукторная рама; 9 - погружаемые сваи [99]

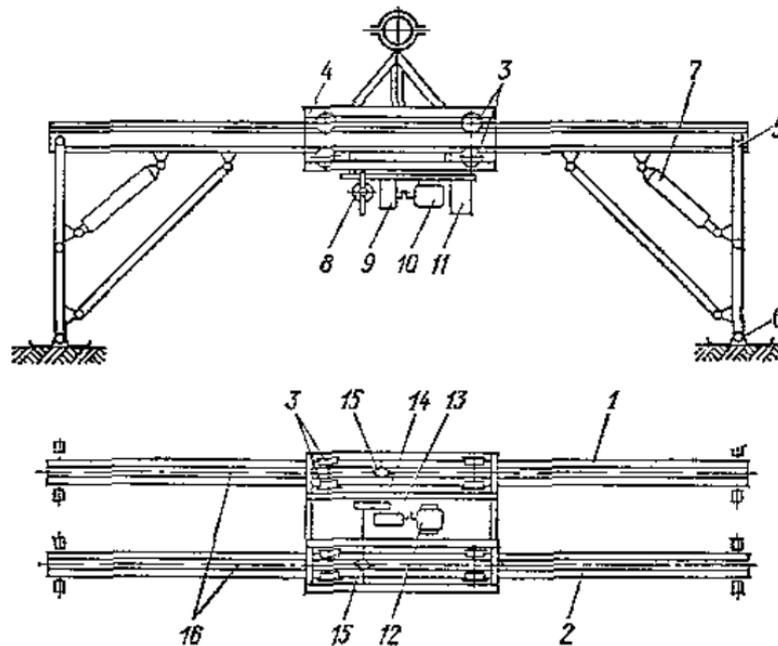


Рисунок 1.19 – Принципиальная схема самоходной шагающей тележки: 1, 2 – несущие балки; 3 – направляющие ролики; 4 – рама тележки; 5 – опорные стойки; 6 – опорные башмаки; 7 – гидроцилиндр; 8 – кран-распределитель; 9 – шестеренчатый насос; 10 – приводной электродвигатель гидросистемы; 11 – масляный бак; 12 – ходовой электродвигатель; 13 – редуктор; 14 – зубчатая передача; 15 – ведущие звездочки; 16 – втулочно-роликовые цепи [123]

1.3 Гидравлическое оборудование гидрофицированных горных машин, особенности эксплуатации, причины отказов, техническое обслуживание

Современные комплексы горного оборудования, характеризующиеся высокой технологической насыщенностью и значительной стоимостью, показывают прямую зависимость эксплуатационных показателей от функциональных характеристик обеспечивающих систем. Как установлено [111, 159], порядка 80% отказов в работе гидроприводов обусловлены неадекватными или недостаточными мерами контроля и поддержания требуемого уровня чистоты рабочей жидкости.

Загрязняющие частицы, содержащиеся в гидравлической жидкости, при попадании в межкомпонентные зазоры скользящих пар могут приводить к механическому заеданию или абразивному изнашиванию сопрягаемых поверхностей, а также вызывать засорение прецизионных гидравлических каналов. Параллельно наблюдается дестабилизация смазочного слоя, ухудшение трибологических характеристик и каталитическое ускорение окислительных процессов в рабочей среде [50].

При оценке технического состояния элементов гидравлической системы характеристики загрязняющих частиц в гидравлической жидкости представляют собой ключевые диагностические параметры. Ряд исследований [2, 50, 172] подтверждает наличие загрязняющих частиц различного рода (твердых, жидких, газообразных) в гидравлической жидкости даже при условии высокого качества гидравлических систем. Содержание загрязняющих элементов в гидравлической системе указывает на возможные деграционные процессы деталей гидропривода или рабочей жидкости [172], что может привести к полному отказу гидросистемы. Так как высокое содержание загрязняющих частиц в жидкости гидравлической системы может привести к изнашиванию деталей системы, деграции его эксплуатационных характеристик, а также сокращению ресурсов агрегата [2, 50].

К характерным неисправностям гидропривода относятся: нарушение герметичности; износ сопряжений в насосах, гидромоторах, распределителях и

цилиндрах; утечки жидкости в трубопроводах и золотниковых элементах; засорение фильтров; загрязнение и обводнение рабочей жидкости [13].

Подконтрольная эксплуатация гидравлических приводов карьерного оборудования показала, что на долю отказов, вызванных загрязненностью рабочей жидкости, приходится 68% [2, 59] от общего количества неисправностей, в том числе:

- 1) абразивное, эрозионное изнашивание и заедание, вызванное твердыми частицами – 59%;
- 2) засорение – 14%;
- 3) адгезионный износ, вызванный обводненностью – 8,2%.

Основными причинами возникновения утечек в гидросистемах являются [50]: износ и разрушение уплотнительных узлов; вибрационная разгерметизация резьбовых соединений; технологические и монтажные дефекты шланговых сборок.

При этом возрастание внутренних утечек свидетельствует о прогрессирующем износе сопрягаемых деталей гидроаппаратуры с последующим загрязнением рабочей среды продуктами изнашивания.

Ухудшение физико-химических характеристик рабочей жидкости вызывает снижение её функциональных возможностей, включая теплоотвод из зон трения, смазывающую способность и очистку зазоров от загрязнений. Это провоцирует интенсификацию износа элементов гидросистемы с последующим увеличением концентрации продуктов износа в жидкости [50].

Стабильный режим изнашивания системы сохраняется при условии соблюдения допустимых пределов износа. Превышение этих значений свидетельствует о начальной стадии отказа, что проявляется в росте внутренних утечек и увеличении концентрации продуктов износа в рабочей жидкости. Исследования показывают, что различные механизмы изнашивания имеют специфические максимальные размеры образующихся частиц $d_{\text{макс}}$. Количественные значения этого параметра для разных видов изнашивания систематизированы в таблице 1.4 [50].

Таблица 1.4 – Максимальные размеры частиц изнашивания, генерируемых в рабочей жидкости, от вида изнашивания [50]

Вид изнашивания	Эластогидродинамическое изнашивание	Контактно-усталостное изнашивание	Абразивное изнашивание	Кавитация	Адгезия, коррозия	Задир
Размер частиц, $d_{\text{макс}}$, мкм	5	15	25	100	150	100

Морфология частиц износа напрямую коррелирует с типом изнашивания. Следовательно, мониторинг износостойкости системы может осуществляться посредством исследования характеристик загрязняющих частиц в рабочей жидкости, включая их концентрацию, размерное распределение, геометрию и химический состав.

Нарушение стабильности ключевых эксплуатационных параметров гидросистемы провоцирует деструкцию конструкционных материалов с последующим возрастанием интенсивности генерации загрязнений. Таким образом, количественные и качественные показатели частиц могут служить эффективными диагностическими маркерами для раннего выявления отклонений в работе гидравлического оборудования.

Данное положение находит подтверждение в исследованиях [50, 129, 162], где анализ эксплуатационных параметров гидравлических систем позволил идентифицировать уровень загрязнения рабочей жидкости как ключевой диагностический показатель их технического состояния. В частности, для насосного оборудования основными диагностическими критериями выступают: динамика давления и температуры рабочей среды, а также показатель её чистоты; для регулирующей и распределительной аппаратуры - температурные показатели окружающей среды и рабочей жидкости в сочетании с параметром её загрязнённости.

Загрязняющие вещества в гидравлических контурах влияют на производительность и срок службы гидравлического оборудования, приводя к одному из трех типов отказов системы [66, 162, 172]:

1) деградация: частицы вызывают абразивный износ, коррозию и проблемы с аэрацией.

2) периодический отказ: загрязнение вызывает временное сопротивление золотника клапана или препятствует перемещению тарельчатого клапана. Хотя твердые частицы, вероятно, будут смыты при повторном перемещении золотника, только полное удаление может гарантировать, что эта неисправность не повторится.

3) полный отказ: происходит внезапно, когда несколько крупных частиц или большое количество мелких частиц вызывают полное заклинивание движущихся частей.

При этом, среднее время устранения отказов агрегатов приводов добывающего оборудования (на примере карьерного экскаватора) составляет для гидромашины – 8,5 часов; для гидроаппаратуры – 3,5 часа; для элементов гидролинии – 2 часа [88]. Загрязнения в гидравлическую жидкость поступают извне, а также образуются внутри системы в процессе эксплуатации оборудования [172] (рисунок 1.20). Более того, загрязнение гидравлической жидкости происходит на каждом этапе жизненного цикла оборудования. Частицы загрязнения оседают на деталях трансмиссии, во время изготовления деталей и ее хранения в цеху, при недостаточно качественной подготовке изделия, во время транспортировки рабочей жидкости в контейнерах, на самом заводе-изготовителе рабочей жидкости. Так, в работе [139] были проведены отборы проб и приведены результаты исследования дисперсного состава загрязнений рабочих жидкостей при их транспортировке, хранении рабочей жидкости. Где содержание загрязнений во время хранения в резервуаре нефтесклада составило 0,0084% от общей массы, а в заправочной таре – 0,121 %.

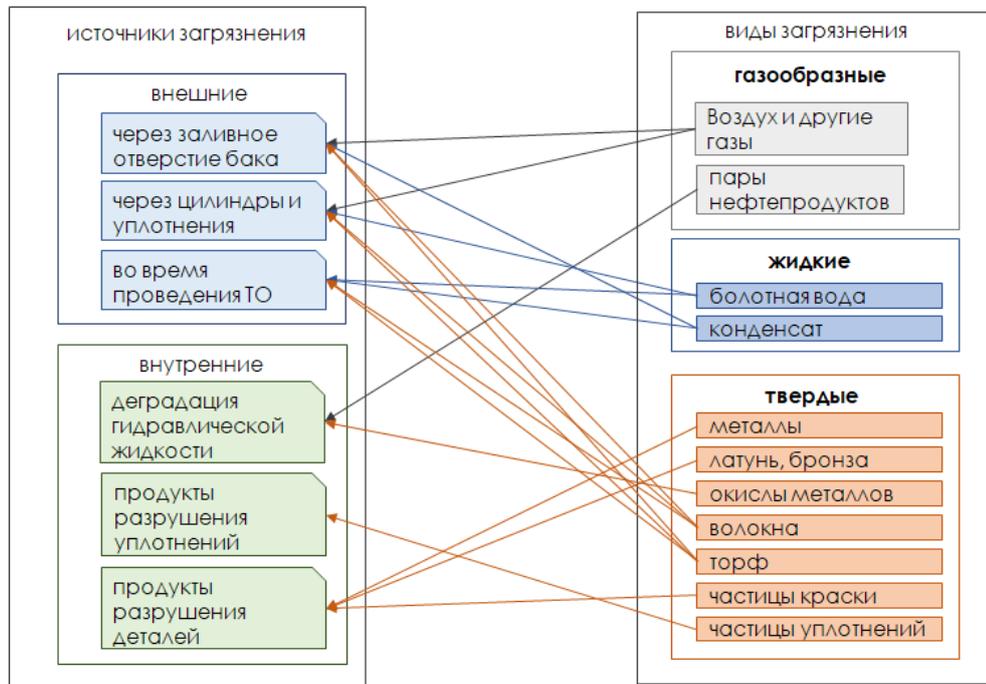


Рисунок 1.20 – Источники загрязнения гидравлической системы
(составлено автором)

В качестве загрязняющих веществ выступают твердые и мягкие частицы, вода и воздух. Систематизация влияния каждого типа загрязнения представлена на рисунках 1.21-1.24 [2].

К примеру, в работе [1] представлен микроскопический анализ засоренности гидравлической жидкости, отработавшего 3560 моточасов (рисунок 1.25). В исследовании [162] также представлены изображения частиц загрязнений гидравлической жидкости (рисунок 1.26).

Для описания допустимых загрязнений гидравлической жидкости в работе [172] установлены следующие показатели:

- 1) вязкость (изменение вязкости на $\pm 10\%$ от первоначальной спецификации считается чрезмерным);
- 2) содержание воды (допустимый уровень при температуре насыщения составляет 0,03 %);
- 3) кислотность (необходимо провести проверку, чтобы определить, не испортились ли присадки или не произошло ли чрезмерное окисление);

4) количество частиц (для описания допустимого загрязнения основного компонента гидравлической системы необходимо задать уровень чистоты, подробная информация приведена в таблице 1.5 [172]).

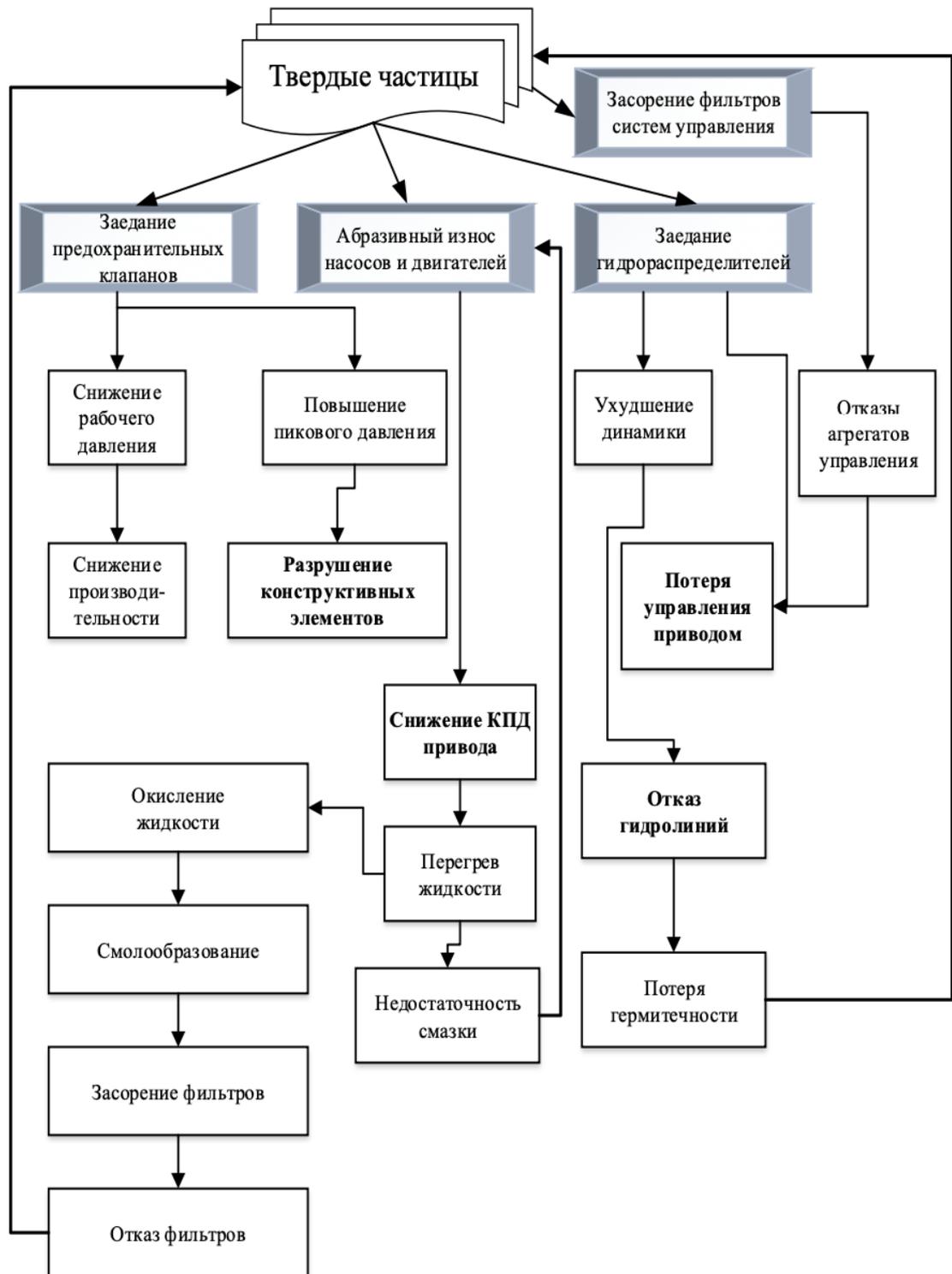


Рисунок 1.21 – Влияние твердых частиц на гидравлическую систему [2]

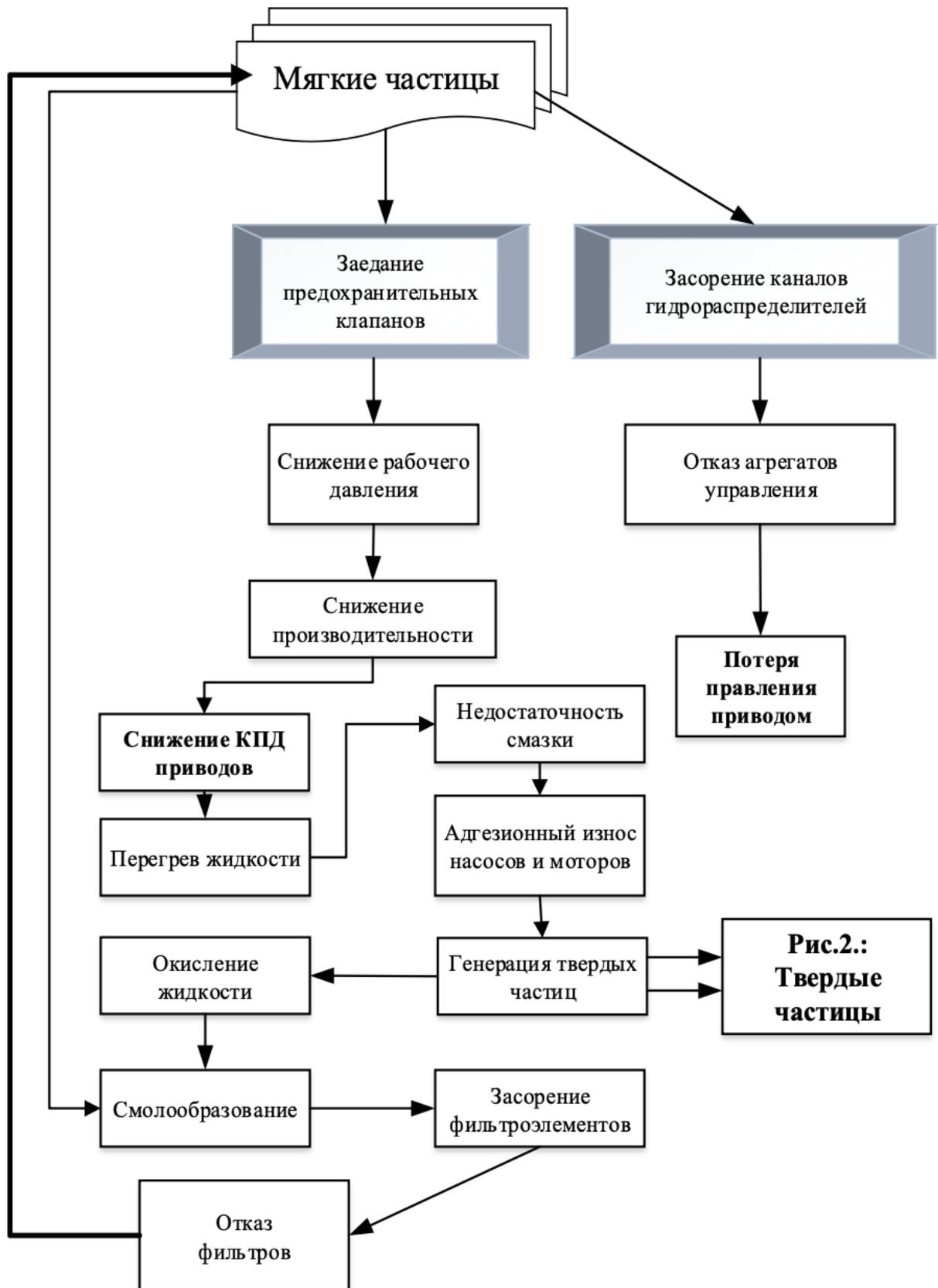


Рисунок 1.22 – Влияние мягких частиц на гидравлическую систему [2]

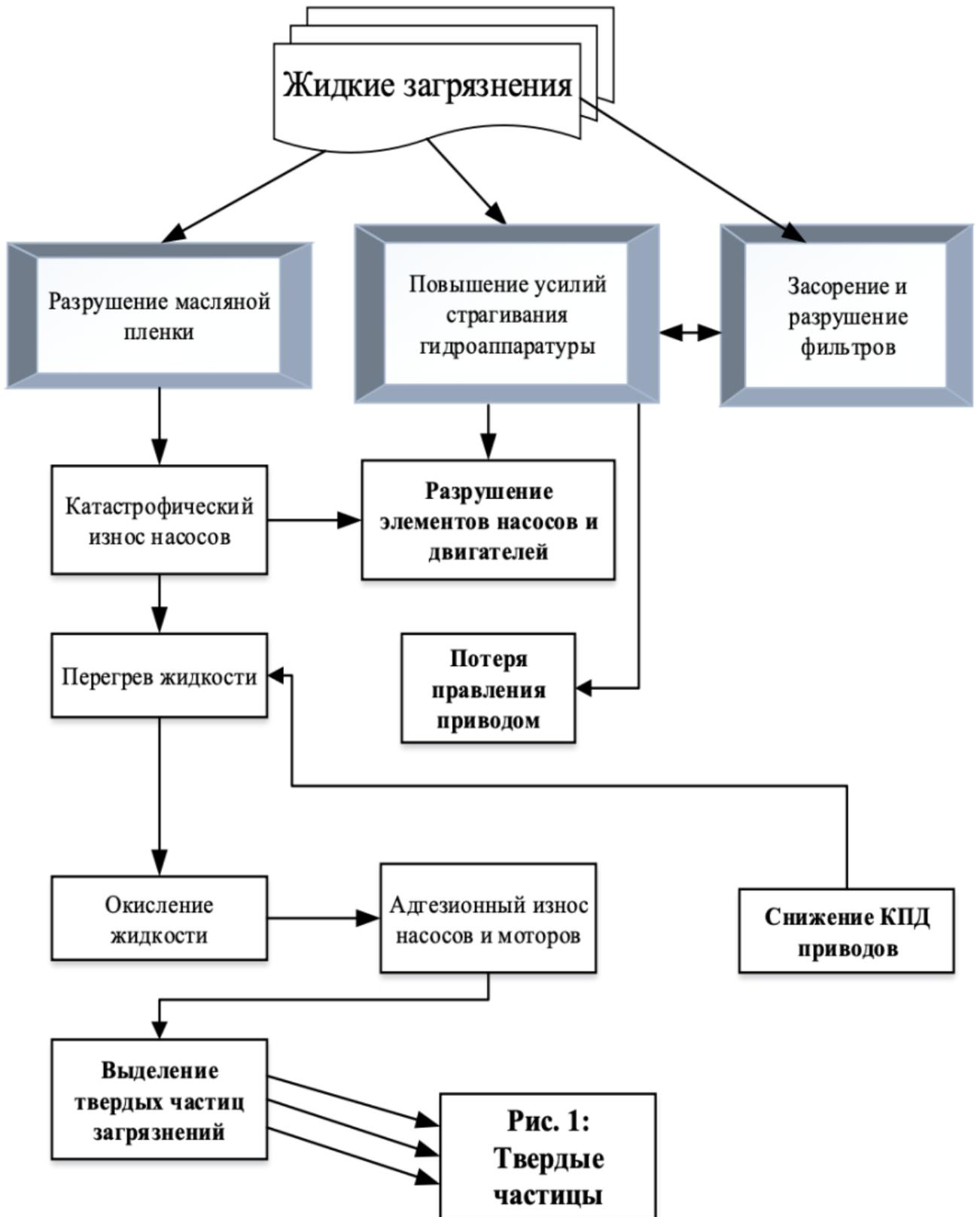


Рисунок 1.23 – Влияние воды на гидравлическую систему [2]

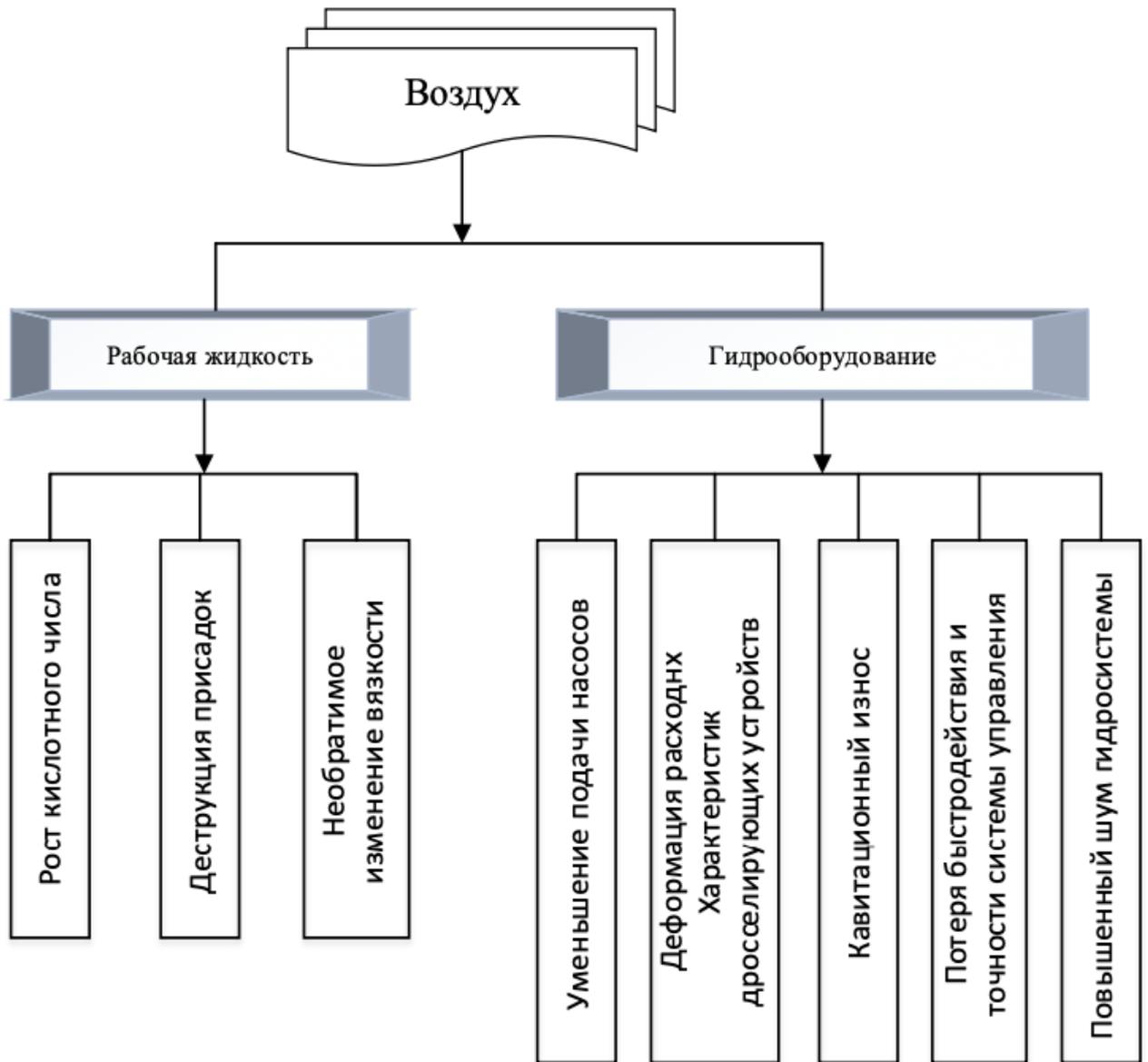


Рисунок 1.24 – Влияние воздуха на гидравлическую систему [2]

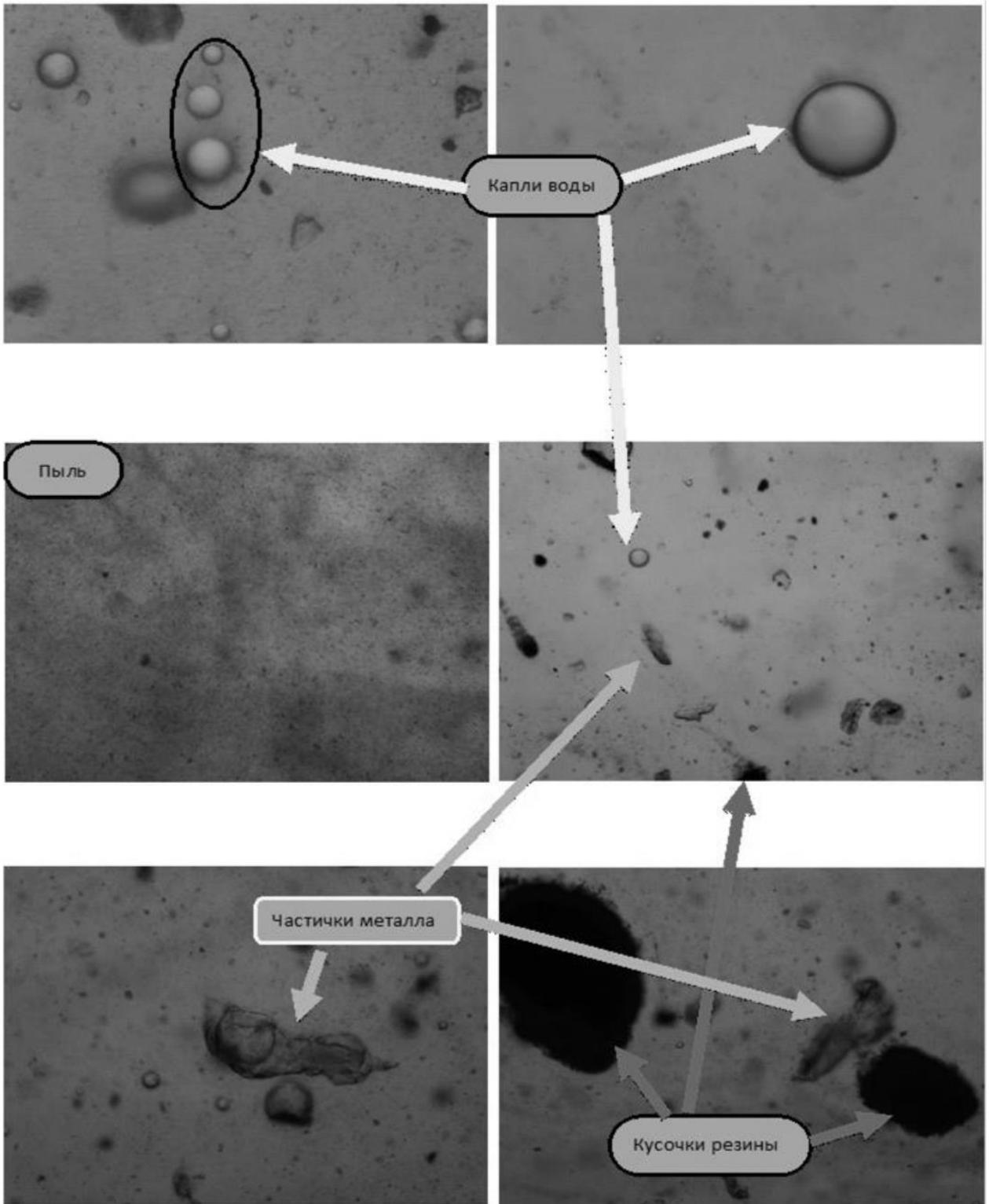


Рисунок 1.25 – Микроскопический анализ гидравлической жидкости [1]

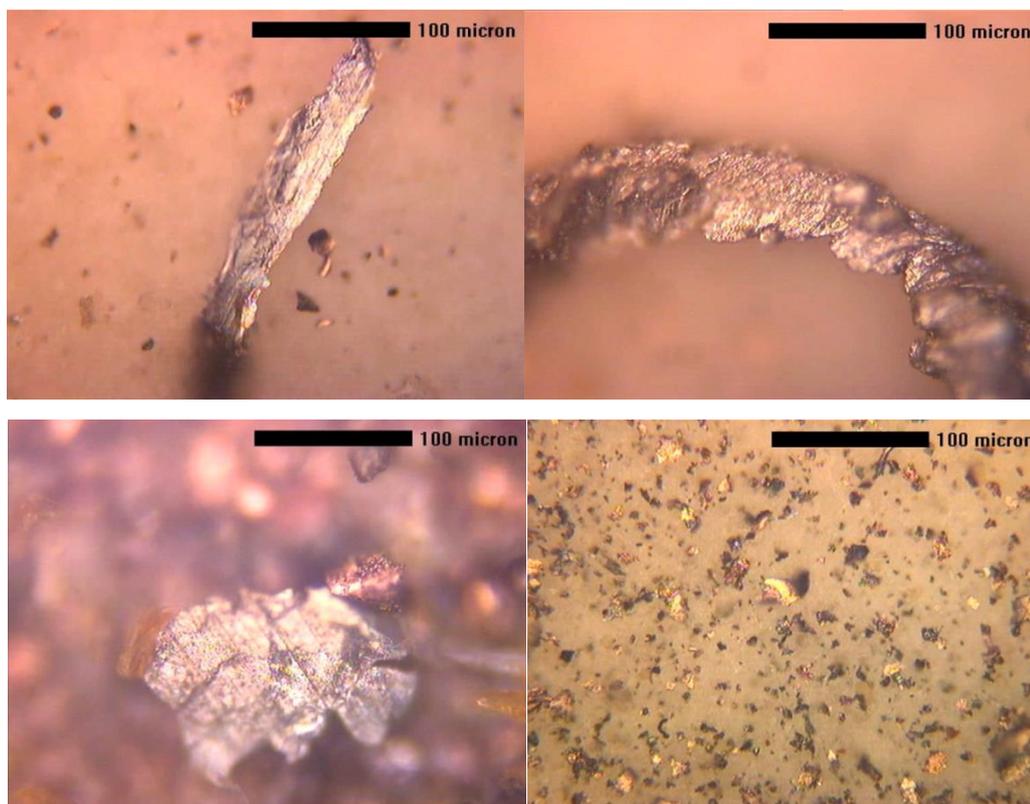


Рисунок 1.26 – Микроскопические изображения гидравлической жидкости, отработавшей 500 моточасов [162]

Таблица 1.5 – Чистота жидкости, необходимая для типичных гидравлических компонентов [172]

Компоненты	ГОСТ 17216-2001	ISO 4406
Сервоуправляемые клапаны	11	16/14/11
Пропорциональные клапаны	12	17/15/12
Лопастные и поршневые насосы/двигатели	13	17/16/13
Клапаны регулирования направления и давления	13	17/16/13
Шестеренные насосы/двигатели	14	19/17/14
Клапаны регулирования расхода, цилиндры	15	20/18/15
Новые неиспользуемые жидкости	15	20/18/15

Характеристика загрязнений в рабочих жидкостях и воздухе осуществляется посредством анализа гранулометрического состава, который устанавливается путем количественного определения частиц различных фракций в стандартном объеме пробы. Определяющими стандартами для чистоты рабочей жидкости являются ГОСТ 17216-2002 и ISO 4406.

Согласно ГОСТ Р 17216-2001, наряду с гранулометрическим составом, ключевым параметром оценки загрязнения жидкости выступает относительная масса механических примесей (гравиметрический показатель). Данный критерий

служит интегральной характеристикой степени загрязнения и применяется для сравнительного экспресс-анализа и испытаниях однотипных технических систем.

Данные о классе чистоты рабочей жидкости представляют возможность определения вспомогательных показателей оборудования, к которым относится коэффициент технической готовности (рисунок 1.27), ресурс и время простоя машины (рисунок 1.28) [88].

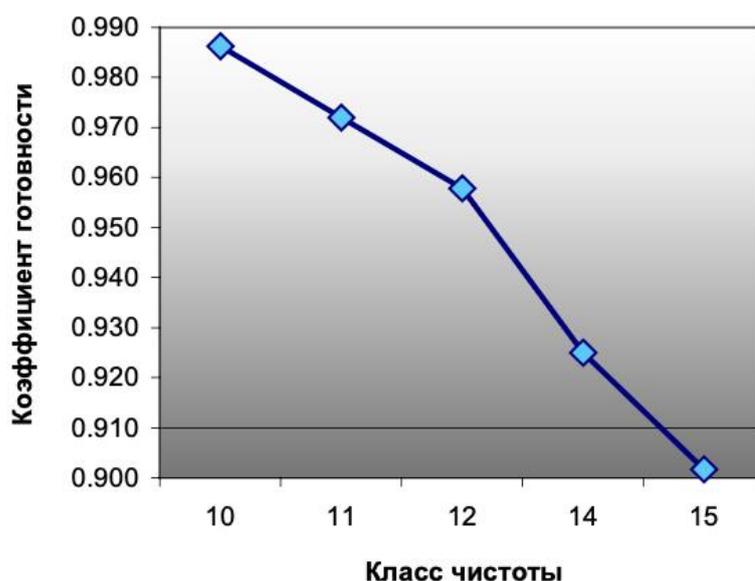


Рисунок 1.27 – Изменение коэффициента технической готовности гидравлического экскаватора от класса чистоты рабочей жидкости по ГОСТ 17216-2001 [88]



Рисунок 1.28 – Изменение показателей надежности от чистоты рабочей жидкости [88]

Отсутствие на современном этапе гидравлических систем, гарантирующих абсолютную чистоту рабочей жидкости, в сочетании с требованием обеспечения высокой надежности и производительности гидрофицированной техники, обуславливает реализацию проведения систематического мониторинга степени загрязнения гидравлической жидкости. Более того, мониторинг свойств частиц изнашивания может сыграть важную роль в определении местоположения, степени тяжести, тенденций развития и причин дефектов изнашивания [149].

1.4 Способы контроля состояния гидравлической жидкости как основа безаварийной работы гидравлического оборудования

Как было сказано ранее, надежная работа гидравлических систем в процессе эксплуатации во многом зависит от состояния гидравлической жидкости. Стандартная практика предполагает замену гидравлической жидкости по регламентированным интервалам, либо предприятие, либо поставщик оборудования проводит лабораторные исследования физико-химических свойств гидравлической жидкости для оценки его пригодности к дальнейшему использованию. Но поскольку условия эксплуатации гидросистем крайне разнообразны, реальный срок службы жидкости часто не соответствует плановым показателям, снижая эффективность такого подхода. Поэтому необходимым требованием является обеспечение контроля и диагностики ее состояния.

Реализация контроля загрязнения гидравлических жидкостей традиционно базируется на установке фильтров в ключевых узлах системы для улавливания поступающих загрязнений [153]. Однако для оборудования критического назначения эффективная программа мониторинга загрязненности жидкости требует дополнительного регламентированного анализа чистоты гидравлической жидкости.

Периодичность данного контроля, определяемая функциональностью системы, условиями эксплуатации и режимом нагружения, варьируется в пределах стандартных интервалов: каждые шесть месяцев либо после наработки 500–1000 часов [153]. Ряд исследований [72, 153, 154] также подтверждает целесообразность контроля параметров гидравлической жидкости после обслуживаемых операций,

в ходе которых гидравлическая система подвергается потенциальному риску загрязнений из внешней среды.

В работах [153, 154] предложено разделение методов контроля гидравлических жидкостей в широком смысле на три подхода, а именно посредством анализа жидкости путем отбора проб, то есть автономным методом (*off-line*), путем анализа непосредственно в месте прохождения основного потока, который называют поточным/встроенным методом (*in-line*), а также с помощью оперативного/портативного метода (*on-line*), используемого обходной путь (байпас), не затрагивая основной поток, при этом оценка жидкости реализуется в репрезентативном месте (рисунок 1.29).

К автономным методам относятся химический анализа рабочих жидкостей [1, 72, 82], способы спектрального анализа [3, 52, 81, 137], фотометрические способы [14, 143], способы, основанные на применении пьезосенсоров [50, 125], и другие, реализация которых базируется на отборе проб, направляемых в дальнейшем на лабораторный анализ.

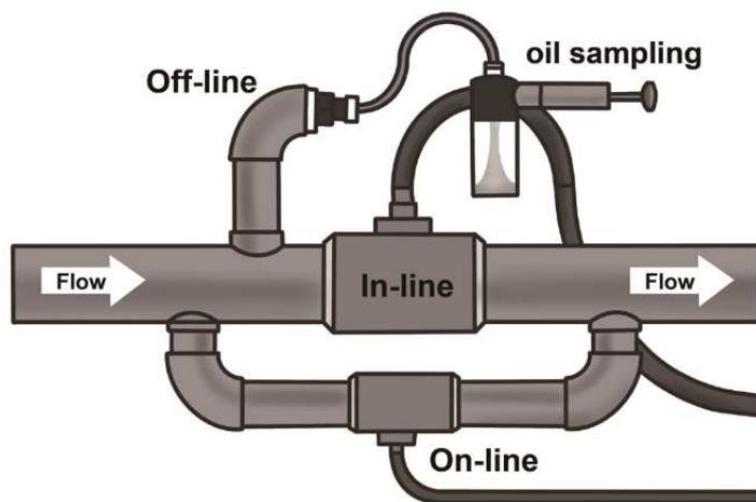


Рисунок 1.29 – Подходы к оценке гидравлической жидкости [153, 154]

Основным недостатком анализа гидравлических жидкостей с помощью автономного метода является то, что анализ в режиме реального времени невозможен. А также данным способам характерны высокая трудоемкость и длительное время ожидания результатов анализа в сравнении с поточными и оперативными способами. Более того, при отборе проб возникает трудность

достижения стабильных и воспроизводимых результатов в силу высокой чувствительности анализа к загрязнениям, на что может повлиять уровень чистоты емкости для отбора проб, а также уровень чистоты, обеспечиваемый в процессе отбора пробы в точке забора образца, гарантирование чистоты которых сложно реализуемо. Еще одним недостатком является тот факт, что для корректной интерпретации результатов анализа в отчетах необходимо понимание особенностей гидравлической системы и процессов, происходящих в ней, но зачастую, специалисты, выполняющие диагностику, редко обладают достаточной компетенцией для их оценки, поскольку анализ отчетов не является частью их регулярных задач по эксплуатации оборудования.

Портативные или встроенные системы контроля основаны на применении датчиков/устройств, устанавливаемых непосредственно в потоке жидкости или на поверхности оборудования. К ним относят способы, основанные на работе оптических приборов [146, 158, 159], определении загрязнения по параметру диэлектрической проницаемости [5; 167]; применении пьезоэлементов [118], анализе микрофотографий [72]; применении счетчиков частиц (оптических или работающих по принципу блокировки пор) [36]; применении датчиков встроенного контроля [62], коаксиальных датчиков [174] и микрожидкостных устройств [148]. Также широко применяются индуктивные датчики онлайн-мониторинга, основанные на принципе магнитной индукции, и ультразвуковые датчики [174]. Основным преимуществом встроенных (*in-line*) систем контроля является возможность обеспечения непрерывного контроля параметров жидкости непосредственно в рабочем контуре без отбора проб, исключая ошибки, связанные с изменением состояния пробы после забора, а также, исключая человеческий фактор. Но им присущ также ряд недостатков, к которым относится относительно низкая точность измерений (в сравнении с лабораторными исследованиями), требования к месту установки (необходима низкая скорость течения ламинарного потока), невозможность проведения калибровки прибора, а также высокие капитальные затраты для внедрения датчиков во внутреннюю систему.

Применение оперативных/портативных методов подразумевает внедрение в систему дополнительного гидравлического контура, через который проходит поток рабочей жидкости и посредством установленных на линии датчиков осуществляется контроль за состоянием гидравлической жидкости в режиме реального времени, к таковым относят способы применения фотоэлектрических датчиков [49]; регистрации инфракрасного излучения [21]; акустические способы [157, 161, 162] и другие. Такие способы оперативного анализа эксплуатационных характеристик рабочих жидкостей обеспечивают диагностику состояния гидравлического оборудования и его рабочей среды с удовлетворительной точностью при существенной экономии временных и финансовых ресурсов. [36]. Более того, это позволяет обеспечить более эффективную интерпретацию диагностических данных, получаемых при анализе параметров загрязняющих частиц, предотвращая тем самым выход из строя гидравлической системы вследствие чрезмерного загрязнения рабочей среды [50].

Сравнительный анализ *on-line* и автономных способов мониторинга выявляет существенные преимущества оперативных систем, а именно, оперативные/портативные способы исключают ошибки, связанные с антропогенным фактором при отборе проб; реализуют возможность раннего обнаружения частиц изнашивания для предотвращения критических отказов; обеспечивают снижение эксплуатационных расходов; а также при их применении отсутствует необходимость в высококвалифицированном персонале для интерпретации данных. Указанные преимущества делают системы непрерывного мониторинга с датчиками состояния гидравлических жидкостей технологически и экономически более предпочтительными.

В сравнении с встроенными (*in-line*) способами контроля требования к месту установки ограничиваются определением рационального расположения относительно точки контроля рабочей жидкости, не ориентируясь на режим потока жидкости, а также преимуществом является доступность для обеспечения калибровки устройств, так как они находятся вне системы. Мониторинг эксплуатационных характеристик рабочей жидкости имеет критическое значение

как для сохранения ресурса гидрооборудования, так и для оптимизации срока службы самой жидкости, поскольку современные методы диагностики позволяют минимизировать необоснованную замену гидравлических сред.

Одним из способов оперативных методов контроля состояния объектов является – акустическая эмиссия. «Акустический неразрушающий контроль – это неразрушающий контроль, основанный на применении упругих колебаний, возбуждаемых или возникающих в объекте контроля» (по ГОСТ 23829-85). Несмотря на классическое применение акустико-эмиссионной диагностики материалов посредством неразрушающего контроля [33, 63], существует также разновидность способов контроля с применением акустической эмиссии, в частности, способы, основанные на регистрации акустической эмиссии трения [138], позволяющие определять остаточный ресурс [46, 47], осуществлять прогнозирование времени замены объектов [15, 132, 150] и т.д.

В целом, акустическая эмиссия трения – это эмиссия, вызванная трением поверхностей твердых тел (по ГОСТ 27655-88). В силу того, что трение и изнашивание деталей определяются сложным комплексом физических и химических процессов, происходящих одновременно в зоне контакта поверхностей, данный способ получил широкое распространение в методах контроля трибосопряжений [15, 58, 115, 116]. Одним из показателей акустической эмиссии трения является интегральный показатель трения D [115, 116]. Его физический смысл состоит в том, что показатель D пропорционален силе трения [12] и является безразмерным [12, 115, 116].

Механический шум в объекте испытаний представляющий собой акустические процессы является причиной ошибочных измерений, в этой связи, акустическая эмиссия расположена в зоне частот 20-300 кГц, так как более высокие показатели обладают низкой интенсивностью из-за поглощения материалом, а на более низких механический шум мешает регистрации акустико-эмиссионного сигнала [58].

1.5 Выводы по Главе 1

1. На долю Российской Федерации приходится крупнейшая в мире ресурсная база торфа, оцениваемая в 19 млрд тонн и составляющая порядка 60 % глобальных запасов, с преобладающей локализацией в регионах Западной Сибири и Северо-Запада, где территории сильно обводнены. Традиционная схема освоения месторождений сопряжена с необходимостью многолетнего (до 6 лет) осушения территорий, что приводит к ряду негативных последствий на окружающую среду, в некоторых случаях осушение вовсе невозможно. Перечисленные факторы обуславливают актуальность разработки альтернативных технологий добычи, исключающих стадию предварительного водопонижения и минимизирующих антропогенное воздействие на болотные системы.

2. Анализ существующих технологий освоения торфяных месторождений свидетельствует об их технологической неприменимости на неосушенных залежах вследствие с низкой несущей способности поверхностного слоя и ограниченной проходимости традиционной гусеничной/колесной техники. Мостовые технологические комплексы являются перспективным решением, базирующимся на передаче нагрузок через свайные опоры, что обеспечивает комплексное освоение территорий торфяных месторождений. Однако их функциональность требует дополнительных исследований по обеспечению безотказности в условиях удаленной локализации от ремонтной базы в процессе освоения залежи.

3. Гидравлическая система, обеспечивающая функционирование мостовых платформ, демонстрирует выраженную чувствительность к загрязнению рабочей жидкости: данные свидетельствуют, что до 80% отказов инициируются абразивным разрушением сопрягаемых поверхностей твердыми частицами, приводящие к снижению коэффициента технической готовности на 40–60%. Параметры чистоты жидкости, регламентируемые стандартами, находятся в корреляционной зависимости с коэффициентом готовности гидравлических систем, что подтверждает значимость проведения мониторинга их состояния.

4. Оперативные методы диагностики (*on-line*), в частности регистрация сигналов акустической эмиссии, служат возможностью предикативного выявления

деградации компонентов гидросистем в реальном времени, обеспечивая повышение ее безотказности.

На основании сформулированных выводов были поставлены следующие задачи:

1. Провести теоретические исследования по обоснованию и выбору структуры платформы, сочетающей технологические возможности с техническими характеристиками оборудования, обеспечивающими ее функциональность.

2. Провести теоретические и экспериментальные исследования по оценке класса чистоты гидравлической жидкости гидравлической системы и сигнала акустической эмиссии при изменении класса чистоты.

3. Предложить техническое решение мостовой платформы, дать рекомендации по проведению мониторинга состояния гидравлической жидкости гидравлической системы по величине и характеру изменения приведенного сигнала акустической эмиссии.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ МОСТОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ НЕОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2.1 Классификация комплексов добычи торфяного сырья

По материалам, представленным в 1 главе о технологиях и технике, реализующих разработку торфяных месторождений, была предложена классификация комплексов добычи торфяного сырья (рисунок 2.1) [74]. Для того, чтобы избежать создания классификационных единиц, которые в силу своей дробности потеряли бы теоретическое и практическое значение, классификация подразделяется только на 3 признака, а именно: по условиям реализации технологии; по типу движения комплексов и по виду добываемого сырья.

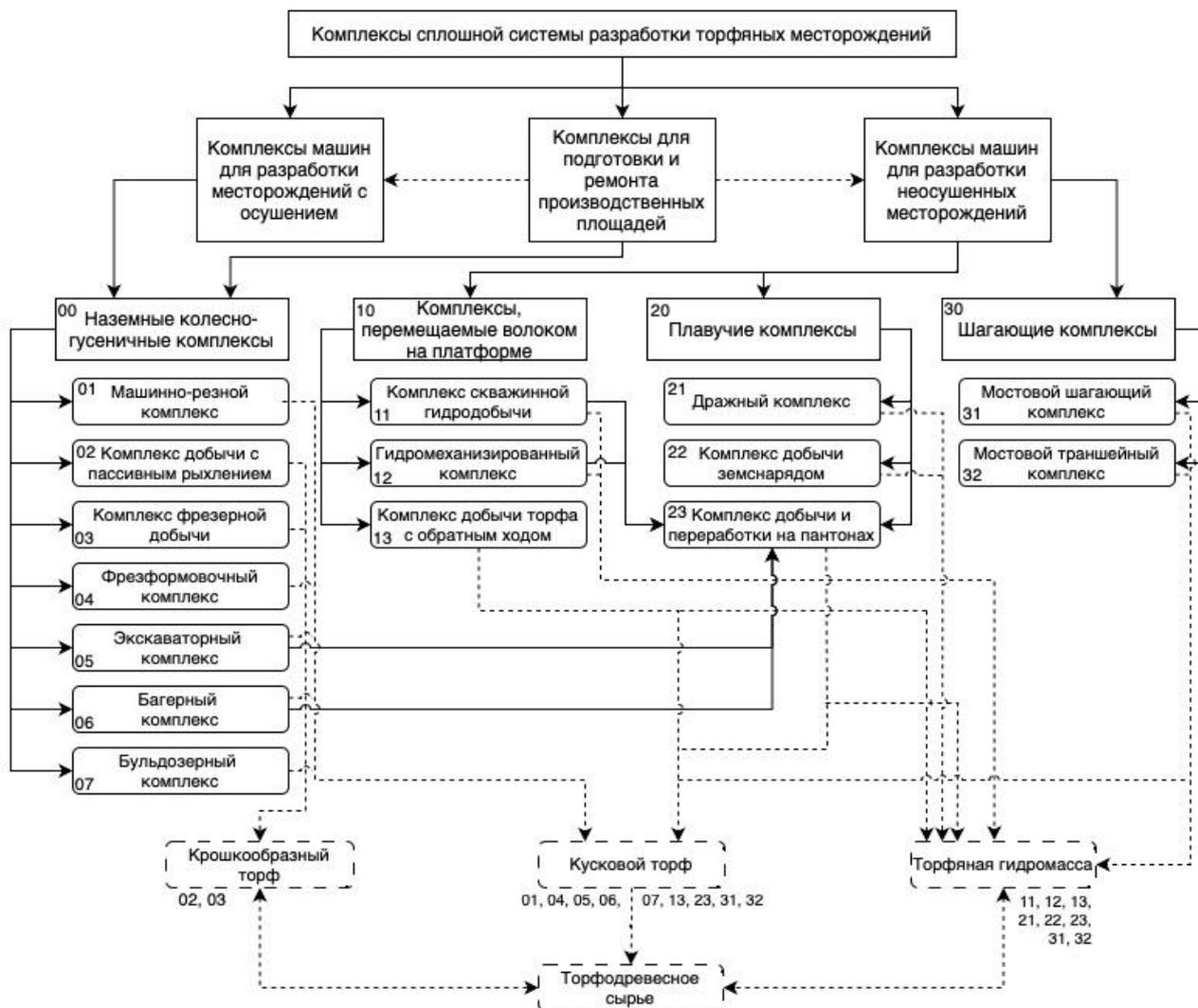


Рисунок 2.1 – Классификация комплексов добычи торфяного сырья
(составлено автором)

Классификация технологических комплексов осуществлялась посредством присвоения двухразрядного кода. Иерархия кодирования следующая: первый разряд идентифицирует тип подвижности комплекса (0 – наземные колесно-гусеничные комплексы; 1 – комплексы, транспортируемые волоком на платформе; 2 – плавучие комплексы; 3 – шагающие комплексы). Второй разряд определяет функциональное назначение комплекса (вид добычных работ).

Распределение комплексов по классам назначения: комплексы для разработки месторождений с предварительным осушением (00) исключительно наземные колесно-гусеничные комплексы; комплексы для разработки обводненных месторождений включают в себя комплексы, перемещаемые волоком на платформе (10), плавучие комплексы (20), и шагающие комплексы (30); комплексы для подготовки и рекультивации производственных площадей также включают исключительно наземные колесно-гусеничные комплексы. Применение колесно-гусеничных комплексов для подготовительных и рекультивационных работ обусловлено их непригодностью для эксплуатации на обводненных участках, в то время как данные операции являются технологически сопутствующими основному процессу разработки представленными типами комплексов.

Также при разработке торфяного месторождения возможно получение нескольких видов торфяного продукта, а именно: крошкообразный торф, кусковой торф, торфяная гидромасса и торфодревесное сырье. Торфодревесное сырье – попутный продукт, получаемый из непосредственно торфяного сырья и древесных включений, находящихся в залежи. Вид получаемого продукта зависит от типа машин, входящих в комплекс. Относительно видов добываемого сырья комплексы разделяются на следующие виды: для получения кускового торфа применяют машинно-резной комплекс (01), фрезформовочный способ (04), экскаваторный комплекс (05), багерный комплекс (06), бульдозерный комплекс (07), комплекс добычи обратным ходом (13), комплекс добычи и переработки на понтонах (23), мостовой шагающий (31) и мостовой траншейный (32) комплексы); для крошкообразного – комплекс добычи с пассивным рыхлением (02), комплекс фрезерной добычи (03); для добычи торфяной гидромассы – комплекс скважинной

гидродобычи (11), гидромеханизированный комплекс (12), комплекс добычи обратным ходом (13), дражный комплекс (21), комплекс добычи земснарядом (22), комплекс добычи и переработки на понтонах (23), а также мостовой шагающий (31) и мостовой траншейный комплексы (32).

Данная классификация устанавливает прямую корреляцию между типом технологического комплекса и видом получаемого продукта, что является критерием выбора оборудования для целевой продукции. Она также систематизирует как устоявшиеся технологические решения в области добычи торфа, так и перспективные комплексы, находящиеся на стадии разработки. Предложенная классификация служит концептуальной основой для определения приоритетных направлений развития новых добычных технологий, учитывая: геотехнологические параметры месторождений (условия реализации), принцип базирования/тип движения комплексов, целевой вид продукта.

Однако система носит динамический характер, требуя постоянной актуализации по мере появления новых технологических решений, уточнения параметров существующих и развития способов освоения торфяных залежей.

В контексте настоящего исследования, фокусирующегося на технологиях освоения неосушенных обводненных месторождений, наибольший научно-практический интерес представляют комплексы мостового типа (31), (32). Их применение в данных условиях выделено как ключевое направление, требующее углубленных теоретических исследований и экспериментальной базы для обоснования принципов функционирования их применения.

2.2 Обоснование рациональной структуры мостовой платформы

При применении мостовых комплексов типа (31), (32) необходимым является обоснование рациональной структуры для функционирования мостовой платформы с возможностью применения их при освоении торфяных залежей. Первоначальным этапом для проектирования объекта является определение его рациональной структуры, сочетающей в себе технологические возможности и технические характеристики оборудования, объединенного в единую систему. Исходя из физико-механических и структурных свойств неосушенной торфяной

залежи естественного залегания, представленных в 1 главе, для обеспечения технологических возможностей функционирования в таких условиях комплексы мостового типа должны включать специальную опорную часть, мост, силовые элементы перемещения и грузоподъемное оборудование, расположенное на нем.

Для решения поставленной задачи необходимо задаться начальными условиями при освоении месторождения, для этого принималась годовая программа добычи торфяного сырья в $5 \cdot 10^4$ т у.т. 40% влаги. При пересчете данной программы добычи на объем торфа-сырца V_T влагой 92% для получения таких объемов готовой продукции должен составлять $3,8 \cdot 10^5$ м³ ($3,76 \cdot 10^5$ т). Расчет проводился по выражению (2.1):

$$V_T = \frac{M_{\text{усл}}(100 - w_{\text{усл}})}{\gamma(100 - w_e)}, \quad (2.1)$$

где $M_{\text{усл}}$ – масса готовой продукции, кг;

$w_{\text{усл}}$ – условная влажность, принятая 40%, %;

γ – плотность торфяного сырья равная 990 кг/м³, кг/м³;

w_e – естественная влага неосушенной залежи, принятая за 92%, %.

В случае, если за границы промышленной глубины принята глубина равная 2 м, то для получения 50000 т у.т. необходимо разработать участок площадью 19 га.

Зная объем торфяной залежи и ее площадь, определяется производительность по торфяной массе $Q_{\text{ч}}$. Полагая, что комплекс работает в трехсменном графике, и задаваясь фондом рабочего времени $T_{\text{год}}$ в 8760 ч необходимая производительность составит (выражение 2.2):

$$Q_{\text{ч}} = \frac{V_T}{T_{\text{год}}} = \frac{380000}{8760} = 44 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.2)$$

где $T_{\text{год}}$ – фонд рабочего времени, ч.

Учитывая потребную производительность, целесообразно задействовать гидроманипулятор с параметрами эквивалентными экскаватору UMG E225C в качестве основной грузоподъемной машины с эксплуатационной производительностью единицы оборудования равной 94 м³/ч (при объеме ковша 1

м³). При условии, что сама платформа представляет собой фермы или балки с перекрытием и, исходя из размерного ряда пролетов мостовых и козловых кранов, длина платформы принята равной 12 м, а ширина – 6 м.

На основании проведенного анализа была сформирована структура мостовой платформы, предусматривающая рациональность состава технологического оборудования. В рамках данного исследования выполнен сравнительный анализ четырех конфигурационных вариантов по количеству грузоподъемных манипуляторов (1, 2, 3, 4 единицы) при габаритных ограничениях платформы 12×6 м. Оценка вариантов осуществлялась по комплексу критериев, включающему: площадь обработки с учетом зон перекрытия рабочих областей (рисунок 2.2); объемную производительность по сырью (рисунок 2.3); цикловую производительность (рисунок 2.4); массогабаритные характеристики оборудования (рисунок 2.5).

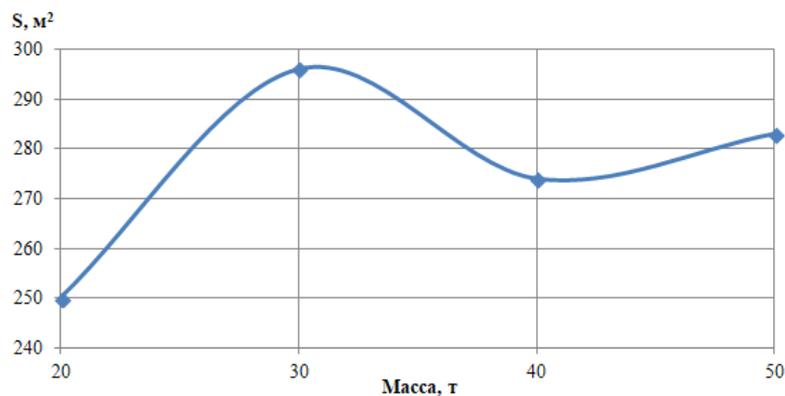


Рисунок 2.2 – Площадь отработки, не включая зону перекрытия, при изменении массы (количества) грузоподъемного оборудования (составлено автором)

Расчет площади обработки учитывал пространственное позиционирование манипуляторов и возможность функционального резервирования при отказе, а также режимы разделения технологических операций. Масса оборудования определяется количеством единиц грузоподъемного оборудования и массой вспомогательных устройств для обеспечения функционирования платформы (10 т), к которым относится дизель-генераторная установка и насосные станции.

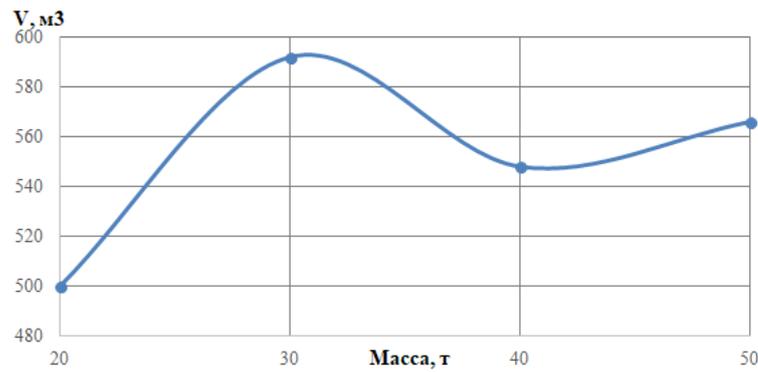


Рисунок 2.3 – Объем извлекаемого сырья при изменении массы (количества) грузоподъемного оборудования (составлено автором)

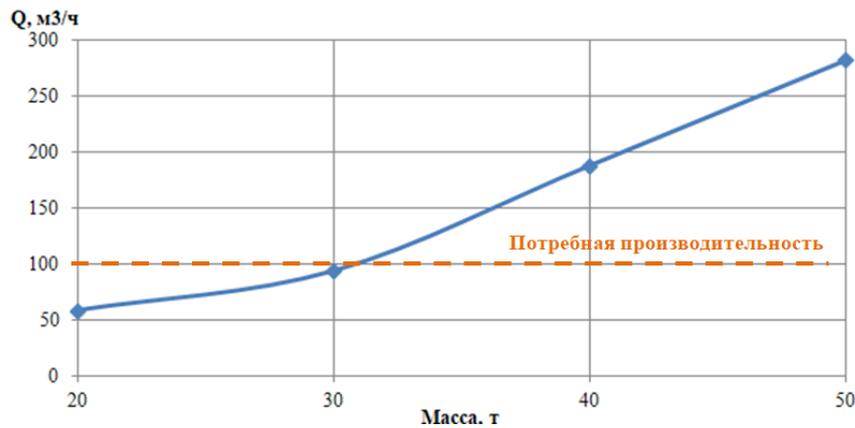


Рисунок 2.4 – Производительность извлекаемого сырья при изменении массы (количества) грузоподъемного оборудования (составлено автором)

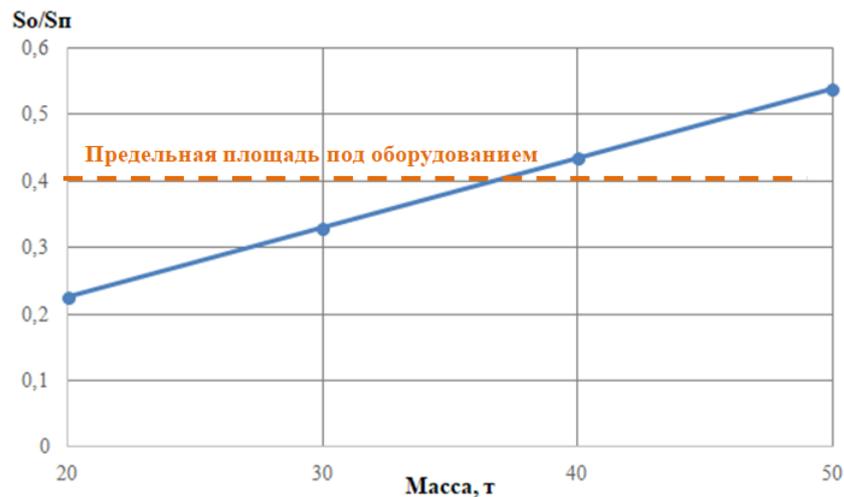


Рисунок 2.5 – Доля площади занимаемого оборудованием на платформе в зависимости от массы (количества) грузоподъемного оборудования (составлено автором)

Масса грузоподъемного оборудования рассчитывалась исходя из допущения, что дизельный двигатель будет исключен из конструкции грузоподъемного агрегата для облегчения комплекса (масса единицы техники принята за 10 т). При этом, предельной считается суммарная масса оборудования в 40 т.

Максимальное значение площади обработки достигается при двух единицах грузоподъемного оборудования, что обусловлено сочетанием рабочего радиуса и минимизацией взаимного перекрытия зон. Дальнейшее увеличение количества единиц оборудования до 3-4 единиц снижает полезную площадь на 18-25% из-за роста зоны перекрытия и ограниченности габаритов платформы (72 м²). При этом, при двух единицах грузоподъемного оборудования обеспечивается функциональное резервирование объекта при сравнительно низких потерях производительности. Более того, экстремум функции однозначно определяет количество единиц грузоподъемного оборудования.

Оценка рационального количества грузоподъемного оборудования также однозначно обеспечивается экстремумом функции.

Функция $Q=f(M)$ не имеет экстремума, но ограничивается предельной массой оборудования (40 т), а также учитывая соотношение площади занимаемого оборудованием и площади поверхности платформы (рисунок 2.5). Доля площади, занимаемой оборудованием, возрастает от 23% (1 манипулятор) до 54% (4 манипулятора). При превышении порога в 50% ограничивается пространство для технологических операций, обслуживания и размещения сменного навесного оборудования. Конфигурация с двумя манипуляторами (занято 33% площади) сохраняет резерв для размещения вспомогательных систем и пространства для технологических манипуляций в зонах перекрытия.

Таким образом, необходимым и достаточным для выбранной платформы является закрепление на ней двух манипуляторов, оснащенных сменным рабочим оборудованием. Наличие именно двух единиц грузоподъемного оборудования, радиус действия которых взаимно перекрывается, повышают надежность функционирования и технологичность проводимых на платформе работ.

2.3 Анализ функциональной схемы мостовой платформы с технологическими элементами в виде автономного энерготехнологического центра горного оборудования (АЭТЦ ГО)

Функциональную структуру мостовой платформы целесообразно представить технологическими машинами (элементами), выполняющими целевые функции, в частности, при добыче торфа грузоподъемными устройствами со сменным рабочим органом, детерминированно перемещаемыми по поверхности платформы, и соединенными между собой логистическими, функциональными или иными связями с образованием автономного энерготехнологического центра горного оборудования – АЭТЦ ГО, размещаемого на мостовой платформе, как базовом элементе.

Целью функционирования АЭТЦ ГО является механизация проведения разработки торфяного месторождения модулями и их функциональными элементами операций добычи (*MEB – mining equipment on base*). Неотъемлемыми элементами платформы являются модули электро- (*DGB – diesel generation on base*) и гидрогенерации (*HGB – hydraulic generation on base*). Модуль гидрогенерации (*HGB*), в свою очередь, предназначен для функционирования гидравлической трансмиссии шагания (*HTS – hydraulic transmission for stepping*), кинематически связанной с корпусом платформы (*PB – platform is base*) и элементами перемещения (*SS – stepping ski*). На рисунке 2.6 представлена функциональная блочно-иерархическая структура АЭТЦ ГО, демонстрирующая принцип структурообразования и построения обобщенной структуры АЭТЦ ГО.

Наличие базового элемента позволяет идентифицировать АЭТЦ ГО как агрегатированную. Мостовая платформа используется в качестве базы АЭТЦ ГО. При этом функциональные элементы конструктивно связаны непосредственно с базовым элементом.

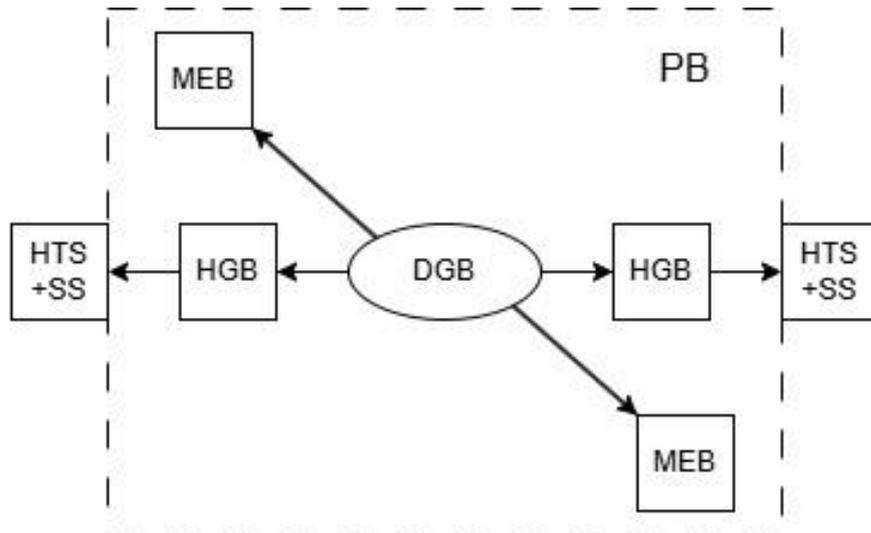


Рисунок 2.6 – Функциональная структура АЭТЦ ГО (составлено автором)

Все элементы системы объединены в единую цепочку посредством связей соединения (+) или совмещения (\cdot) (2.3):

$$\begin{aligned} \text{АЭТЦ ГО} = \sum_{i=1}^2 \left(M_{D_{MEBi}} + Fg_{D_{MEBi}} + Fe_{D_{MEBi}} + M_{T_{MEBi}} + Fe_{T_{MEBi}} + \right. \\ \left. + I_{MEBi} \cdot E_{MEBi} \right) + \sum_{j=1}^2 (Fg_{HGBj} + M_{SSj} + Fe_{HGBj} + I_{HGBj} \cdot E_{HGBj}) + Fg_{DGB} + \\ + Fe_{DGB} + I_{DGB} \cdot E_{DGB} + I_{PB} \cdot E_{PB}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где $M_{D_{MEBi}}$ – механическая составляющая элемента операций добычи;

$Fg_{D_{MEBi}}$ – энергетическая (гидравлический привод) составляющая элемента операций добычи;

$Fe_{D_{MEBi}}$ – энергетическая (электрический привод) составляющая элемента операций добычи;

$M_{D_{MEBi}}$ – механическая составляющая транспортирующего элемента операций добычи;

$Fe_{D_{MEBi}}$ – энергетическая (гидравлический привод) составляющая транспортирующего элемента операций добычи;

I_{MEBi} – информационная составляющая элемента операций добычи;

E_{MEBi} – электронная составляющая элемента операций добычи;

Fg_{HGBj} – энергетическая (гидравлический привод) составляющая модуля гидрогенерации;

M_{SSj} – механическая составляющая элемента перемещения;

$F_{e_{HGBj}}$ – энергетическая (электрический привод) составляющая элемента гидрогенерации;

I_{HGBj} – информационная составляющая элемента гидрогенерации;

E_{HGBj} – электронная составляющая элемента гидрогенерации;

$F_{g_{DGB}}$ – энергетическая (гидравлический привод) составляющая модуля электрогенерации;

$F_{e_{DGB}}$ – энергетическая (электрический привод) составляющая модуля электрогенерации;

I_{DGB} – информационная составляющая модуля электрогенерации;

E_{DGB} – электронная составляющая модуля электрогенерации;

I_{PB} – информационная составляющая базового элемента (корпуса платформы);

E_{PB} – электронная составляющая базового элемента (корпуса платформы).

Для определения конструктивных особенностей платформы, ее габаритных размеров и энергомассовых характеристик оборудования, размещаемого на ней, требуется провести структурно-параметрический синтез мостовой платформы.

2.4 Структурно-параметрический синтез мостовой платформы для технологии освоения неосушенных торфяных месторождений

Структурный синтез мостовой платформы позволяет перейти к параметрическому синтезу, при этом необходимо учитывать последовательность определения параметров оборудования, размещаемого на платформе. Рациональной последовательностью является определение параметрических и энергомассовых характеристик для следующей последовательности: *MEB-HTS+SS-HGB-DGB*.

Как было отмечено ранее, объем торфа-сырца для получения $5 \cdot 10^4$ т у.т. готовой продукции торфа влажностью 40% за год должен составлять $\sim 3,78 \cdot 10^5$ м³. И, в случае, если за границы промышленной глубины принять глубину равную 2 м, для получения 50000 т у.т. необходимо разработать участок площадью 19 га.

В качестве грузоподъемной техники в разделе 2.2 выбран гидроманипулятор с характеристиками экскаватора *UMG E225C* [107] с емкостью ковша 1 м³,

позволяющий обеспечить необходимую производительность в $55 \text{ м}^3/\text{ч}$, в том числе агрегат адаптирован для платформы и выполнен без ходовой тележки и двигателя ДВС, для снижения массы единицы оборудования до 10 т.

Потребляемая мощность такого агрегата по паспортным данным равна 132 кВт. Учитывая количество единиц грузоподъемного оборудования в количестве 2 агрегатов, необходимость замены их дизель-генераторов, наличия насосных станций для функционирования гидравлической системы механизма шагания принято решение установки на мостовой платформе силового блока максимальной мощностью 990кВт (ТСС АД-900С-Т400-1РМ26 [32]) с габаритами 4,1x1,9 м.

Для проверки обеспечения функционирования оборудования при принятой мощности необходимо оценить производительность гидравлического оборудования механизма перемещения и мощности, затрачиваемые на их функционирование. С целью обеспечения перемещения в платформе участвуют гидравлические цилиндры перемещения и гидравлические домкраты подъема (*SS*), работа которых невозможна без гидравлической насосной станции (*HTS*), производительность которой определяется из производительности всех источников потребляемой энергии, в числе которых 4 гидравлических домкрата и 4 гидравлических цилиндра с двух сторон платформы (общее число оборудования – 8 гидравлических цилиндров, 8 гидравлических домкратов).

При определении потребной мощности гидропривода возвратно-поступательного действия расчет проводился исходя из характеристик гидроцилиндров и гидравлических домкратов. При допущении, что необходимый ход штока равен 1 м, были выбраны гидроцилиндры ГЦ 100.50.1000.1445.50 [18], рабочее давление которых составляет 20 МПа каждый. При выборе гидравлических домкратов основной характеристикой является их грузоподъемность, исходя из допущения, что суммарная масса платформы с оборудованием составит 60 т, грузоподъемность одного гидроцилиндра должна быть не менее 7,5 т, опираясь на базовый размерный ряд минимальное подходящее усилие равно 100 Н. Подходящая модель гидравлического домкрата для данной характеристики

ДУ10Г100 [89] производителя «Энерпром», максимальное рабочее давление данной модели составляет 70 МПа.

Так как гидравлические домкраты и гидравлические цилиндры работают циклом – домкраты-цилиндры-домкраты-цилиндры, и не подразумевают одновременную работу, при выборе гидравлической станции целесообразно опираться на рабочее давление не менее 70 МПа. Ближайшее стандартизированное рабочее давление составляет 70 МПа. По данной характеристике выбрана гидравлическая станция модели 4НЭЭ-5, 0И100Г1-СПС [89] производителя *HYDROFAB*. Мощность такой гидростанции достигает 10 кВт.

Таким образом, выбранные энергетические элементы обеспечивают надежное функционирование мостовой платформы и всех ее элементов. Энергомассовые характеристики элементов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Энергомассовые характеристики элементов мостовой платформы [18, 32, 89, 107]

Элемент	Количество	Габариты единицы оборудования платформы, м	Мощность единицы оборудования, кВт	Масса единицы оборудования, кг
Грузоподъемное оборудование	2	2,5x3x2	132	10000
Гидравлическая станция	2	0,72x0,59x1,38	10	232
Дизель-генераторная установка	1	4,1x1,92x2,35	900	7500

Результат параметрического синтеза представлен на рисунке 2.7, исходя из характеристик грузоподъемного оборудования, в качестве которого выступает экскаватор *UMG E225C*, а также учитывая размерный ряд пролетов мостовых и козловых кранов. Основными характеристиками машины является максимальный радиус вылета стрелы равный 9,78 м, а пролет мостовых и козловых кранов 12 м. Из условия расположения на платформе оборудования ширина платформы – 6 м.

Для пояснения схемы необходимо уточнить значения линий, изображенных на рисунке 2.7. Пунктирной линией указан радиус работы при добыче, штриховой линией – радиус работы грузоподъемных работ. На рисунке также учтен уровень платформы над поверхностью торфяной залежи. При данном уровне,

максимальный радиус копания равен 9,05 м, эффективный радиус копания равен 6,35 м. Также на рисунке отображена зона перекрытия при работе двух экскаваторных агрегатов. Помимо добычного оборудования на мостовой платформе установлены две гидравлические станции и дизель-генераторная станция.

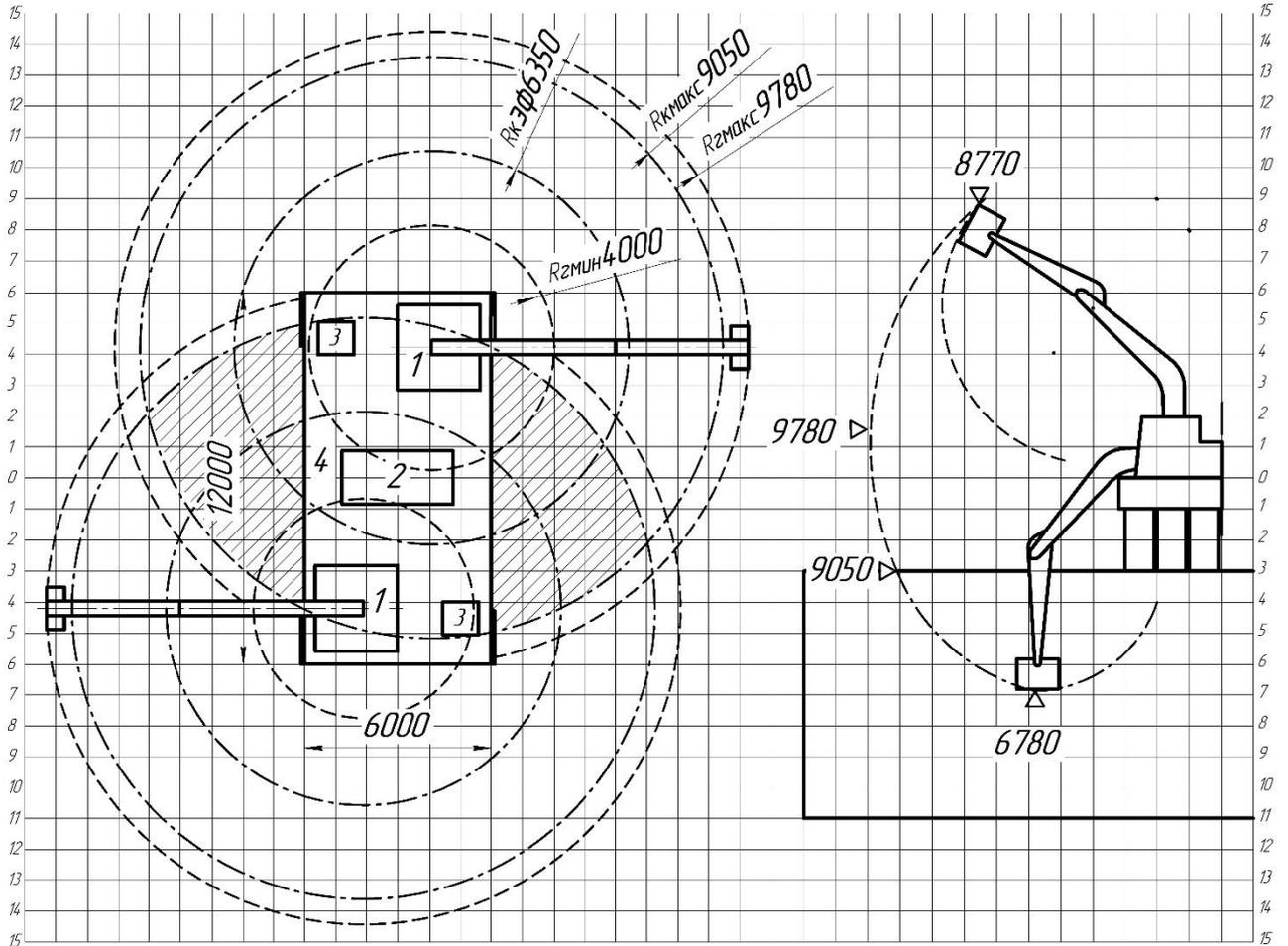


Рисунок 2.7 – Величина и характер обрабатываемого пространства
(составлено автором)

Такие характеристики грузоподъемного оборудования позволяют обрабатывать площадь торфяного сырья равную 296 м², а также имеется возможность замещать оборудование при выполнении работ без временных потерь на их выполнение за счет зоны перекрытия.

2.5 Комплексное освоение торфяных месторождений

В качестве сменного навесного оборудования для гидроманипулятора может выступать ряд устройств в составе 20-ти номенклатурных единиц (рисунок

2.8), к которым относится: роторная фреза, ковшовый грейфер, ковшубур, перфорированный ковш, профильный ковш, сортировочный грейфер, гидробур, гидромонитор, вибропогружатель, дисковая пила, измельчитель пней, грейферный захват для леса, вибротрамбовщик, грунтовый насос, гидронежницы, корчеватель пней, грейферный захват для труб, фреза для срубki свай, рыхлитель, мульчер и другие.



Рисунок 2.8 – Виды сменного оборудования для гидроманипулятора

(составлено автором)

Разнообразие сменного оборудования делает платформу многофункциональной. Применение платформы возможно не только для экскаваторной добычи торфяного сырья, а также для размыва торфа гидромониторами, гидромеханизированной добычи, установки свайных конструкций на болотах, замены торфяных слабых грунтов, разработки траншей на болотах I, II и III типов (рисунок 2.9).

Иными словами, применение платформы возможно как при добыче, так и при выполнении вспомогательных работ, монтажа, демонтажа, создания инфраструктуры, а также при прокладке путей и разработке траншей.

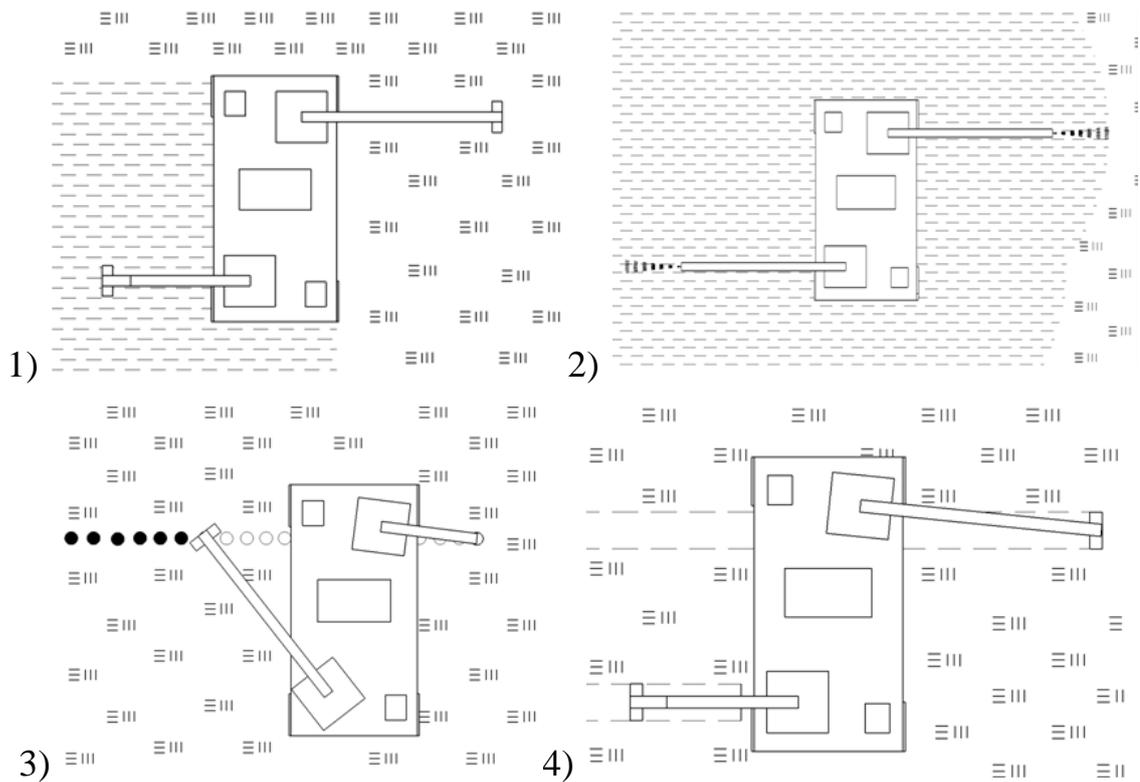


Рисунок 2.9 – Пример многофункциональности применения платформы:

- 1) экскаваторная добыча торфяного сырья на неосушенных месторождения;
- 2) гидромеханизированная добыча торфяного сырья; 3) установка свайных конструкций на заболоченных территориях; 4) разработка траншей на торфяных залежах I, II и III типов (составлено автором)

Возможность комплексного освоения с применением мостовой платформы подтверждается диаграммой (рисунок 2.10), которая демонстрирует, как базовая конструкция в виде мостовой платформы адаптируется к разным задачам за счет сменных модулей, что снижает потребность в применении специальной техники, подтверждая тем самым универсальность гидроманипулятора как основного грузоподъемного объекта платформы. Более того, это подтверждает высокий коэффициент использования сменного оборудования, который равен 1,85, что также показывает высокий уровень многофункциональности платформы. При использовании однотипного оборудования при различных видах работ также обеспечивает функциональное резервирование сменного оборудования и возможность параллельного ведения работ, гарантируя непрерывность процесса при отказах оборудования. Дополнительно к перечисленному, применение навесного оборудования на гидроманипуляторе в сравнении с парком техники,

единица которого выполняет только один вид работ, сокращает время на смену оборудования в процессе освоения территории.

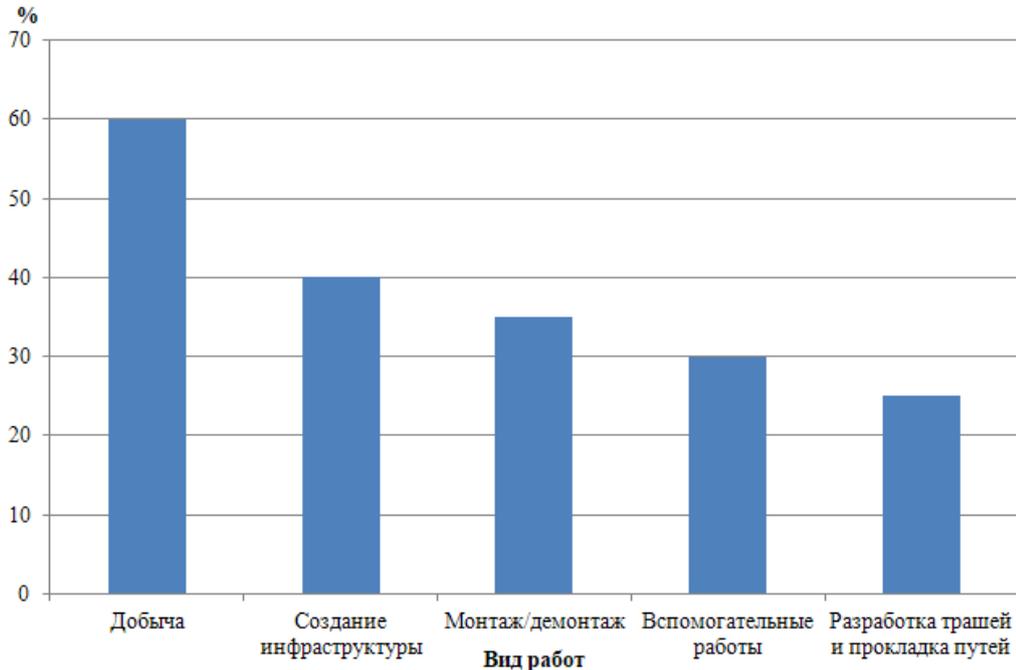


Рисунок 2.10 – Процентное соотношение применения единиц сменного оборудования на мостовой платформе для различных видов работ (составлено автором)

2.6 Технология освоения торфяного месторождения с применением мостовой платформы

Предполагается, что технология освоения территорий торфяных месторождений реализуется в рамках продольной сплошной однобортовой разработки, где с мостовой платформы, перемещающейся по карьере параллельными заходками, осуществляется выемка торфяного сырья на заданную или полную мощность залежи посредством гидроманипулятора, оснащенного перфорированным ковшом (Патент № 216019) [100]. Была предложена технология освоения торфяного месторождения с применением мостовой платформы [73, 75, 79], реализуемая в данных условиях, схематичное изображение которой изображено на рисунке 2.11.

Процесс реализации технологии освоения торфяного месторождения предполагает технологию открытой добычи в рамках продольной сплошной однобортовой разработки. При этом реализация добычи осуществляется на неподготовленной торфяной залежи естественного залегания.

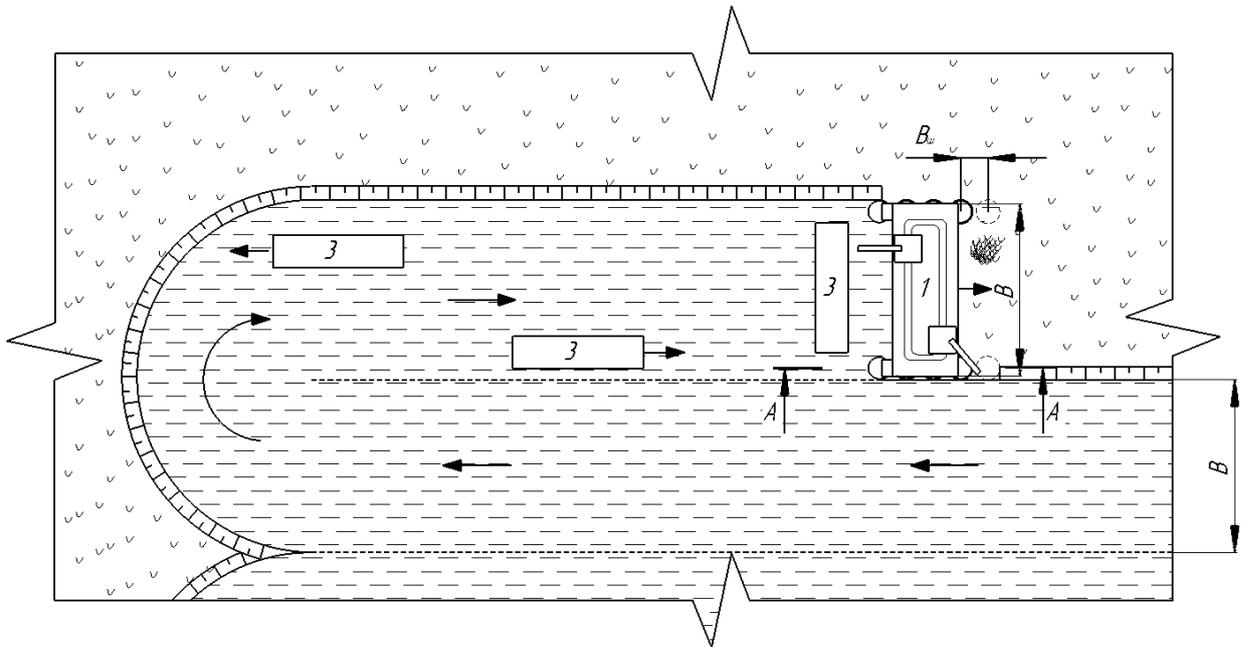


Рисунок 2.11 – Схема технологии освоения неосушенного торфяного месторождения с применением мостовой платформы: 1 – мостовая платформа, 2 – гидравлическая система механизма перемещения, 3 - баржа, B – ширина заходки мостовой платформы, $B_{ш}$ – шаг перемещения мостовой платформы (составлено автором)

Мостовая платформа перемещается по карьеру параллельными заходками, с которой непосредственно осуществляется выемка торфяного сырья на заданную или полную мощность залежи с помощью перфорированного грейферного или экскаваторного ковша. В процессе добычи платформа движется по зигзагообразной траектории с разворотом на 180° при достижении границы карьерного поля. Выемка сырья осуществляется с тыльной стороны платформы относительно направления ее движения; транспортировка экскавируемого сырья осуществляется баржами, перемещающимися по челноковой схеме.

При сравнении данной технологии с одной из основных технологий освоения торфяных месторождений – поверхностно-послойной разработкой, при условии средней годовой программы добычи торфяного сырья в объеме $5 \cdot 10^4$ т 40% влаги условного топлива степени разложения равной 15%, пнистостью не более 1% на первый год эксплуатации, были получены следующие результаты (таблица 2.2):

Таблица 2.2 – Сравнение технологий освоения торфяного месторождения годовой программой добычи $5 \cdot 10^4$ т у.т. 40% влаги (составлено автором)

Параметр	Поверхностно-послойная разработка торфяного месторождения	Технология освоения неосушенного месторождения с применением мостовой платформы с АЭЦ ГО
Площадь месторождения, м ²	285000	285000
Цикловой сбор, т/га	10	2082
Срок подготовки месторождения, год	3	не требуется
Количество машин для подготовки месторождения, шт.	6	не требуется
Количество машин для ремонта площадей, шт.	11	не требуется
Необходимость рекультивации	требуется	не требуется
Природоохранные риски	пожары, водопонижение	отсутствуют

2.7 Обеспечение стабильного основания мостовой платформы

Мостовая платформа также требует создания надежных оснований между заболоченной поверхностью и опорами механизма перемещения платформы. Перемещение по свайным основаниям возможно пошагово, например, по схеме перемещения шагающего щита или укладчика обделки (ТУ-4Гп), пошаговое перемещение которых производится путем подтягивания корпуса с неподвижными лыжами относительно подвижных лыж, совмещенных с механизмом передвижения шагающего типа с гидроприводом. Предпочтительно кусты свай удалять, переставляя по пути перемещения мостовой платформы. Снизить трудоемкость работ по установке и перемещению основания для продвижения мостовой платформы возможно применением нескольких плавучих опорных звеньев, располагаемых горизонтально или вертикально, по мере продвижения по которым, последние переставляют вперед. В этом случае, используя опоры с положительной плавучестью, реализуется дополнительный эффект компенсации веса платформы. При применении полых опор давление на дно скважины от веса платформы уменьшается реализацией принципа Архимеда за счет компенсации части веса вытесненной опорой болотной воды.

Обеспечение непотопляемости мостовой платформы зависит от количества полых опор и их параметров, при этом, расчетное давление на грунт, создаваемое платформой с оборудованием на нем, не должно превышать допустимого давления на торфяную залежь естественного залегания ненарушенной структуры, а именно 0,03 МПа. Исходя из этого, расчетное количество опор и их параметров должно соответствовать условию (2.4):

$$\frac{4M_{п}g}{(N - 2)\pi D_{о}^2} \leq [p_{доп}], \quad (2.4)$$

где, $M_{п}$ – полная масса опоры с оборудованием, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

N – количество опор, шт.;

$D_{о}$ – диаметр опоры, м;

$p_{доп}$ – допустимое давление на грунт, Па.

Данная зависимость является ориентиром при расчете количества опор и их параметров в зависимости от массы платформы с оборудованием. Вариативной величиной является как количество опор, так и их диаметр. При этом диаметр является определяющим, так как данный параметр определяется диаметром скважины. Тогда, перечисленные параметры опор мостовой платформы условной массой равной 60 т принимают следующий вид (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Давление на дно скважины в зависимости от параметров и количества опор (составлено автором)

$M_{п}, \text{ т}$	$D_{о}, \text{ м}$	$N, \text{ шт.}$	$p, \text{ МПа}$
60	1,8	10	0,029
60	1,6	12	0,029
60	1,5	14	0,028
60	1,4	16	0,027
60	1,3	18	0,028

При представленных параметрах, даже без воздействия выталкивающей силы, расчетное давление на грунт составляет величину меньшую 0,03 МПа, которая является предельно допустимым значением для торфяной залежи II, III, V и VI типов.

Кроме того, при наличии выталкивающей силы представленные размеры опор полностью компенсируют вес платформы, даже при их частичном балластном нагружении. Так, для параметров, представленных в таблице 2.3 при возникновении выталкивающей силы, значения нагрузки на дно скважины будет принимать вид (таблица 2.4), при условии, что 2/3 опоры погружены в жидкую среду (плотность опор из полиэтилена высокой плотности (*HDPE*) – 960 кг/м³):

Таблица 2.4 – Давление на дно скважины в зависимости от параметров и количества опор при воздействии выталкивающей силы (составлено автором)

M_p , т	D_o , м	N , шт.	p_A , МПа
60	1,8	10	-0,006
60	1,6	12	-0,002
60	1,5	14	-0,001
60	1,4	16	0,004
60	1,3	18	0,006

При меньшем погружении опоры в жидкую среду, давление на дно скважины соответственно возрастает. При наличии жидкой фазы в скважине возникает выталкивающая сила, тем самым, обеспечивается запас непотопляемости платформы, что, в свою очередь, обеспечивает безусловную проходимость платформы на неосушенном торфяном месторождении.

Благодаря сокращению полезной работы в процессе погружения опоры и при ее всплытии повышается энергоэффективность перемещения мостовой платформы. Полезная работа уменьшается за счет манипуляций с заборной торфяной водой, которая закачивается в полость опоры при погружении и откачивается при всплытии.

В силу того, что эти процессы являются многовариантными, они требуют алгоритмизации. При этом следует учитывать, что опора имеет переменную плавучесть, обусловленную изменением величины жидкостной балластировки, находится в жидкой среде и имеет пять степеней свободы. Кроме того, необходимо учитывать также внешние усилия, которые необходимо приложить при подъеме и погружении опоры.

На рисунке 2.12 показана схема действующих сил на опору. Для теоретической оценки плавучести опоры и крена относительно ее вертикальной оси

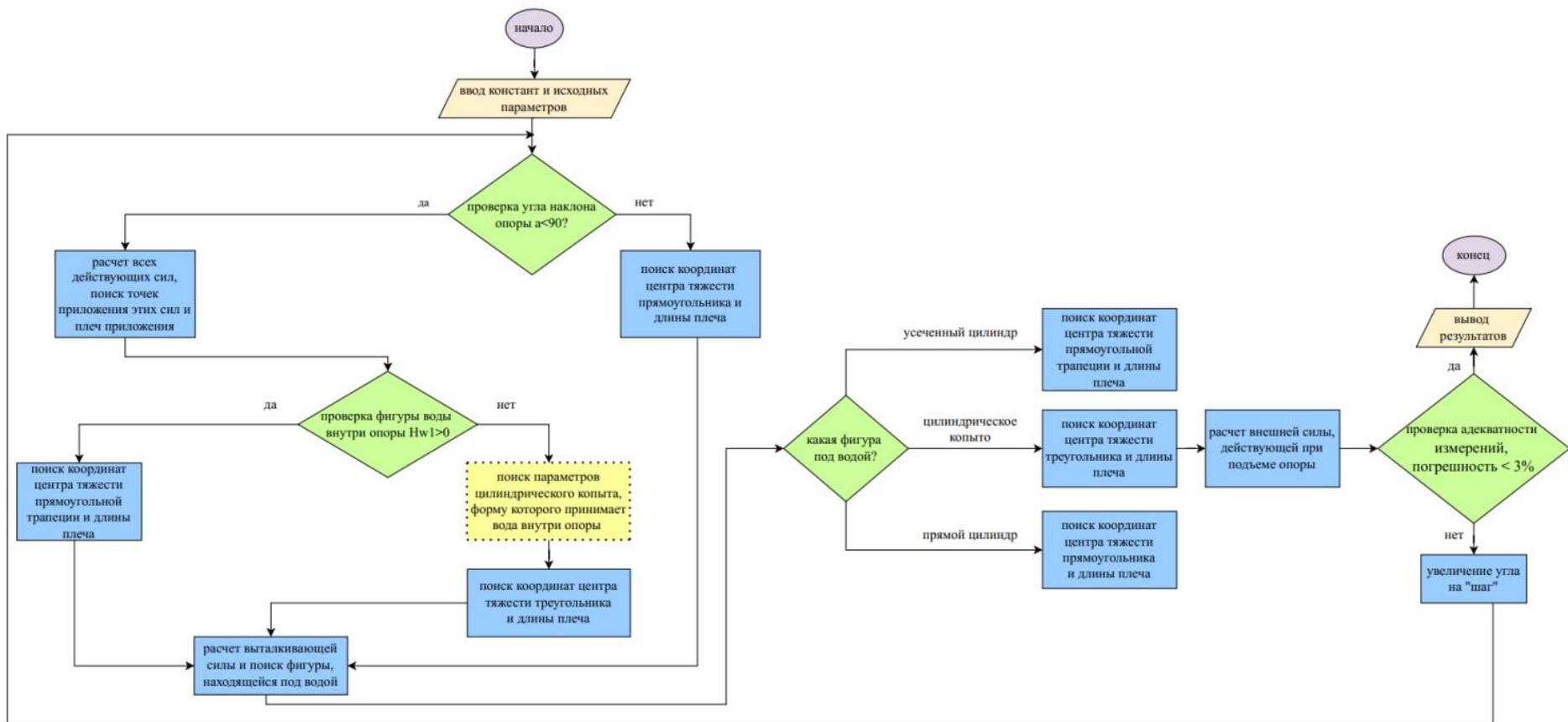


Рисунок 2.13 – Блок-схема алгоритма для расчета балластного нагружения полой опоры (составлено автором)

Уравнение моментов относительно начала координат системы XOY , решаемое относительно усилия T , представлено выражением (2.5). Решение этого уравнения на предмет минимизации значения усилия T позволяет реализовывать принцип энергоэффективности процесса движения опоры.

$$T = (m_{\Gamma}g(0,5H_{\Gamma} + H_{\text{H}} + R_{\text{H}} \tan \alpha) \cos \alpha + (\pi R_{\text{H}}^2 H_{\text{H}} g \rho_{\text{H}} + \\ + \pi R_{\text{H}}^2 H_{\text{B}} g \rho_{\text{B}} + \pi(R_{\text{H}}^2 - R_{\text{B}}^2)H_{\text{O}} g \rho_{\text{O}})(0,5(H_{\text{H}} + H_{\text{O}} + H_{\text{B}}) + \\ + R_{\text{H}} \tan \alpha) \cos \alpha + V_{\text{BB}} g \rho_{\text{BB}} L_{\text{BB}} - \rho_{\text{ж}} g V_{\text{п}} L_{\text{A}}) / ((H_{\text{H}} + H_{\text{O}} + H_{\text{B}} + \\ + R_{\text{H}} \tan \alpha) \cos \alpha) \quad (2.5)$$

где m_{Γ} – масса балластного груза, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H_{Γ} – высота балластного груза, м;

H_{H} , – высота нижней части опоры, м;

R_{H} , – внешний радиус опоры, м;

α – угол наклона опоры, °;

ρ_{H} – плотность нижней части опоры, кг/м³;

H_{B} – высота верхней части опоры, м;

ρ_{B} – верхней части опоры, кг/м³;

R_{B} – внутренний радиус опоры, м;

H_{O} – высота оболочки, м;

ρ_{O} – плотность оболочки, кг/м³;

V_{BB} – объем внутренней жидкости, м³;

ρ_{BB} – плотность нижней внутренней жидкости, кг/м³;

L_{BB} – плечо силы внутренней жидкости, м;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, в которую погружается опора кг/м³;

$V_{\text{п}}$ – объем погруженной части опоры, м³;

L_{A} – плечо выталкивающей силы, м.

При погружении опоры в водную среду на нее дополнительно действует выталкивающая сила, величина которой определяется объемом погруженной части опоры. В процессе постепенного погружения опоры фигура подводной части меняется от цилиндрического копыта до прямого цилиндра, это изменение

критически важно для точного вычисления координат точки приложения выталкивающей силы.

Такая технология позволяет эффективно использовать энергетический потенциал, что в свою очередь способствует повышению общей энергоэффективности механизма перемещения мостовой платформы.

2.8 Механизм перемещения мостовой платформы

Одним из элементов системы перемещения мостовой платформы является механизм перемещения [76, 77, 80], работа которого основана на функционировании гидравлического оборудования (рисунок 2.14).

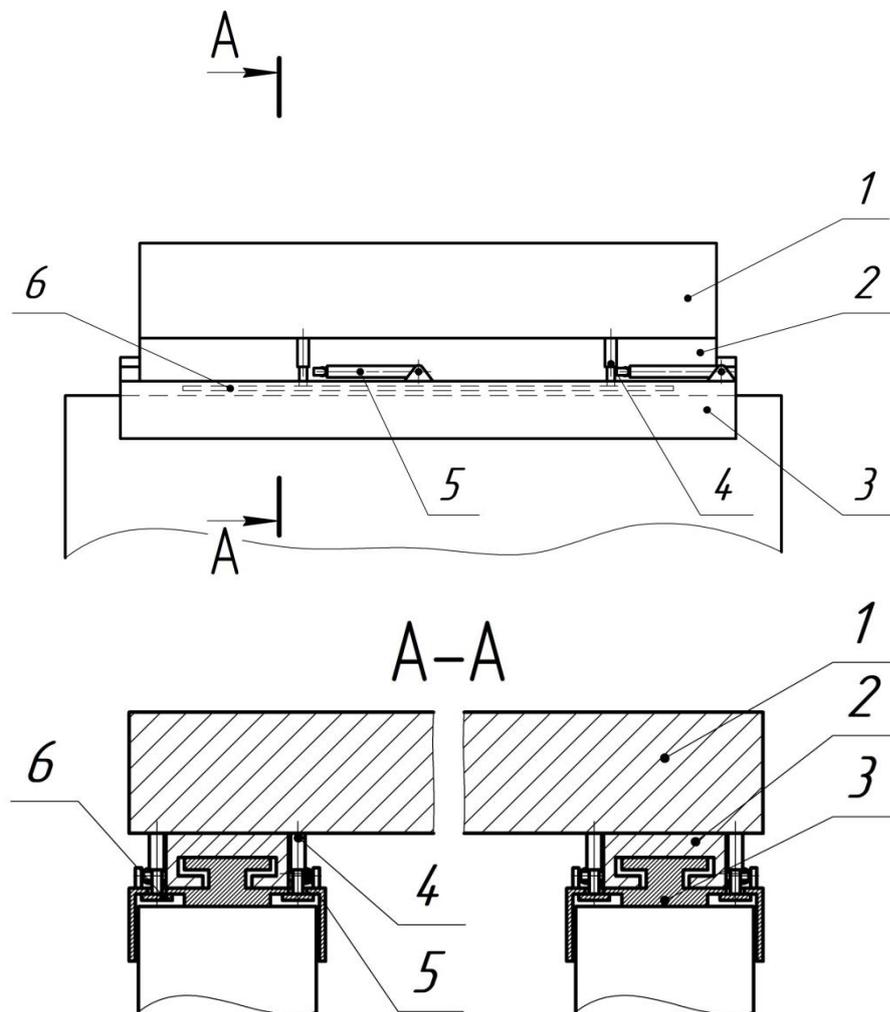


Рисунок 2.14 – Механизм перемещения мостовой платформы: 1 – платформа; 2 – направляющая платформы; 3 – основание; 4 – гидравлические домкраты; 5 – гидравлические цилиндры перемещения; 6 – опорная лыжа (составлено автором)

Как было указано ранее, механизм перемещения включает в себя гидравлические домкраты, гидравлические цилиндры, а также опорную лыжу, без которых перемещение не является возможным. Вертикальные гидравлические домкраты, с одной стороны, жестко закреплены на боковых частях платформы, а их штоки соединены с опорными лыжами. При включении домкратов, лыжи, опираясь на торцы вертикальных опор, приподнимают платформу относительно последних, освобождая от нагрузки промежуточный элемент шагания – быки, располагающиеся между платформой и опорами. При этом верхняя часть быков находится в направляющих платформы, а нижняя удерживает платформу от смещения. Освобожденные от веса платформы быки гидравлическими цилиндрами перемещения продвигают в направлении перемещения на шаг между платформой и опорами, после чего платформу возвращают в рабочее положение на быки, а лыжи не опираются на торцы опор. Гидравлические цилиндры перемещения являясь реверсивными линейными двигателями перемещения в горизонтальном направлении быков относительно платформы, подтягивают платформу в исходное положение.

Принципиальная гидравлическая схема перемещения представлена на рисунке 2.15. Гидравлическая система включает в себя в первую очередь регулируемый насос с электродвигателем 7, напорный клапан с дистанционным управлением 8, манометр 9, охладитель гидравлической жидкости 5 и фильтр 6 на сливе жидкости в бак. Для вертикального подъема гидравлическая система оборудована гидравлическими домкратами 1, которые, в свою очередь, последовательно соединены с гидравлическими замками 3 для фиксации положения во время подъема. Также в системе участвуют распределители 4 для подвода гидравлической жидкости к рабочим узлам и ее отвода в масляный бак.

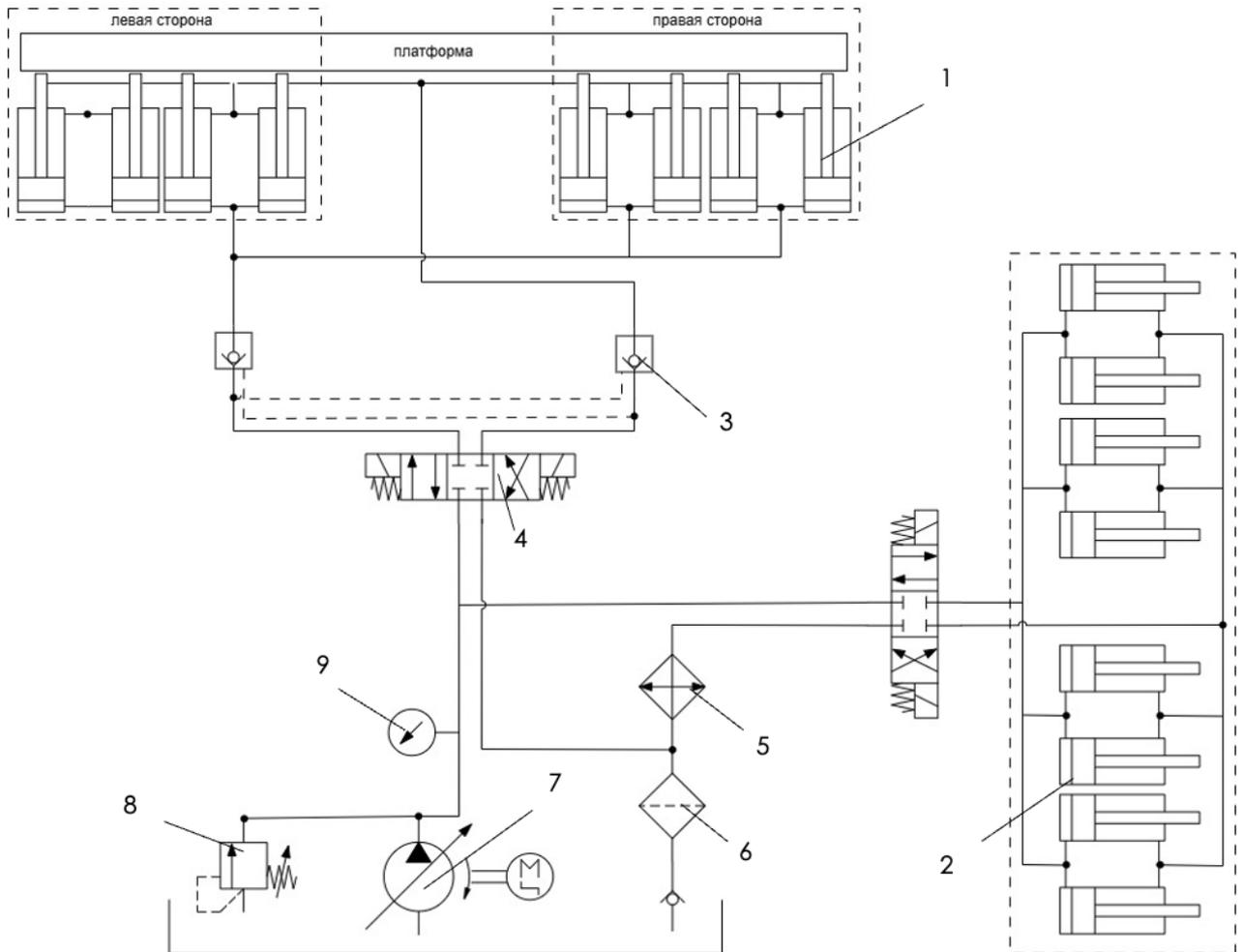


Рисунок 2.15 – Гидравлическая схема механизма перемещения мостовой платформы (составлено автором)

2.9 Обеспечение безотказной работы элементов мостовой платформы

Учитывая тот факт, что в условиях эксплуатации допустимо нахождение комплекса на значительном удалении от ремонтной базы, критически важным аспектом становится обеспечение его безотказной работы. На работоспособность платформы напрямую влияет эффективность работы ее гидравлической системы [43, 44].

Основываясь на статистике отказов гидравлических систем, представленной в главе 1, для предотвращения отказов, связанных с загрязнением гидравлической жидкости, требуется внедрение регулярных диагностических мероприятий по оценке ее состояния. С целью оценки качества гидравлической жидкости в процессе эксплуатации предлагается применение экспресс-диагностики

посредством контроля сигнала акустической эмиссии [78, 133, 155], в частности, по оценке его приведенного параметра – интегрального показателя трения. Основная цель – корреляция между уровнем загрязнения и интенсивностью высокочастотных сигналов (20-300 кГц), генерируемых при: микроударах твердых частиц о поверхности трения; деформации деталей твердыми включениями, разрушении масляной пленки гидравлической жидкости.

Оценка должна производиться в байпасном контуре, который объединен с общей системой, для возможности оценки загрязнения гидравлической жидкости в режиме реального времени. Предполагается, что информация с датчиков поступает в бортовую систему оператора и при достижении пороговых значений оператор принимает решение о замене гидравлической жидкости. Такая реализация экспресс-диагностики чистоты гидравлической жидкости позволит сократить временные затраты на диагностику ее состояния и обеспечит оперативную замену рабочей среды при необходимости [155].

При сравнении данной системы с традиционным лабораторным анализом существует ряд преимуществ: сокращение времени получения данных, возможность экспресс-анализа в процессе эксплуатации оборудования, а также низкий человеческий фактор, при анализе результатов. Реализация принципов оперативного выявления изнашивания компонентов техники дает возможность отказаться от дорогостоящих, анализирующих состояние системы, остановок, которые требуются для исключения внезапных отказов в ходе эксплуатации. Система оперативного мониторинга на основе акустической эмиссии является эффективным инструментом обеспечения безотказности гидравлических систем удаленных мобильных комплексов в условиях ограниченной ремонтной инфраструктуры.

Применение акустической эмиссии в качестве диагностического метода и инструмента оценки состояния объекта требует предварительного установления качественной или количественной взаимосвязи между регистрируемыми акустико-эмиссионными сигналами и актуальным состоянием объекта в рамках конкретной исследуемой системы. Реализация данной задачи осуществляется посредством

двух основных методологических подходов: экспериментального выявления уникальных наборов характеристик акустической эмиссии, однозначно идентифицирующих специфические состояния объекта, стадии его деградации или типа дефектов, и теоретического обоснования корреляционных зависимостей между параметрами акустической эмиссии, и показателями объекта (например, коэффициент готовности).

Учитывая известную зависимость нелинейного характера коэффициента готовности от класса чистоты гидравлической жидкости (глава 1 раздел 1.3) и факт того, что класс чистоты – качественная характеристика загрязненности, необходимо привести зависимость от количественной характеристики загрязненности гидравлической жидкости, которой является индекс загрязненности z . В ГОСТ 17216-2001 представлены значения индекса загрязненности, соответствующие классу чистоты (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Связь индекса загрязненности с классом чистоты гидравлических жидкостей [ГОСТ 17216-2001]

Индекс загрязненности, z	105	210	415	830	1645	3275	6520
Класс чистоты	8	9	10	11	12	13	14

При этом, индекс загрязненности рассчитывается по формуле 2.6

$$z = 0,001(10n_{10} + 25n_{25} + 50n_{50} + 100n_{100} + 200n_{200} + 400n_{400}), \quad (2.6)$$

где n_{10} – количество частиц размером 10 мкм;

n_{25} – количество частиц размером 25 мкм;

n_{50} – количество частиц размером 50 мкм;

n_{100} – количество частиц размером 100 мкм;

n_{200} – количество частиц размером 200 мкм;

n_{400} – количество частиц размером 400 мкм.

Тогда, при переводе зависимости коэффициента готовности K_r от класса чистоты в зависимость коэффициента готовности от индекса загрязненности получается выражение 2.7:

$$K_r = 2 \cdot 10^{-9}z^2 - 3 \cdot 10^{-5}z + 0,9983 \quad (2.7)$$

Таким образом, при нахождении зависимости сигнала акустической эмиссии от индекса загрязненности, возможна также оценка коэффициента готовности гидравлической системы.

2.10 Выводы по Главе 2

1. Предложенная классификация по трем признакам (условия реализации, тип движения, вид получаемого сырья) систематизирует технологии добычи торфа, исключая избыточную детализацию. Установлена прямая связь между типом комплекса и видом продукта, что определяет выбор оборудования для целевой продукции.

2. Рациональная структура платформы с двумя гидроманипуляторами (аналог экскаватора *UMG E225C*) подтверждена экстремумом функций площади обработки (296 м^2) и производительности ($55 \text{ м}^3/\text{ч}$). Такое количество грузоподъемной техники минимизирует зоны перекрытия, обеспечивает функциональное резервирование и соблюдение массового лимита в 40 т, увеличение числа единиц свыше двух, в свою очередь, снижает эффективность функционирования платформы из-за габаритных ограничений.

3. Разработанный на основе структуры автономный энерготехнологический центр (АЭТЦ ГО) включает в себя: модули добычи (*MEB*), гидрогенерации (*HGB*), электрогенерации (*DGB*) и шагающего механизма (*HTS*) на базе платформы, а разработанная структурная формула указывает на связи между механическими, энергетическими и информационными компонентами.

4. Синтез мостовой платформы для годовой программы $5 \cdot 10^4$ т у.т. определил параметры оборудования автономного энерготехнологического центра: силовой блок мощностью 990 кВт, гидростанции с максимальным давлением 70 МПа, манипуляторы в составе двух единиц массой 10 т единицы техники.

5. Коэффициент использования сменного оборудования, равный 1,85, подтверждает многофункциональность мостовой платформы. Кроме того, диаграмма демонстрирует адаптацию платформы к параллельным задачам при проведении освоения месторождения, что подтверждает комплексное применение мостовой платформы.

6. Применение мостовой платформы при разработке обводненных месторождений не требует мероприятий на подготовку месторождения к добыче, что экономит временные затраты на 3-6 лет. Отсутствие рисков возникновения пожаров и необходимости рекультивации снижает антропогенную нагрузку на ареал.

7. Стабильное основание в условиях обводненности может достигаться применением полых опор в силу того, что действие силы Архимеда обеспечивает положительную плавучесть опор, выполненных из ПЭВП, а также сокращает энергетические затраты на извлечение и погружение их в торфяное болото за счет применения внутреннего балласта, расчет которого представлен в алгоритме.

8. Предложен механизм шагания и его гидравлическая система, обеспечивающие перемещение мостовой платформы по торфяному месторождению при его освоении. Механизм шагания представлен гидравлическим оборудованием, в частности, гидравлическими домкратами и гидравлическими цилиндрами, а применение опорных лыж распределяет точечную нагрузку при подъеме платформы для создания зазора между элементами агрегата.

9. Корреляция интегрального показателя трения D с индексом загрязненности z позволяет оценивать уровень коэффициента готовности, что обеспечивает целесообразность экспресс-оценки чистоты гидравлической жидкости по величине сигнала акустической эмиссии в диапазоне частот 20–300 кГц.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1 Планирование экспериментальных исследований для реализации цели работы

Исходя из поставленной цели и задач данной работы, составлен план проведения экспериментальных исследований, который включает:

1. Проведение лабораторных экспериментов по выявлению зависимости сигнала акустической эмиссии от степени загрязнения рабочей жидкости гидравлической системы частицами продуктов изнашивания для уточнения вида и характера диагностических процедур при проведении технического обслуживания гидравлической системы механизма шагания мостовой платформы.

2. Проведение лабораторных экспериментов по оценке движения моделей опор на открытом водном пространстве с учетом балластного нагружения.

3. Полевые испытания по оценке величины сопротивления сдвигу залежи торфяного месторождения для уточнения величин технико-технологических параметров мостовой платформы добычи торфяного сырья применительно к ее опорам.

Первым этапом при проведении экспериментального исследования для обеспечения заданной точности и надежности измерений при проведении совокупности повторных опытов необходимо определить их минимальное количество. По общепринятым методикам [11, 37, 128] для определения количества опытов необходимо провести предварительную (пробную) серию экспериментов, по результатам которых осуществляется статистическая обработка результатов и по формуле (3.1) определить минимальное значение опытов:

$$n_{min} \geq \left(\frac{\sigma t}{\bar{a} k_t} \right)^2, \quad (3.1)$$

где \bar{a} – среднее значение;

σ – среднее квадратическое отклонение измерений;

k_t – требуемая точность измерений в относительных единицах (задается условиями задачи);

t – критерий Стьюдента (выбирается по таблице, учитывая количество повторных опытов, число степеней свободы, рассчитываемое как количество повторных опытов минус один и доверительная вероятность не ниже 0,95).

При условии, что среднее квадратическое отклонение рассчитывается по формуле (3.2):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(a_1 - \bar{a})^2 + \dots + (a_n - \bar{a})^2}{n}} \quad (3.2)$$

где a_n – величина измерения, полученная в ходе испытаний;

n – количество измерений.

Далее полученное значение сравнивают с минимального количеством проведенных опытов, если результат расчетов меньше количества минимально проведенных опытов – значит выбранное число опытов достаточно для получения достоверных результатов.

3.2 Экспериментальные исследования

3.2.1 Лабораторное исследование оценки изменения высокочастотного сигнала от класса чистоты рабочей жидкости гидравлической системы

Цель эксперимента заключалась в определении зависимости сигнала акустической эмиссии в узле трения от степени загрязнения рабочей жидкости гидравлической системы абразивными частицами.

Реализация поставленной цели достигалась путем решения задачи, заключающейся в получении в ходе эксперимента значений акустической эмиссии, замеряемых в точке зацепления зубчатых колес шестеренного насоса при постепенном загрязнении рабочей жидкости.

Оборудование и материалы, необходимые для проведения экспериментального исследования представлены в таблице 3.1.

Экспериментальный стенд (рисунок 3.1) включает в себя: бак с маслом объемом 5 л (рабочим объемом 3 л), электроакустический датчик, измерительный блок в виде акустико-эмиссионного прибора АРП-11 ООО «Меткатом», входной и выходной канал, соединяющие бак с маслом и шестеренный насос НШ-10.

Таблица 3.1 – Перечень необходимых материалов и оборудования для проведения эксперимента (составлено автором)

№ п/п	Вид материала/оборудования
1.	Манометр МТО-100, цена деления 0,1 кгс/см ² , погрешность 0,05 кгс/см ² , поверка 30.12.2021 номер свидетельства С-БТ/30-12-2021/122905070
2.	Гофрированная труба ПВХ ГОСТ-50827-95, D = 16 мм, L = 2 м, поверки не требует
3.	Трансмиссионное масло ТАД-17 5л (плотность при 20°С 900 кг/м ³ ГОСТ 3900, индекс вязкости 107 ГОСТ 25372)
4.	Электрокорунд белый 25А фракция 40 мкм, 60 г, ГОСТ 28818-90, поверки не требует
5.	Электрокорунд белый 25А фракции 100 мкм, 60 г, ГОСТ 28818-90, поверки не требует
6.	Насос шестеренный типа НШ-10, приобретен 14.11.2021 поверки не требует
7.	Мотор-редуктор модели <i>UDD 1050M Hammer</i>
8.	Тахометр часового типа ТЧ10-Р, поверка 30.12.2021 номер свидетельства С-СП/30-12-2021/122059571
9.	Измеритель амплитуд сигналов акустической эмиссии АРП-11, цена деления 1, погрешность измерений 0,5, поверка 21.12.2021, номер свидетельства: С-СП/21-12-2021/119197495



Рисунок 3.1 – Экспериментальный стенд (составлено автором)

Приводной вал насоса соединен с валом мотор-редуктора модели *UDD 1050M* с регулятором скорости вращения. Электроакустический датчик расположен на корпусе насоса на линии с точкой зацепления зубьев и работает в диапазоне ультразвуковых частот от 20 до 200 кГц. На входном канале установлен дроссель, регулирующий давление подачи рабочей жидкости. Экспериментальный

стенд работает следующим образом: запускается мотор-редуктор, который осуществляет пуск насоса, насос, в свою очередь, начинает прокачивать масло ТАД17-И через каналы, выходной канал возвращается в бак с маслом, что представляет собой типовую гидравлическую систему. По ходу эксперимента дроссель, расположенный на входном канале, регулировался до создания нагрузки величиной 0,2-0,4 МПа, также регулировалась угловая скорость вращения вала мотор-редуктора в зависимости от положения переключателя, которые составляли величины, равные 30,89; 35,34; 40,97; 47,12; 53,8; и 60,2 (рад/с), что соответствует положениям переключателя 1; 3; 5; 7; 9; и 11. Замер скоростей осуществлялся с помощью тахометра часового типа ТЧ10-Р.

Первым этапом проводилась пробная серия опытов для подтверждения точности измерений по методике из пункта 3.1, при подстановке значений в формулу 3.1, выражение приняло вид (формула 3.3):

$$4 \geq \left(\frac{0,707107 \cdot 3,1824463}{9 \cdot 0,15} \right)^2 \rightarrow 4 \geq 2,77859 \quad (3.3)$$

Таким образом, минимальное значение количества опытов равное 4 обеспечивает достоверность результатов с доверительной вероятностью 0,95.

На втором этапе эксперимент проводился на чистом масле с целью получения эталонных значений. На экспериментальном стенде (рисунок 3.1) осуществлялась регистрация звукового сигнала в акустическом диапазоне частот от 20 до 300 кГц при угловых скоростях вала мотор-редуктора, которые были определены на первом этапе эксперимента (30,89; 35,34; 40,97; 47,12; 53,8; и 60,2 рад/с) как на холостом ходу, так и при нагрузке 0,2-0,4 МПа, регулируемой на дросселе шестеренного насоса НШ-10.

На третьем этапе масло загрязнялось абразивными частицами в виде белого электрокорунда зернистости (фракцией) М40 (ГОСТ 3647-80) постепенно достигая загрязнения рабочей жидкости по классу чистоты 10; 11; 12; 13 (ГОСТ 17216-2021). В процессе эксперимента жидкость проходила по трубкам через насос при угловых скоростях, указанных выше, на холостом ходу и при нагрузке 0,2-0,4 МПа и в этот момент регистрировался сигнал.

Заключительный этап эксперимента был аналогичен третьему этапу при отличном размере фракций абразивных частиц (100 мкм), который также добавляли в чистое масло постепенно достигая загрязнения рабочей жидкости по классу чистоты 10; 11; 12; 13 (ГОСТ 17216-2021).

В качестве результатов исследования сравнивались полученные значения акустико-эмиссионного сигнала полученные при нагрузке, в частности его приведенного интегрального показателя, на чистой гидравлической жидкости и на загрязненной гидравлической жидкости частицами 40 мкм и 100 мкм, при достижении загрязнения различного класса чистоты 10; 11; 12; 13 соответственно (рисунок 3.2-3.5).

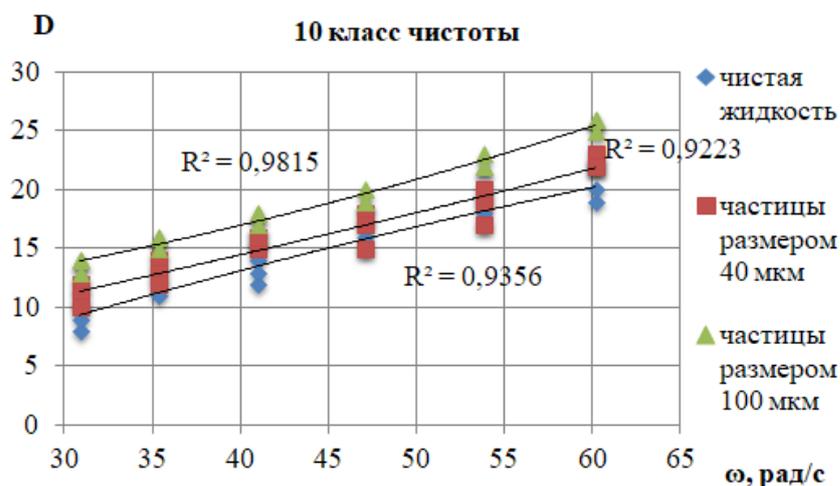


Рисунок 3.2 – Зависимость интегрального показателя трения от скорости вала мотор-редуктора при загрязнении гидравлической жидкости частицами электрокорунда фракциями 40 и 100 мкм, достигшей 10 класса чистоты по уровню загрязнения гидравлической жидкости (составлено автором)

Полученные значения при 10 классе чистоты были аппроксимированы квадратичной функцией:

1) чистая гидравлическая жидкость (3.4):

$$D = -0,0021w^2 + 0,5588w - 5,9387, R^2=0,9356, \quad (3.4)$$

где D – интегральный показатель трения;

w – угловая скорость мотор-редуктора, рад/с;

R^2 – коэффициент детерминации.

2) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 100 мкм (3.5):

$$D = 0,0031w^2 + 0,1088w + 7,6118 \quad R^2=0,9815 \quad (3.5)$$

3) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 40 мкм (3.6):

$$D = 0,0009w^2 + 0,2762w + 1,9779, \quad R^2=0,9223 \quad (3.6)$$

Аналогично сравнивались результаты при достижении 11, 12 и 13 класса чистоты (рисунок 3.3-3.5). Аппроксимированные функции для 11 класса чистоты имеют вид:

1) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 100 мкм (3.7):

$$D = -0,0039w^2 + 1,5937w - 29,693, \quad R^2 = 0,9853 \quad (3.7)$$

2) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 40 мкм (3.8):

$$D = -0,0004w^2 + 1,1045w - 20,059, \quad R^2 = 0,9818 \quad (3.8)$$

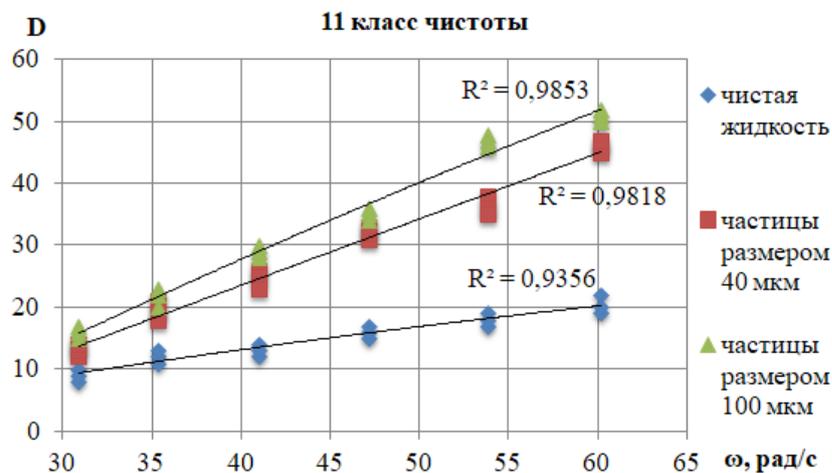


Рисунок 3.3 – Зависимость интегрального показателя трения от скорости вала мотор-редуктора при загрязнении гидравлической жидкости частицами электрокорунда фракциями 40 и 100 мкм, достигшей 11 класса чистоты по уровню загрязнения гидравлической жидкости (составлено автором)

Аппроксимированные функции для 12 класса чистоты имеют вид:

1) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 100 мкм (3.9):

$$D = -0,0133w^2 + 2,4793w - 46,708, \quad R^2 = 0,9838 \quad (3.9)$$

2) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 40 мкм (3.10):

$$D = -0,0177w^2 + 2,8492w - 47,344, \quad R^2 = 0,9881 \quad (3.10)$$

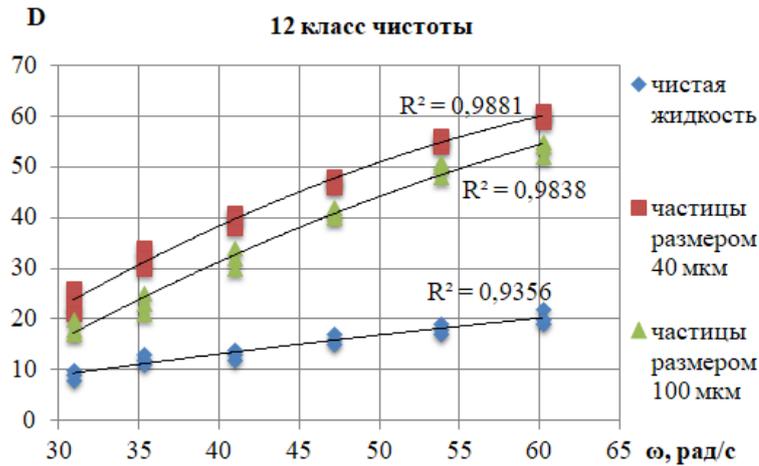


Рисунок 3.4 – Зависимость интегрального показателя трения от скорости вала мотор-редуктора при загрязнении гидравлической жидкости частицами электрокорунда фракциями 40 и 100 мкм, достигшей 12 класса чистоты по уровню загрязнения гидравлической жидкости (составлено автором)
Аппроксимированные функции для 13 класса чистоты имеют вид:

1) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 100 мкм (3.11):

$$D = -0,0035w^2 + 1,895w - 30,869, R^2 = 0,9661 \quad (3.11)$$

2) при загрязнении жидкости частицами загрязнения 40 мкм (3.12):

$$D = -0,0058w^2 + 2,161w - 33,583, R^2 = 0,9883 \quad (3.12)$$

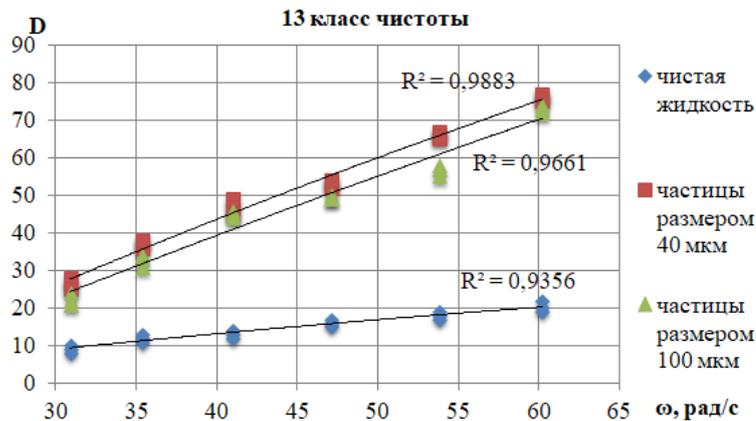


Рисунок 3.5 – Зависимость интегрального показателя трения от скорости вала мотор-редуктора при загрязнении гидравлической жидкости частицами электрокорунда фракциями 40 и 100 мкм, достигшей 13 класса чистоты по уровню загрязнения гидравлической жидкости (составлено автором)

После построения графиков видна тенденция роста показателя D акустико-эмиссионного сигнала с повышением загрязненности масла гидравлической

трансмиссии, при сравнении значений на одинаковых скоростях. Ярко выражена тенденция роста значения сигнала акустической эмиссии при высоких скоростях вращения мотор-редуктора. Тем самым, проведенный эксперимент подтверждает предположение о том, что с повышением загрязненности рабочей жидкости трансмиссии будет увеличиваться величина показателя D акустико-эмиссионного сигнала. Разница значений интегрального показателя D акустико-эмиссионного сигнала при разных размерах абразива при нагрузке незначительна, это говорит о том, что величина абразива не влияет на показатель акустико-эмиссионного сигнала при приложении нагрузки. Тогда, зависимость изменения сигнала акустической эмиссии от класса чистоты гидравлической жидкости при значениях на максимальной скорости мотор-редуктора и загрязнением частиц 40 мкм можно представить с помощью графика (рисунок 3.6).

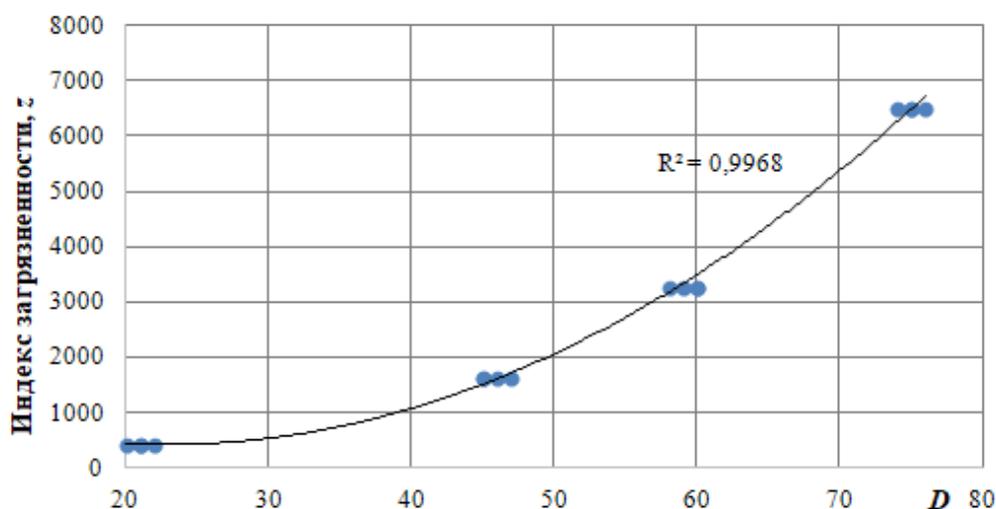


Рисунок 3.6 – Зависимость индекса загрязненности гидравлической жидкости от величины интегрального показателя трения (составлено автором)

При этом, необходимо класс чистоты, как качественный показатель, перевести в количественный, который представляет собой индекс загрязненности, рассчитываемый по формуле (2.6) из главы 2. Тогда, функциональная зависимость примет вид (формула 3.13):

$$z = -2,239 D^2 - 102,89 D + 1600,6 \quad (3.13)$$

Учитывая тот факт, что предложенный способ достаточно чувствителен к изменению степени загрязнения рабочей жидкости гидравлической системы,

осуществление контроля коэффициента готовности гидравлической системы механизма шагания мостовой платформы возможно посредством величины акустико-эмиссионного сигнала в диапазоне частот от 20 до 300 кГц с достаточной для практики точностью. При интерпретации полученных значений параметра акустической эмиссии по зависимостям, представленным в главе 2 возможно оценить уровень коэффициента готовности в процессе эксплуатации гидравлической системы. Для реализации такого метода предложено устройство для оценки загрязненности рабочей жидкости трансмиссии (Патент № 2739147) [96].

3.2.2 Физическое моделирование положения полой опоры в зависимости от объема балласта

Целью эксперимента являлось определение крена модели опоры в виде цилиндрической оболочки с балластом из сосредоточенного груза и жидкостного балласта при его погружении для подтверждения адекватности алгоритма функционирования опор механизма перемещения.

Реализация поставленной цели достигалась путем решения задачи, заключающейся в определении угла наклона опоры в зависимости от уровня жидкости внутри нее. Оборудование и материалы, необходимые для проведения экспериментального исследования представлены в таблице 3.2.

Для обеспечения заданной точности и надежности измерений при проведении совокупности повторных опытов было определено минимальное значение опытов, при заданной допустимой погрешности измерений k_i , равной 0,03 (3%), доверительной вероятности 0,95 по формуле 3.14:

$$3 \geq \left(\frac{0,108012345 \cdot 4,3026527}{16,3 \cdot 0,03} \right)^2 \rightarrow 3 \geq 0,9 \quad (3.14)$$

Таблица 3.2 – Перечень необходимых материалов и оборудования для проведения эксперимента (составлено автором)

№ п/п	Вид материала/оборудования
1.	Болотная вода 15 л
2.	Аквариум из ПВХ объем 18 л, проверки не требует

Продолжение таблицы 3.2

№ п/п	Вид материала/оборудования
3.	Модель опоры $D = 30 \times 26$ мм, $L = 0,5$ м, материал: стекло органическое ГОСТ 10667-90, поверки не требует
4.	Балластный груз, плотность 7200 кг/м, $m = 10,2$ г, поверки не требует
5.	Шприц 10 мл ГОСТ ISO 7886-1-2011, приобретены 15.03.2023, поверки не требует
6.	Видеокамера <i>iPhone 11 pro</i> , поверки не требует
7.	Электронные весы <i>JBH</i> , цена деления 0,01 г, погрешность 0,005 г, приобретены 15.03.2023, поверки не требует

Проводились серии экспериментов, суть которых заключалась в пошаговом наполнении водой (по 2 мл) моделей опор до достижения вертикального положения ($\alpha = 90^\circ$). Жидкость внутрь опоры закачивалась с помощью шприца через созданное отверстие в верхней крышке модели опоры. На протяжении всего эксперимента проводилась видеозапись для дальнейшей фиксации положений модели опоры. Далее полученные кадры интегрировались в ПО *SolidWorks* для определения угла наклона модели опоры. Эксперимент проводился на моделях опор с диаметром $D = 30$ мм и длинами $H = 90$ мм, $H = 120$ мм, $H = 150$ мм, $H = 180$ мм.

В силу того, что принцип погружения опоры не изменяется, на рисунке 3.7 представлено изменение положения модели опоры в зависимости от объема жидкости внутри цилиндра при длине опоры $H = 90$ мм, которая является эталоном модели опоры, так как ее соотношение к диаметру 1:3 является рациональным для обеспечения стабильности и равновесия конструкции, а также обеспечивает энергоэффективное погружение опоры, так как для достижения вертикального положения требуется минимальный объем жидкостного балласта, в сравнении с другими моделями опор.

При проведении серии опытов были получены значения, результаты которых были сведены к среднему значению, визуализация полученных результатов представлена в виде графиков на рисунках 3.8-3.11.

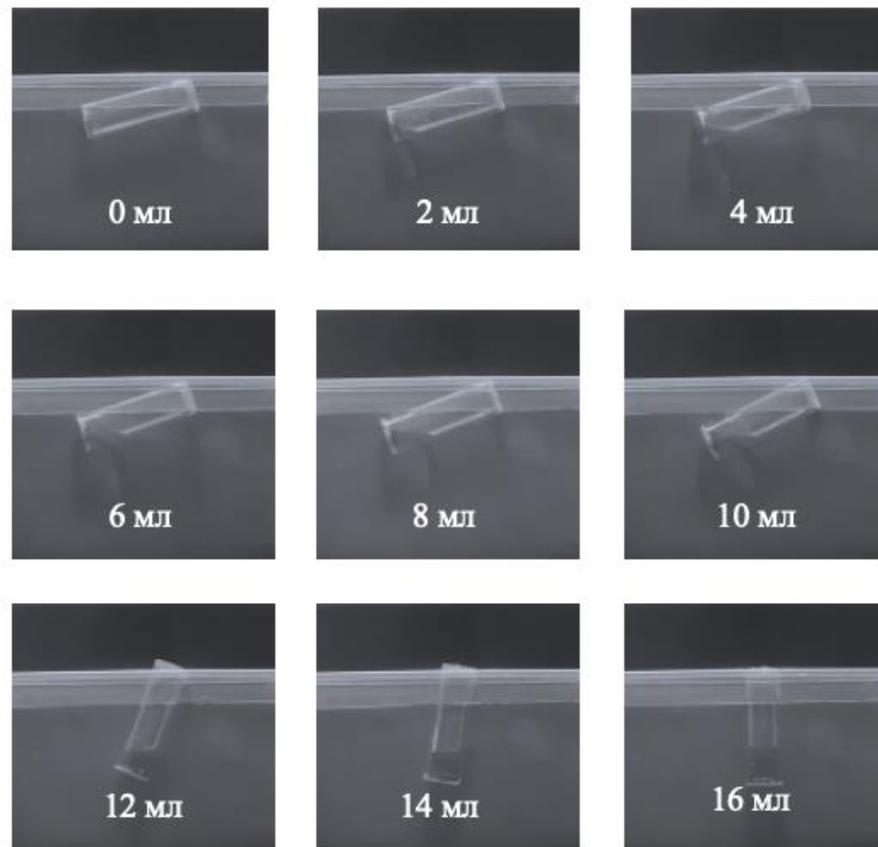


Рисунок 3.7 – Положение модели опоры в зависимости от объема внутреннего балластного нагружения (составлено автором)

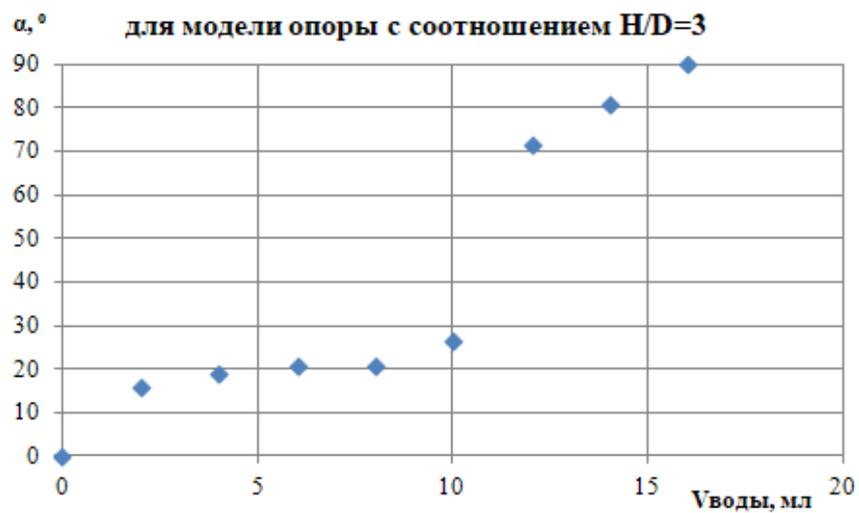


Рисунок 3.8 – Изменение крена модели опоры в зависимости от объема балласта для образца с соотношением $H/D = 3$ (составлено автором)

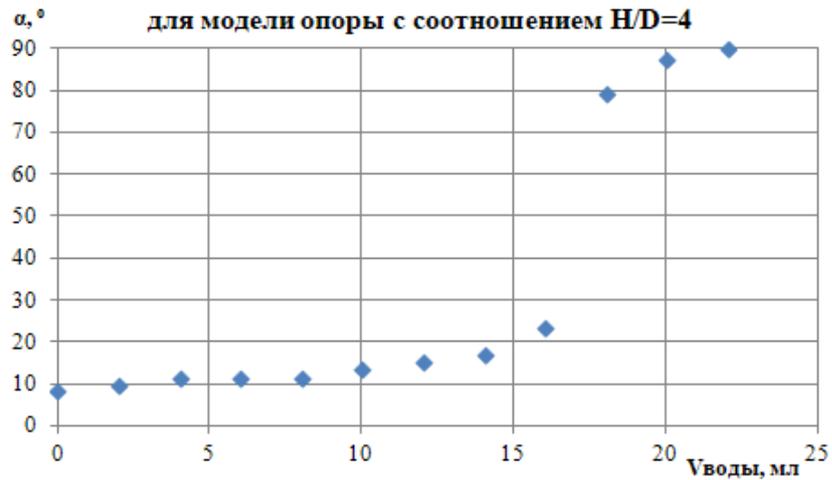


Рисунок 3.9 – Изменение крена модели опоры в зависимости от объема балласта для образца с соотношением $H/D = 4$ (составлено автором)



Рисунок 3.10 – Изменение крена модели опоры в зависимости от объема балласта для образца с соотношением $H/D = 5$ (составлено автором)



Рисунок 3.11 – Изменение крена модели опоры в зависимости от объема балласта для образца с соотношением $H/D = 6$ (составлено автором)

Из графиков видна тенденция резкого изменения угла наклона модели опоры, что объясняется увеличением величины метацентрической высоты относительно центра тяжести модели опоры, такое условие обеспечивает остойчивость (способность объекта, находящегося в воде и выведенного из положения равновесия, возвращаться в положение равновесия после прекращения этого воздействия) модели. Остойчивость достигается за счет определенного объема жидкости внутри модели опоры.

Для верификации разработанной математической модели, необходимо сравнить данные, полученные в ходе ее решения и экспериментальные данные (рисунок 3.12-3.15).

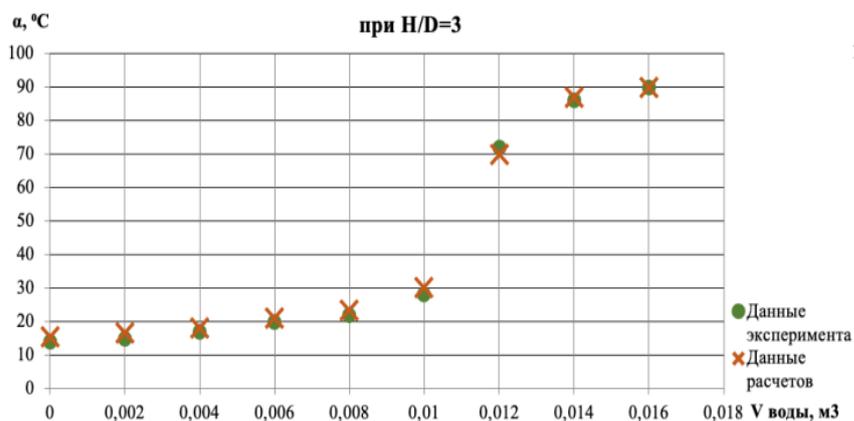


Рисунок 3.12 – Сравнение результатов математической модели и экспериментальных данных для образца с соотношением $H/D = 3$ (составлено автором)

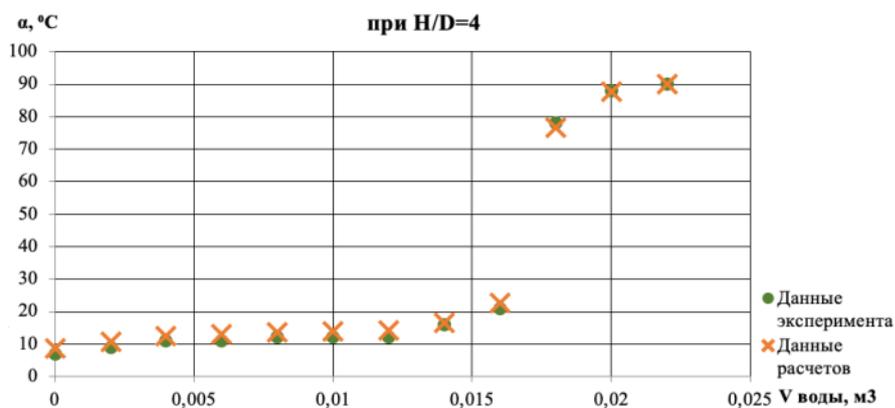


Рисунок 3.13 – Сравнение результатов математической модели и экспериментальных данных для образца с соотношением $H/D = 4$ (составлено автором)

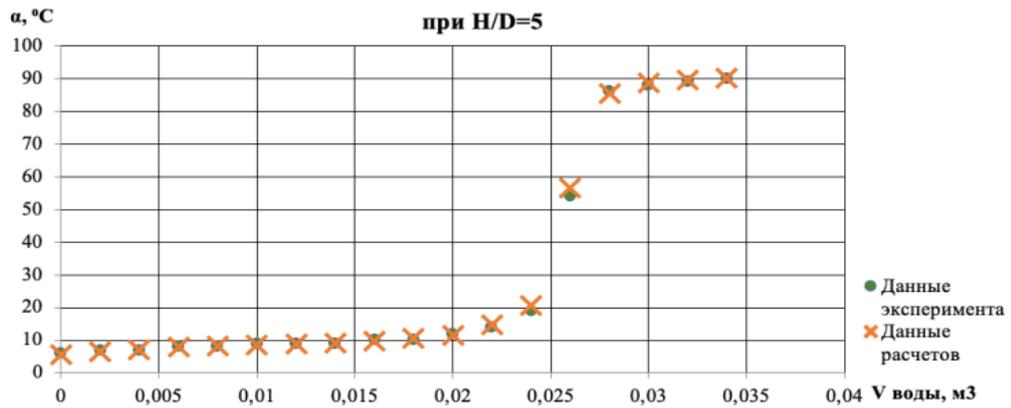


Рисунок 3.14 – Сравнение результатов математической модели и экспериментальных данных для образца с соотношением $H/D = 5$ (составлено автором)

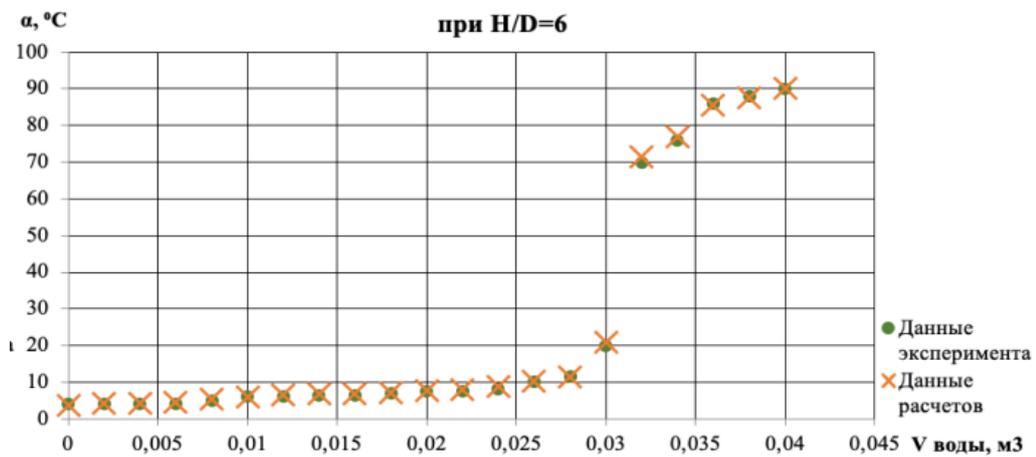


Рисунок 3.15 – Сравнение результатов математического моделирования и экспериментального исследования (составлено автором)

Разработанная математическая модель определения необходимого внутреннего балласта для регулирования плавучести и крена опор в сравнении с натурным экспериментом дает достаточную сходимость (разница составляет не более 3%).

Для определения необходимого объема для установления устойчивости модели по полученным данным была найдена зависимость, представленная на рисунке 3.16.

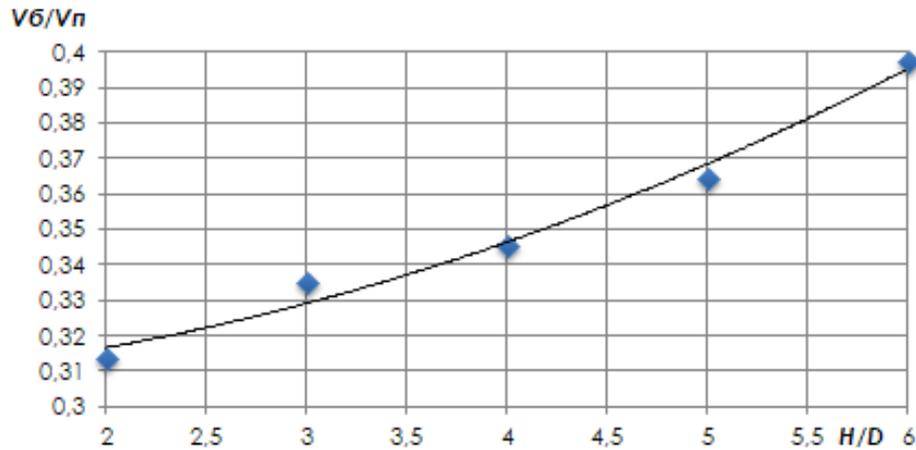


Рисунок 3.16 – Зависимость между соотношением полного объема опоры и объема балласта и соотношением высоты опоры и ее диаметра

(составлено автором)

Данную зависимость можно выразить уравнением 3.15, по которой возможно определение необходимого объема внутренней жидкости для установления положения близкого вертикальному для реальной опоры.

где V_b – объем балластной жидкости, м³;

$$V_b = V_n \cdot 10^3 \left(2,4 \frac{H^2}{D^2} - 0,5 \frac{H}{D} + 306 \right), \quad (3.15)$$

V_n – общий объем опоры, м³;

H – высота опоры, м;

D – диаметр опоры, м.

Таким образом, применение разработанного алгоритма, позволит осуществлять подбор параметров реальных опор и рассчитывать необходимое балластное нагружение для обеспечения требуемого крена опоры, при учете массы сосредоточенного груза и параметров опоры.

3.2.3 Исследования по оценке сопротивления сдвигу торфяной залежи выбранного месторождения

Целью эксперимента является определение несущей способности торфяной залежи ненарушенной структуры посредством оценки сопротивления на сдвиг.

Исследование проводилось в Ломоносовском районе Ленинградской области на месторождении Заозерское (рисунок 3.17) (от г. Ломоносова на ЮЗ – 40 км, от ст. Копорье на ЮЗ – 6 км), характеристика которой представлена в таблице 3.3.



Рисунок 3.17 – Торфяное месторождение Заозерское (составлено автором)

Таблица 3.3 – Характеристика торфяной залежи на участке испытаний (составлено автором)

Тип торфа	Верховой
Площадь месторождения	416 га
Средняя глубина залежи	3,81 м
Балансовые запасы	2179 тыс. т
Степень разложения	19 %
Пнистость	0,1 %
Зольность	2,4 %

В силу того, что лабораторные исследования, связанные со свойствами торфяной залежи, не учитывают специфики ее залегания и структуры, что в свою очередь отражается на высокой погрешности измерений, необходимо проводить полевые испытания для более объективных экспериментальных результатов. Наиболее распространенная методика оценки механических свойств торфяной залежи (как слабого грунта) является метод вращательного среза, реализация которого осуществлялась с применением сдвигомера-крыльчатки СК-10.

Перед проведением исследования проводилась градуировка прибора с различными степенями нагрузок (таблица 3.4). Было выполнено три испытания на при каждом значении нагрузки.

Таблица 3.4 – Градуировка сдвигомера-крыльчатки СК-10 (составлено автором)

$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\Delta l_1, \text{дел}$	$\Delta l_2, \text{дел}$	$\Delta l_3, \text{дел}$	$\Delta l_{\text{ср}}, \text{дел}$
10	25	24	26	26
20	53	54	55	54
30	80	80	79	80
40	105	104	106	106
50	134	133	132	133

По итогам градуировки был построен график изменения деформации упругой пластины $\Delta l_{\text{ср}}$ от величины прилагаемой нагрузки M (момента) (рисунок 3.18), результат имеет линейную зависимость.

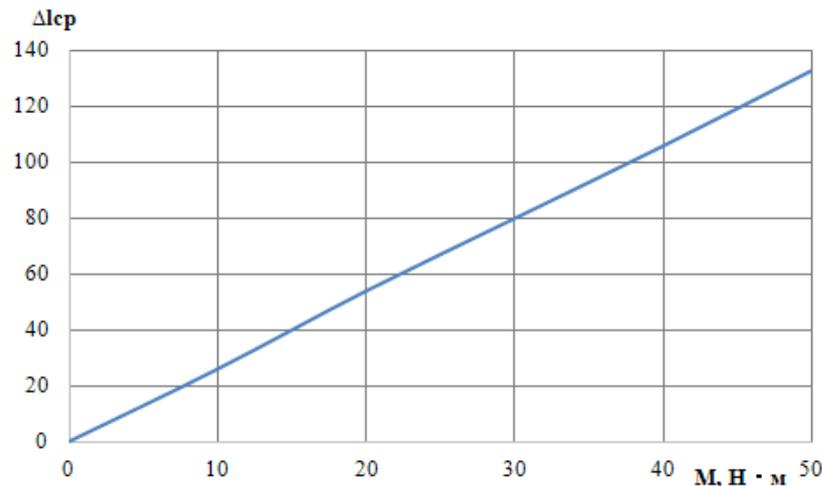


Рисунок 3.18 – Зависимость изменения деформации упругой пластины $\Delta l_{\text{ср}}$ от момента M (составлено автором)

Угол наклона прямой по отношению к оси абсцисс является постоянной упругой пластины n , которая находится по формуле (3.16).

$$n = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta l_{\text{ср}}}{M}, \quad (3.16)$$

где $\Delta l_{\text{ср}}$ – деформация упругой пластины, дел;

M – нагрузка, Н.

Таким образом, постоянная упругой пластины $n = 2,6$ дел/Н.

Расчета сопротивления залежи проводился на основании методики, представленной в разделе 1.1 первой главы, по результатам которой постоянная крыльчатки K равна $0,005 \text{ м}^3$.

Крыльчатку погружали поэтапно на заданную глубину по $0,1 \text{ м}$ и проводили измерения на расстоянии между точками $1,5 \text{ метра}$ (рисунок 3.19). Согласно ГОСТ

20522-96 «Грунты. Метод статистической обработки результатов испытаний» осуществляют не менее 9 параллельных измерений.



Рисунок 3.19 – Процесс погружения сдвигомера-крыльчатки СК-10
(составлено автором)

При проведении испытаний были получены следующие значения изменения деформации упругой пластины (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Полученные значения в ходе испытаний (составлено автором)

Глубина погружения h , м	Δl_{1-3} , дел	Δl_{4-6} , дел	Δl_{7-9} , дел	Δl_{10-12} , дел
0,1	23	24	16	17
	16	20	21	18
	20	19	22	23
0,2	20	22	23	25
	23	21	25	23
	25	26	20	27
0,3	27	28	26	25
	25	25	23	23
	24	25	21	25
0,4	30	30	28	27
	27	31	27	29
	27	29	26	30
0,5	33	34	33	32
	32	31	32	30
	30	33	33	34

Продолжение таблицы 3.5

0,6	35	33	36	34
	35	36	35	33
	33	35	37	35
0,7	26	20	21	23
	24	22	23	24
	23	24	25	26
0,8	20	24	23	23
	24	24	22	21
	22	22	24	20
0,9	19	20	18	22
	20	19	21	21
	21	22	23	19
1,0	17	19	18	18
	14	15	15	17
	18	16	17	16

При расчете сопротивления сдвигу результаты сведены в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты сопротивления сдвигу (составлено автором)

Глубина погружения h , м	τ_{1-3} , кПа	τ_{4-6} , кПа	τ_{7-9} , кПа	τ_{10-12} , кПа
0,1	17,69	18,46	12,31	13,08
	12,31	15,38	16,15	13,85
	15,38	14,62	16,92	17,69
0,2	15,38	16,92	17,69	19,23
	17,69	16,15	19,23	17,69
	19,23	20,00	15,38	20,77
0,3	20,77	21,54	20,00	19,23
	19,23	19,23	17,69	17,69
	18,46	19,23	16,15	19,23
0,4	23,08	23,08	21,54	20,77
	20,77	23,85	20,77	22,31
	20,77	22,31	20,00	23,08
0,5	25,38	26,15	25,38	24,62
	24,62	23,85	24,62	23,08
	23,08	25,38	25,38	26,15
0,6	26,92	25,38	27,69	26,15
	26,92	27,69	26,92	25,38
	25,38	26,92	28,46	26,92

Продолжение таблицы 3.6

0,7	20,00	15,38	16,15	17,69
	18,46	16,92	17,69	18,46
	17,69	18,46	19,23	20,00
0,8	15,38	18,46	17,69	17,69
	18,46	18,46	16,92	16,15
	16,92	16,92	18,46	15,38
0,9	14,62	15,38	13,85	16,92
	15,38	14,62	16,15	16,15
	16,15	16,92	17,69	14,62
1,0	13,08	14,62	13,85	13,85
	10,77	11,54	11,54	13,08
	13,85	12,31	13,08	12,31

В силу того, что физико-механические свойства торфяных месторождений одного и того же пласта непостоянны из-за его естественной неоднородности и изменения геологических условий. Для получения наиболее достоверных значений нормативных и расчетных характеристик по ограниченному числу испытаний в различных точках пласта прибегают к статистической обработке данных, полученных в ходе исследований.

Для выявления грубых ошибок необходимо удовлетворение условию (3.17):

$$t_{\text{пр}} = \frac{k_t \bar{a}}{\sigma} \geq t_{\text{пр}} = \frac{t}{\sqrt{f+1}}, \quad (3.17)$$

где $t_{\text{пр}}$ – расчетное значение критерия Стьюдента;

$t_{\text{пр}}$ – табличное значение критерия Стьюдента;

f – число степеней свободы, равное $f = n - 1$, где n – количество опытов;

\bar{a} – среднее значение;

σ – среднее квадратическое отклонение измерений;

k_t – требуемая точность измерений в относительных единицах.

Среднее квадратическое отклонение сопротивления сдвигу рассчитывается по формуле (3.18):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\tau_1 - \bar{\tau})^2 + \dots + (\tau_n - \bar{\tau})^2}{n}}, \quad (3.18)$$

где τ_n – величина сопротивления сдвигу, полученная в ходе испытаний, кПа;

n – количество измерений, шт..

После проведенных расчетов расчетные значения критерия Стьюдента при требуемой точности измерений равной 3% на каждой глубине погружения сведены в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Расчетное значение критерия Стьюдента (составлено автором)

Глубина погружения h , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$t_{пр}$	0,225	0,317	0,416	0,549	0,745	0,845	0,401	0,467	0,425	0,349

При сравнении полученного расчетного значения критерия Стьюдента с табличными данными распределения Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и количестве определений $n = 12$ (таблица 3.8), полученные результаты имеют значение меньшее, относительно табличного, что говорит о достаточной надежности измерений и об отсутствии грубых ошибок.

Таблица 3.8 – Табличные значения критерия Стьюдента [11, 37, 128]

Число степеней свободы $f = n - 1$	n	Доверительная вероятность			
		0,9	0,95	0,99	0,999
1	2	6.3137515148	12.7062047364	63.6567411629	636.619249432
...
9	10	1.83311293265	2.26215716274	3.24983554402	4.78091258593
10	11	1.81246112281	2.22813885196	3.16927266718	4.5868938587
11	12	1.7958848187	2.20098516008	3.10580651322	4.43697933823
12	13	1.78228755565	2.17881282966	3.05453958834	4.31779128361

Исходя из того, что полученные значения обладают достаточной надежностью значения сопротивления сдвигу были приведены к среднему значению (таблица 3.9) для последующего получения графического отображения результатов (рисунок 3.20).

Таблица 3.9 – Среднее значение сопротивления сдвигу в зависимости от глубины погружения крыльчатки (составлено автором)

H , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\tau_{ср}$, кПа	15,32	17,95	19,04	21,86	24,81	26,73	18,01	17,24	15,71	12,82

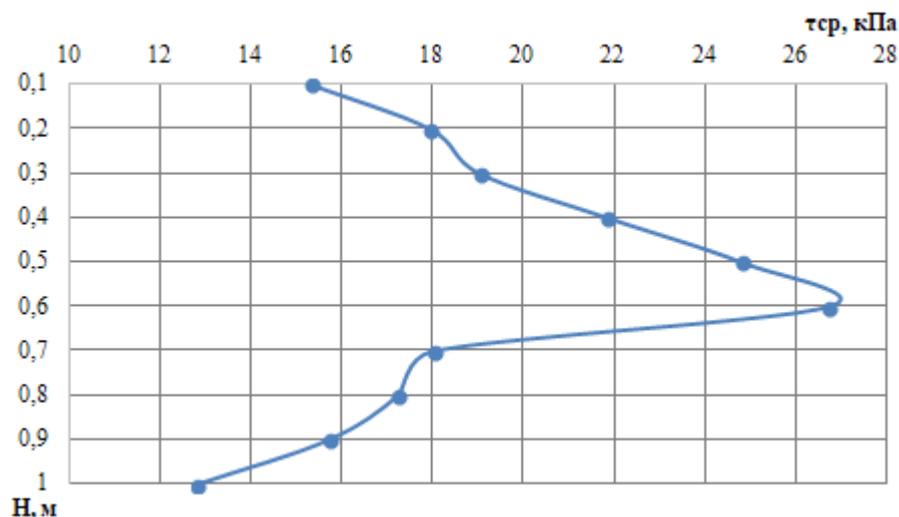


Рисунок 3.20 – Изменение сопротивления сдвигу сдвигомера-крыльчатки СК-10 от глубины залегания торфяной залежи (составлено автором)

Отмечается рост величины сдвигающего усилия по кривой до максимального значения при глубине залегания 0,6, а затем уменьшение данной величины. Это связано с особенностями торфяной залежи, так как при глубине большей 1 м величина сопротивления сдвигу принимает постоянные значения.

3.3 Выводы по Главе 3

1. Экспериментально установлена зависимость акустико-эмиссионного сигнала от степени загрязнения гидравлической жидкости твердыми частицами. Аппроксимация данных квадратичными функциями ($R^2 > 0,92$) подтвердила рост интегрального показателя трения D с увеличением класса чистоты жидкости, особенно при высоких угловых скоростях (до 60,2 рад/с). Размер частиц (40 или 100 мкм) не оказывает существенного влияния на сигнал, что позволяет использовать акустическую эмиссию в диапазоне 20–300 кГц в качестве надежного диагностического инструмента для мониторинга коэффициента готовности гидросистем. На основании проведенного исследования предложено устройство (патент на изобретение № 2739147, Приложение В), обеспечивающее практическую реализацию метода.

2. Установлено, что объем водного балласта определяется соотношением H/D , причем минимальный расход жидкости достигается при $H/D = 3$. Разработанная математическая модель показала высокую сходимость с

экспериментальными данными (погрешность $< 3\%$), что позволяет прогнозировать объем балласта для реальных опор с учетом сосредоточенных грузов.

3. Полевые испытания сдвигомером-крыльчаткой СК-10 и статистическая обработка данных подтвердили отсутствие грубых погрешностей, а также на основании исследования выявлено неоднородность свойств по глубине: максимум сопротивления на 0,6 м с последующим снижением, что является нормой в сравнении с теоретическими исследованиями сопротивления сдвигу в работах ученых.

ГЛАВА 4 РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОСТОВОЙ ПЛАТФОРМЫ

4.1 Конструкция мостовой платформы для освоения территорий торфяных месторождений

Техническое решение «Мостовая плавучая платформа» [98] (рисунок 4.1) подтверждено патентом Российской Федерации (патент на изобретение №2807666, Приложение Б) и служит базовым элементом для размещения комплекса оборудования (АЭТЦ ГО), позволяя осуществлять освоение торфяного месторождения посредством оборудования, находящегося на платформе.

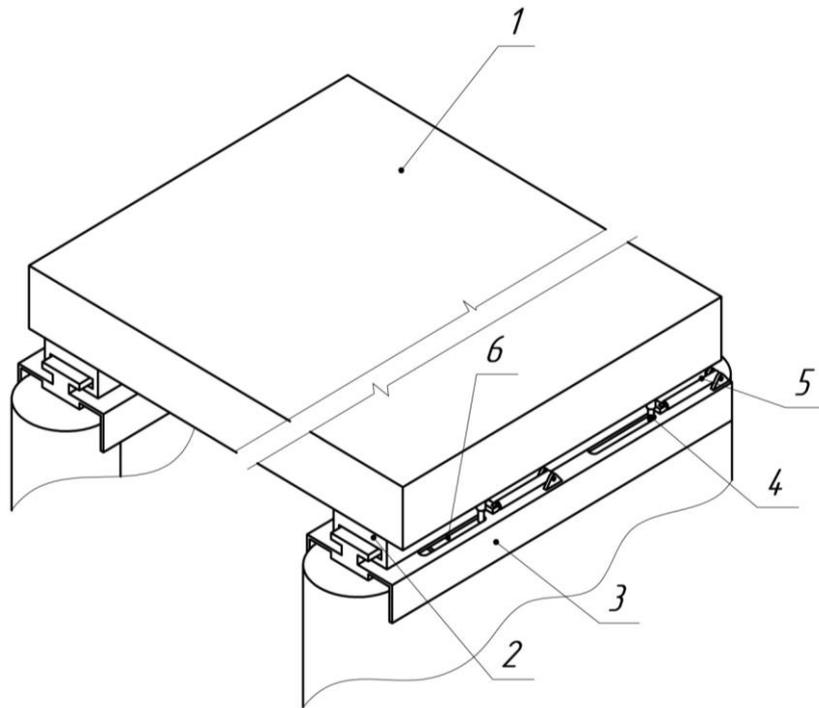


Рисунок 4.1 – Техническое решение «Мостовая плавучая платформа»: 1 – платформа; 2 – направляющая платформы; 3 – основание; 4 – гидравлические домкраты; 5 – гидравлические цилиндры перемещения; 6 – опорная лыжа (составлено автором)

Платформа 1 – основная рабочая поверхность для размещения оборудования. Направляющая платформы 2 – жесткий профиль в виде скобы, который шарнирно соединен с платформой 1 для обеспечения поворота платформы 1 относительно основания 3. Основание 3 – элемент динамического соединения опорных конструкций с платформой 1 через направляющую платформу 2, причем

основание 3 имеет степень свободы 2 и по обе стороны на ней расположены отверстия для гидравлических домкратов 4, жестко соединенных с опорной лыжей 6, а также крепежные элементы для гидравлических цилиндров перемещения 5. Гидравлические домкраты 4 – вертикальные подъемные механизмы для регулирования высоты платформы 1 над основанием 3 для обеспечения перемещения основания 3 над опорной конструкцией. Гидравлические цилиндры перемещения 5 – механизмы для горизонтального движения платформы вдоль направляющей платформы 2. Опорная лыжа 6 – широкая плоская опора для увеличения площади контакта с опорными конструкциями, обеспечивая распределение нагрузки платформы на опорное основание в процессе перемещения. Опорные конструкции вариативны (вертикальные или горизонтальные плавучие опоры, винтовые сваи), что обеспечивает применение платформы на торфяных месторождениях разного типа, в том числе, на сильнообводненных залежах, при условии, что опоры временно осуществляется расширение функциональных возможностей мостовой платформы. Сама конструкция в виде моста обеспечивает возможность применения базовой техники с ее поверхности.

В качестве агрегатов располагаемых на платформе необходимо установить:

- гидроманипуляторы (устанавливаются два гидроманипулятора на противоположных сторонах платформы, направленные также в противоположные стороны и предназначенные для выполнения основных технологических операций);

- дизель-генераторная станция (ДГС) (является центральным источником электрической энергии на платформе и предназначен для питания гидроманипуляторов и вспомогательных агрегатов платформы);

- гидравлические станции механизма перемещения (необходимы две гидростанции, расположенные вблизи механизма перемещения по обе стороны платформы, обеспечивающие работу гидравлического оборудования механизма перемещения).

При принятом виде гидроманипуляторов, в частности, гидроманипулятор гидравлического экскаватора *UMG E225C* без двигателя ДВС и ходовой тележки (в силу стационарного закрепления на платформе) характеристики единицы оборудования будут следующими (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Технические характеристики единицы грузоподъемного оборудования (гидроманипулятора гидравлического экскаватора *UMG E225C*) [107]

Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Мощность двигателя	кВт	132
Рабочий цикл поворотной платформы	с	13,5
Длина стрелы	м	5,7
Длина рукояти	м	2,92
Емкость ковша	м ³	1
Максимальная глубина копания	м	6,87
Максимальный радиус копания	м	10,19
Максимальная высота копания	м	9,75
Максимальная высота выгрузки	м	6,9
Длина без оборудования	м	2,5
Ширина	м	3
Высота кабины	м	2
Масса	кг	10000

Для определения потребной мощности гидравлической станции учитывались характеристики гидравлического оборудования, в частности, гидравлических цилиндров в составе 8 единиц и гидравлических домкратов в составе 8 единиц. В качестве гидравлических цилиндров выбраны гидроцилиндры модели ГЦ 100.50.1000.1445.50, технические характеристики которых представлены в таблице 4.2, в качестве гидравлических домкратов – модель ДУ10Г100 производителя «Энерпром», технические характеристики представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Технические характеристики гидравлического цилиндра ГЦ 100.50.1000.1445.50 [18]

Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Максимальное рабочее давление	МПа	20
Номинальное давление	МПа	16
Ход штока	м	1
Диаметр поршня	м	0,1
Диаметр штока	м	0,05
Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Толкающее усилие	кН	154
Тянущее усилие	кН	116

Таблица 4.3 – Технические характеристики домкрата ДУ10Г100 [89]

Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Рабочее давление	МПа	70
Ход штока	м	0,1
Грузоподъемность	кг	10000
Габаритные размеры	м	0,06x0,203x0,254
Масса	кг	5,8

По рабочему давлению выбирается гидравлическая станция, которая обеспечила бы функционирование всего гидравлического оборудования. При условии, что гидравлические домкраты работают отдельно от гидравлических цилиндров (сначала осуществляется подъем платформы, затем ее горизонтальное перемещение), и синхронного перемещения гидравлических цилиндров и гидравлических домкратов, во избежание перекосов необходима гидравлическая станция серии СПС (системы синхронного подъема и перемещения) Максимальное рабочее давление в системе 70 МПа, поэтому рабочее давление гидравлической станции должно быть не менее 70 МПа. Одной из таких насосных станций является насосная станция серии 4НЭЭ-5, 0И100Т1-СПС производителя ООО «Механический Завод «Энерпром» - четырехпоточная насосная станция с электроприводом напряжением питания 380 В с чистотой тока 50 Гц с пятью трехпозиционными четырехлинейными гидрораспределителями с электромагнитным управлением, номинальное давление каждого потока 70 МПа, подача каждого потока 5 л/мин, вместимость бака 100 с системой синхронного подъема и перемещения, технические характеристики которой представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические характеристики насосной станции серии 4НЭЭ-5, 0И100Т1-СПС [89]

Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Рабочее давление	МПа	70
Напряжение насосной станции	В, Гц	380, 50
Подача при номинальном давлении	м ³ /с	8,3 · 10 ⁻⁵
Вместимость бака	м ³	0,1
Габаритные размеры	м	0,72x0,59x1,38
Масса	кг	232
Потребляемая мощность	кВт	10

Исходя из характеристик представленного оборудования, выбирается дизельная станция, которая питает гидроманипуляторы и насосные станции.

Мощность дизельной станции рассчитывается, исходя из суммарного потребления $P_{\text{сумм}}$ (4.1) равного 311 кВт и пусковой мощности $P_{\text{пуск}}$ (4.2) равной 892 кВт, которая может быть в 3-7 раз выше номинального значения.

$$P_{\text{сумм}} = \sum_{i=n} \frac{P_{\text{ном}i} \cdot k_{\text{п}}}{k_{\text{с}}} \cdot n, \quad (4.1)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность оборудования, Вт;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент потери мощности в сетях, 1,05;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на собственные нужды ДГС, 0,95..0,97;

n – количество источников.

$$P_{\text{пуск}} = \sum_{i=n} P_{\text{ном}} \cdot k_{\text{кр}} \cdot n, \quad (4.2)$$

где $k_{\text{кр}}$ – кратность пускового тока, 3...7.

Тогда номинальная мощность дизельного генератора должна составлять не менее 892 кВт, следовательно, допустимо применение дизельной станции номинальной мощностью 900 кВт, что характерно для модели ТСС АД-900С-Т400-1РМ26, технические характеристики которой представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Технические характеристики модели дизельной станции ТСС АД-900С-Т400-1РМ26 [32]

Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Мощность номинальная	кВт	900
Мощность максимальная	кВт	990
Коэффициент мощности	-	0,8
Напряжение	В	400/230
Частота	Гц	50
Габаритные размеры (ДхШхВ)	м	4,1x1,92x2,35
Масса	кг	7500

4.2 Навесное оборудование мостовой платформы

Техническое решение сменного оборудования гидроманипулятора «Ковш для экскавации и обезвоживания торфа» [100] подтверждено патентом Российской Федерации (№216019, Приложение Г) и способно производить первичное обезвоживание торфа непосредственно в процессе его добычи.

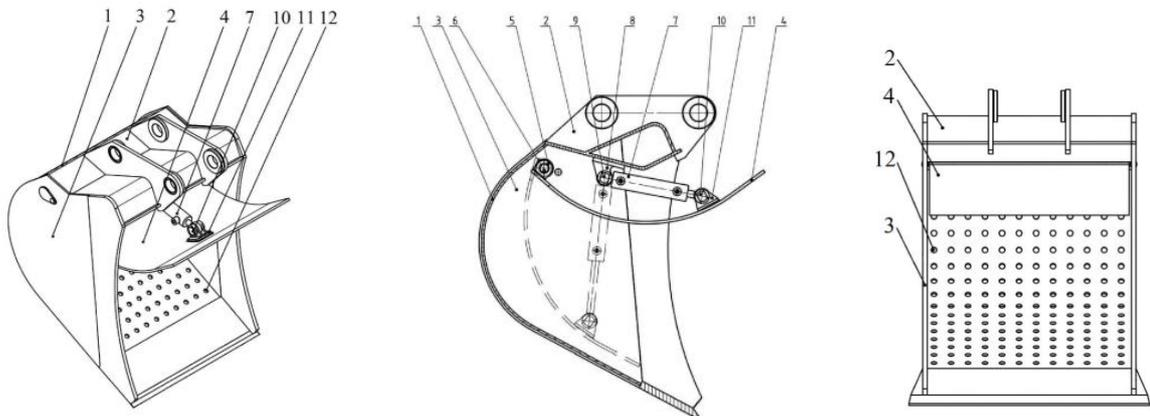


Рисунок 4.2 – Ковш для экскавации и обезвоживания торфа: 1 – днище; 2 – задняя стенка; 3 – боковина; 4 – прижимная плита; 5 – проушина; 6 – ось прижимной плиты; 7 – гидроцилиндр; 8 – кронштейн гидроцилиндра; 9 – ось гидроцилиндра; 10 – ось штока; 11 – кронштейн штока; 12 – перфорационные отверстия
(составлено автором)

Конструкция содержит следующие элементы: днище 1 – нижняя опорная поверхность, выполненная с перфорационными отверстиями 12; задняя стенка 2 – вертикальная плита, жестко соединенная с днищем; боковины 3 – параллельные стенки по бокам ковша, усиливающие конструкцию; проушина 5 с осью прижимной плиты 6, а также гидроцилиндр 7 и кронштейны гидроцилиндра 8 и штока 11 – соединительные элементы между прижимной плитой 4 и корпусом ковша, ось гидроцилиндра 9 и ось штока 10 – шарнирное крепление для обеспечения движения элементов гидроцилиндра.

Внутри ковша установлена прижимная плита 4, сама прижимная плита 4 закреплена с возможностью вращения вокруг оси прижимной плиты 6, которая проходит через проушины 5 жестко закрепленные на боковых поверхностях самой плиты и внутренних стенках ковша. На внутренней стенке ковша жестко установлен кронштейн гидроцилиндра 8, сам гидроцилиндр 7 соединен с кронштейном 8 шарнирно с кронштейном штока 11. При прессовании торфа прижимная плита 4 создает давление между самой плитой 4 и поверхностями ковша днищем 1, задней стенкой 2, боковинами 3. Прижимная плита 4 управляется посредством гидроцилиндра 7, который жестко соединен с задней стенкой 2 через ось гидроцилиндра 9 с возможностью движения вокруг нее. Ось штока 10 в свою

очередь жестко соединена с прижимной плитой 4 для управления прижимной плитой в процессе работы ковша.

Сам принцип работы ковша для предварительного обезвоживания следующий: экскавация торфяного сырья начинается при положении прижимной плиты 4 в верхней точке, после подъема ковша над поверхностью залежи ему придается ориентация, обеспечивающая горизонтальность днища 1, с помощью гидроцилиндра 7 прижимная плита 4 относительно оси 6 уплотняет торфяную массу внутри ковша с одновременным отжимом содержащейся в ней воды, при этом данная операция обезвоживания выполняется синхронно с перемещением ковша к месту разгрузки, затем совершается разгрузка за счет опрокидывания ковша, и ковш возвращается в стартовое положение для повторения цикла. Внедрение прижимной плиты 4, обеспечивающей механическое уплотнение торфяной массы и отжим влаги непосредственно в ковше, позволяет предложенному техническому решению сократить продолжительность стадии обезвоживания торфа и снизить энергоемкость всего процесса.

Для определения комплекта навесного оборудования необходимо учитывать целевое применение платформы, к примеру, для добычи торфяного сырья из неосушенной залежи, помимо ковша необходимо применение оборудования, за счет которого будет осуществляться перемещение платформы, в частности, оборудование для установки и демонтажа свай. Установка винтовых свай возможна с применением вибропогружателя, демонтаж с применением того же вибропогружателя, но в реверсивном режиме. В качестве сменного навесного оборудования для монтажа/демонтажа винтовых свай выбран гидробур *Delta RD12* (рисунок 4.3) со следующими техническими характеристиками (таблица 4.6).

Данное оборудование применимо для бурения скважин диаметром 150-1000 мм на глубину 3,5-7 м и более и закрепляется на рукояти гидроманипулятора с помощью адаптерной подвески.

Помимо гидроманипулятора, также необходим грейферный захват, с помощью которого реализуется транспортировка объектов, расположенных на платформе или на окружающей территории, в частности, пни, деревья, сваи и т.д.

Рисунок 4.3 – Гидробур модели *Delta RD12* [31]Таблица 4.6 – Технические характеристики гидробура модели *Delta RD12* [31]

Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Высота	м	0,883
Диаметр	м	0,29
Рабочее давление	МПа	8-24
Частота	рад/с	2,2-4,7
Крутящий момент	Н·м	4203-12610
Тип техники	-	Экскаватор
Масса базовой машины	кг	6000-10000
Масса	кг	162

Грейферный захват также возможен в перфорированном исполнении, что облегчит массу конструкции, а также позволит осуществлять предварительное обезвоживание торфяного сырья в случае его экскавации. В качестве подобного оборудования применим многофункциональный грейферный захват *MD120* (рисунок 4.4) с техническими характеристиками, представленными в таблице 4.7.

Рисунок 4.4 – Грейферный захват модели *MD120* [31]

Таблица 4.7 – Технические характеристики грейферного захвата модели MD120 [31]

Технические характеристики	Ед.изм.	Показатель
Ротация	°	360
Ширина закрытых челюстей	мм	1115
Масса базовой машины	кг	8000-16000
Поток масла в гидравлической системе	м ³ /с	$5 \cdot 10^{-4}$ - $7 \cdot 10^{-4}$
Поток масла на ротацию	м ³ /с	$8,3 \cdot 10^{-5}$ - $2,4 \cdot 10^{-4}$
Давление масла на ротацию	МПа	12
Масса	кг	162

Выбор навесного оборудования, как было сказано ранее, зависит от целевого применения платформы, от ряда работ, который оценивается на этапе проектирования освоения территорий. По этой причине, представлено только 3 вида типового оборудования, которое служит базой при освоении месторождения, остальной комплект оборудования носит опциональный характер.

4.3 Механизм шагания мостовой платформы

В главе 2 представлен механизм шагания мостовой платформы, Механизм шагания, в свою очередь, является основным элементом функционирования мостовой платформы [77, 80] с возможностью ее движения по территории торфяного месторождения. Данный механизм реализует пошаговое перемещение платформы между точками опоры. Его функционирование основано на работе гидравлического оборудования и включает следующие взаимосвязные элементы:

1) гидравлические домкраты: осуществляют вертикальный подъем/опускание платформы, штоки домкратов жестко связаны с опорной лыжей, которая, в свою очередь, контактирует со свайным базисом платформы (ключевая функция – создание зазора между направляющей платформы и опорной частью для подготовки к горизонтальному перемещению);

2) опорная лыжа: представляет собой конструкцию с увеличенной площадью контакта, передающую усилие от домкратов и распределяющую сосредоточенную нагрузку при подъеме на группу свай (ключевая функция – предотвращение перекосов свайного основания);

3) гидравлические цилиндры: обеспечивают горизонтальное перемещение приподнятой платформы относительно свайного базиса в заданном направлении на

ограниченное расстояние (шаг), при этом, один конец крепится к опорной части, второй – к направляющей платформы (ключевая функция – реализация «шага» платформы в новую позицию).

Стоит также учитывать, что количество домкратов, как и количество цилиндров равно 8, а также их специфику работы – синхронную активацию. Основные технические характеристики гидроцилиндров и домкратов представлены в таблице 4.2 и 4.3 соответственно.

Принцип реализации перемещения платформы с помощью данного механизма следующий. Первым этапом является подъем, при котором гидравлические домкраты выдвигаются, поднимая платформу с помощью опорную лыжи над опорной частью платформы. Вес платформы воспринимается лыжей и передается на сваи. Вторым этапом является шаг, реализующийся с применением гидроцилиндров перемещения, которые выдвигаются для сдвига опорной части вперед относительно неподвижной поднятой платформы с ее направляющей на установленную величину шага в новую точку. Третьим этапом является опускание платформы на направляющую и поднятие опорных лыж в стартовое положение (без контакта нижней поверхности элементов платформы). Четвертый этап заключается в сдвиге платформы по ходу ее движения за счет втягивания штоков гидравлических цилиндров, что приводит платформу в начальную позицию. Далее по завершении установленного ряда работ по освоению территории цикл повторяется снова.

Таким образом, представленный механизм шагания, основанный на синхронной работе гидравлических домкратов и цилиндров перемещения, является техническим решением, позволяющим перемещать мостовую платформу по свайному основанию на слабонесущих территориях, представляя доступ для базовой техники при выполнении работ.

Учитывая, что комплекс в процессе эксплуатации может находиться удаленно от ремонтной базы и при отказе гидравлической системы доставка к ремонтной базе будет трудноосуществима (так как перемещение будет

недоступно), необходимо осуществлять контроль над состоянием гидравлической системы и обеспечивать ее безотказную работу.

4.4 Предложения по диагностике гидравлических систем по величине акустико-эмиссионного сигнала

Для диагностики гидравлических систем разработано техническое решение «Устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий» [96] (рисунок 4.5) подтвержденное патентом Российской Федерации (№ 2739147, Приложение В), которое служит устройством для оценки загрязненности жидкости гидравлической системы [114, 119, 120], позволяя осуществлять мониторинг ее состояния с внедрением устройства в бортовую систему машины посредством экспресс-анализа гидравлической жидкости, что обеспечивает расширение информационных возможностей устройств для оперативной оценки степени загрязнения текучей среды в любой момент времени при минимальных трудозатратах.

Принцип установки устройства в гидравлическую систему следующий: шестеренный насос необходимо внедрить в гидравлическую систему при этом установить неподвижно на корпусе машины/бака, также приводной вал насоса необходимо соединить с двигателем. Электроакустический датчик, работающий в ультразвуковом диапазоне (20-300 кГц), установить на корпусе шестеренного насоса в непосредственной близости от зоны зацепления зубьев роторов.

Установить контакт между насосом и входным и выходным трубопроводом так, чтобы места подключения каждого трубопровода были удалены от точки крепления датчика на расстояние, превышающее три диаметра ротора насоса, противоположные концы трубопроводов внедрить в гидравлическую систему машины. При этом, входной трубопровод необходимо оснастить вентилем с тройниковой конфигурацией, а выходной – вентилем в виде регулируемого дросселя. Электроакустический датчик, приводной двигатель и дроссель выходного трубопровода необходимо подключить к измерительному блоку.

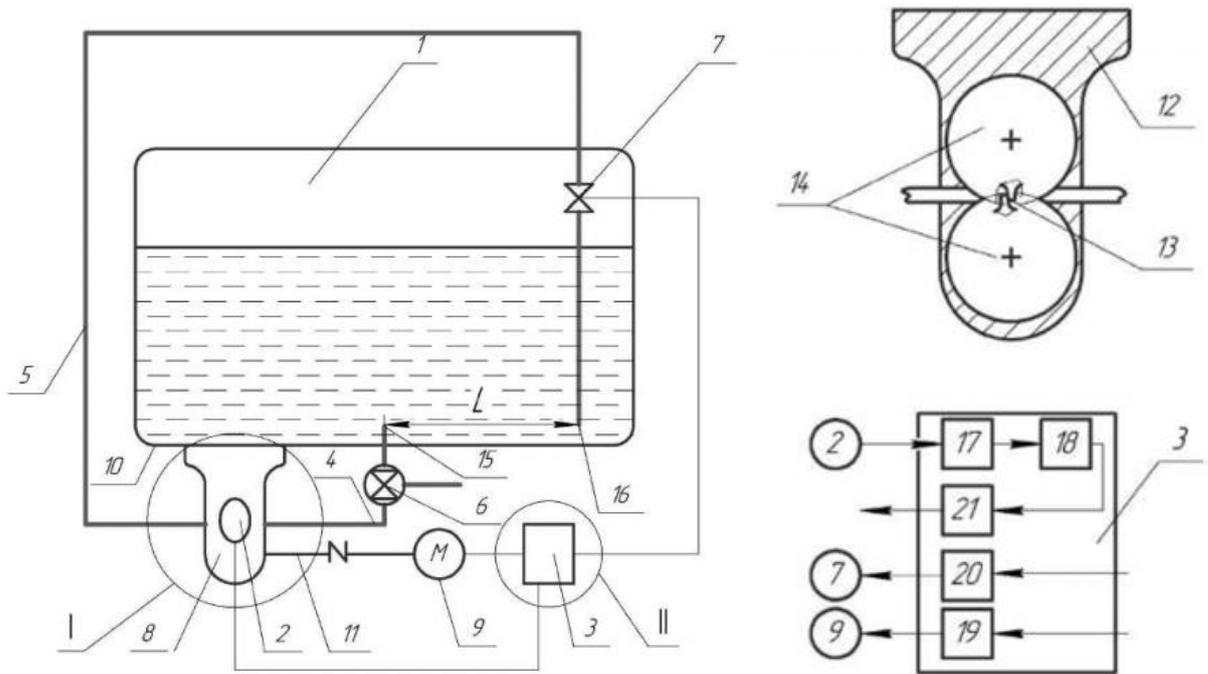


Рисунок 4.5 – Устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий [96]: 1 – камера; 2 – электроакустический датчик; 3 – измерительный блок; 4 – входной трубопровод; 5 – выходной трубопровод; 6 – вентиль входного трубопровода; 7 – вентиль выходного трубопровода; 8 – насос; 9 – приводной двигатель; 10 – внешняя поверхность камеры; 11 – приводной вал; 12 – корпус шестеренного насоса; 13 – точка зацепления зубьев; 14 – роторы шестеренного насоса; 15 – входной конец входного трубопровода; 16 – выходной конец выходного трубопровода; 17 – блок измерения; 18 – блок сравнения измерений; 19 – контроллер двигателя; 20 – блок управления вентилем; 21 – блок вывода результатов измерений; 22 – тройник (составлено автором)

Измерительный блок, в свою очередь, должен содержать блок измерения, вход которого будет соединен с выходом электроакустического датчика. Блок измерения требуется последовательно соединить с блоком вывода результатов измерений через блок сравнения измерений. Выход контроллера двигателя соединить с обмотками двигателя. Выход блока управления вентилем соединить с приводом регулируемого дросселя на выходном трубопроводе.

Принцип работы устройства:

1) градуировка устройства: перед эксплуатацией устройство проходит градуировку, в частности, измеряется акустико-эмиссионный сигнал (с помощью

датчика 2), генерируемый при прокачке чистой рабочей жидкости через насос 8 в режимах холостого хода и под нагрузкой (нагрузка создается регулируемым дросселем 7 при работающем насосе) для определения эталонного значения, которое в дальнейшем будет сравниваться с будущими результатами с течением наработки;

2) измерение: с помощью вентиля входного трубопровода 6, активируется измерительный блок 3, по сигналу блока управления 20 открывается регулируемый дроссель 7, по сигналу контроллера двигателя 19 запускается приводной двигатель 9, вращающий вал 11 и роторы 14 шестеренного насоса; жидкость из камеры 1 поступает по входному трубопроводу 4 в корпус насоса 12, в зоне зацепления зубьев роторов 13 генерируется высокочастотный акустический сигнал трения, регистрируемый датчиком 2 через корпус насоса 12, гидравлическая жидкость возвращается в камеру 1 через выходной трубопровод 5. Сигнал с датчика 2 поступает на блок измерения 17, обрабатывается блоком сравнения 18 по специализированному алгоритму, и результаты выводятся блоком 21. Для оценки результатов измерений под нагрузкой подается управляющий сигнал на частичное закрытие регулируемого дросселя 7 с помощью блока 20, создавая давление в системе, генерируемый под нагрузкой акустический сигнал фиксируется датчиком 2 и аналогично обрабатывается измерительным блоком 3;

3) завершение работы: по окончании оценки загрязнения подается команда на отключение двигателя 9 и полное закрытие дросселя 7, вентиль входного трубопровода 6 также закрывается, переводя систему в неактивное состояние до следующего измерения.

Важно также учитывать конструктивные особенности, для обеспечения точности измерений: для минимизации взаимных помех входной 15 и выходной 16 трубопровод в камере разнесены на расстояние L , превышающее три диаметра трубопровода, что устраняет влияние турбулентных потоков друг на друга; точность сигнала достигается за счет прямой установки датчика 2 вблизи источника генерации акустического сигнала (зоны зацепления зубьев 13), что обеспечивает регистрацию сигнала максимальной мощности.

Данное устройство позволяет оперативно и с минимальными трудозатратами осуществлять оценку уровня загрязнения гидравлической жидкости благодаря высокой степени автоматизации процесса, требующей ограниченного вмешательства оператора. Компактная конструкция устройства с малым количеством подвижных элементов, в сочетании со специализированным алгоритмом обработки данных в блоке сравнения измерений и возможностью оперативного вывода результатов, существенно расширяет его диагностические возможности.

В главе 3 также было выявлено изменение величины сигнала акустической эмиссии от класса чистоты гидравлической жидкости (формула 3.4), в то время как в главе 1 представлена известная зависимость коэффициента готовности от класса чистоты рабочей жидкости. При сопоставлении данных полученных в ходе эксперимента и известной зависимости возможно отслеживание изменения коэффициента готовности по величине сигнала акустической эмиссии (рисунок 4.6).

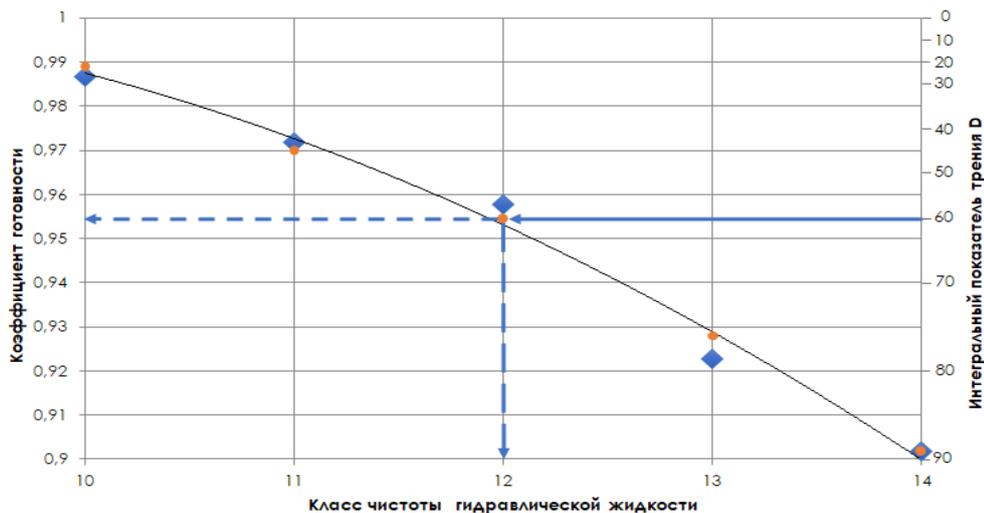


Рисунок 4.6 – Изменение коэффициента готовности по величине приведенного сигнала акустической эмиссии (интегрального показателя трения D) на максимальной скорости вращения вала мотор-редуктора (60,2 рад/с)
(составлено автором)

В этой связи существует возможность интеграции рассматриваемого диагностического устройства непосредственно в контур гидравлической системы механизма шагания мостовой платформы (рисунок 4.7).

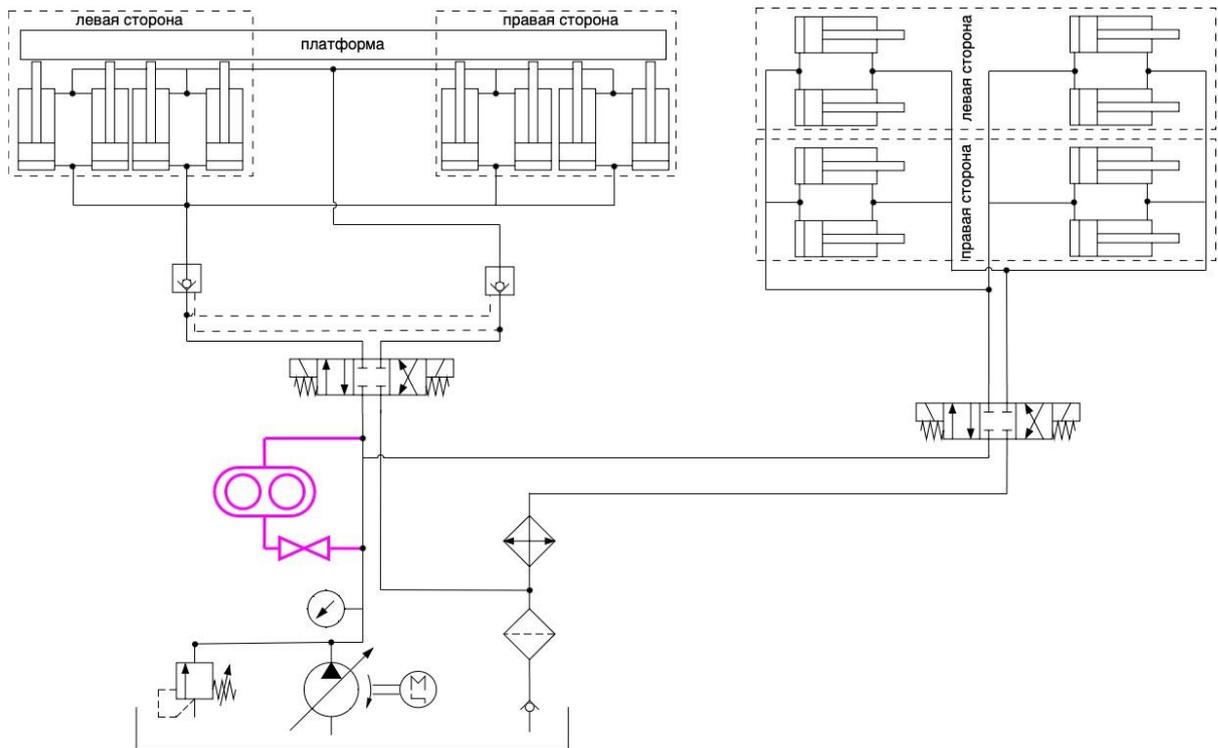


Рисунок 4.7 – Гидравлическая система механизма шагания с устройством по оценке состояния гидравлической жидкости на основе акустико-эмиссионного сигнала (составлено автором)

Ключевым преимуществом данной интеграции является реализация технологии экспресс-диагностики текущего состояния гидравлической жидкости. Принципиально важным аспектом предлагаемого подхода является осуществление диагностических процедур в режиме реального времени, непосредственно в процессе эксплуатации платформы, что обеспечивает мониторинг состояния гидравлической жидкости (в частности, уровня ее загрязнения твердыми частицами) без необходимости остановки (демонтажа) основного технологического оборудования или прерывания рабочего цикла машины.

Подобная экспресс-диагностика позволяет оперативно выявлять деградиационные процессы в жидкости и потенциальные неисправности компонентов гидросистемы на ранних стадиях, что является основой для своевременного принятия превентивных мер технического обслуживания и ремонта, минимизации риска внезапных отказов и связанных с ними простоев, а также для оценки уровня готовности гидравлической системы.

Формулировка методических указаний по техническому обслуживанию и своевременной замене рабочих жидкостей для гидравлических систем является ключевым фактором их эффективной и безотказной эксплуатации. Основные действия при мониторинге технического состояния гидравлической жидкости по величине акустико-эмиссионного сигнала должны включать:

1. Анализ условий работы: учитывать реальные температуры, давления, нагрузки; оценивать требуемый уровень акустико-эмиссионного сигнала.

2. Мониторинг состояния жидкости: внедрить в систему устройство для регулярного акустико-эмиссионного анализа для раннего выявления изнашивания деталей, частиц загрязнения, коррозии и других твердых загрязнителей, связанных с ухудшением качества жидкости.

3. Проактивное обслуживание: обеспечивать систематическое техническое обслуживание, включающее в себя контроль чистоты гидравлической жидкости, диагностику и замену уплотнений, очистку резервуаров.

4. Стратегия замены: формировать обоснованные планы замены жидкости, основанные на данных о ее старении, а также на условиях эксплуатации и загрузке системы.

5. Компетентность персонала: обучать технический персонал, ответственный за гидравлические системы, принципам выбора, обслуживания и корректной замены гидравлических жидкостей.

6. Соответствие нормам: гарантировать соблюдение всех применимых отраслевых стандартов и регламентов.

4.5 Выводы по Главе 4

1. Разработанная мостовая плавучая платформа (патент на изобретение № 2807666, Приложение Б) представляет собой технически обоснованное решение для комплексного освоения неосушенных торфяных месторождений. Конструкция обеспечивает стабильное базирование технологического комплекса (АЭТЦ ГО) за счёт системы гидравлических домкратов (8 ед.) и цилиндров перемещения (8 ед.), работающих посредством специализированной гидростанции серии СПС. Подбор силового агрегата (ДГС ТСС АД-900С мощностью 900 кВт) подтверждён

максимальной возможной мощностью (пусковой мощностью равной 892 кВт), гарантируя энергообеспечение в условиях автономной эксплуатации.

2. Комплект навесного оборудования, включающий запатентованный ковш для экскавации и обезвоживания торфа (патент на полезную модель № 216019, Приложение Г), гидробур *Delta RD12* и грейферный захват *MD120*, обеспечивает выполнение ключевых технологических операций при освоении торфяного месторождения. Применение ковша с прижимной плитой позволяет совместить процессы добычи и первичного обезвоживания, снижая энергоёмкость последующего осушения полученного сырья. Вариативность оснащения грузоподъемного оборудования (гидроманипулятора) адаптирует платформу к конкретным условиям месторождения и технологическим требованиям к процессу при сохранении базовой функциональности.

3. Механизм шагания реализует перемещение платформы по свайному основанию на неосушенном торфяном месторождении посредством синхронного подъёма гидравлических домкратов (8 ед.), шагания цилиндрами перемещения (8 ед.), опускания платформы гидравлическими домкратами и подтягивания мостовой платформы за счет цилиндров перемещения. Ключевым элементом является опорная лыжа, распределяющая нагрузку и предотвращающая перекосы мостовой платформы. Данное решение обеспечивает автономность передвижения без использования тяговой техники, что необходимо при освоении труднодоступных территорий.

4. Интеграция устройства оценки загрязненности жидкости трансмиссий (патент на изобретение № 2739147, Приложение В) в гидравлический контур механизма шагания позволяет осуществлять оценку состояния гидравлической жидкости в реальном времени без остановки платформы. Корреляция сигнала акустической эмиссии с коэффициентом готовности системы обеспечивает оценку работоспособного состояния объекта в данный момент времени. Внедрение данной системы минимизирует риски отказов, обусловленных загрязнением гидравлической жидкости, в условиях удалённости от ремонтных баз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения по обоснованию рациональной структуры и параметров мостовой платформы для комплексного освоения территорий торфяных месторождений, имеющие существенное значение для развития горной отрасли страны.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. На основании обзора и анализа теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы разработана классификация комплексов добычи торфяного сырья по типу движения комплексов, их виду и виду добываемого сырья. Выявлена группа мостовых комплексов, способных осуществлять добычу на неосушенных торфяных месторождениях, в частности, мостовые шагающие комплексы и мостовые траншейные комплексы.

2. Разработана функциональная структура и параметрическая схема мостовой платформы с технологическими машинами (элементами), выполняющими целевые функции, объединенные в автономный энерготехнологический центр АЭТЦ ГО. Структура включает: элементы добычи (*MEB*), модули электро- (*DGB*) и гидрогенерации (*HGB*), гидравлическую трансмиссию перемещения (*HTS*) и элементы перемещения (*SS*), а также структурная запись ее состава и связей.

3. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден способ контроля уровня загрязнения гидравлической жидкости механизма перемещения мостовой платформы по изменению акустического сигнала в диапазоне 20-300 кГц. В результате проведения исследований получена математическая зависимость изменения коэффициента готовности от интегрального показателя трения D , выражающего величину акустико-эмиссионного сигнала, описываемого уравнением второй степени.

4. Разработаны новые технические решения: «Мостовая плавучая платформа» (патент на изобретение № 2807666, Приложение Б) для комплексного

освоения территорий торфяных месторождений без предварительного водопонижения территорий, «Устройство для оценки загрязнения жидкости трансмиссии» (патент на изобретение № 2739147, Приложение В) для проведения мониторинга состояния гидравлической жидкости гидравлической системы по величине и характеру изменения приведенного сигнала акустической эмиссии, «Ковш для экскавации и обезвоживания торфа» (патент на полезную модель № 216019, Приложение Г) для предварительного обезвоживания торфа-сырца, извлекаемого из неосушенной торфяной залежи.

5. Результаты диссертации планируются к использованию в деятельности ООО «М4Е» в рамках реализации мероприятий по оценке технического состояния гидравлической системы, основанной на оценке уровня загрязнения гидравлической жидкости в рамках проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту гидрофицированных машин (акт внедрения от 27.03.2024).

6. Перспективным направлением дальнейших исследований в области развития технологий добычи торфяного сырья на неосушенных месторождениях и машин, реализующих такие технологии, является усовершенствование технического решения «Мостовая плавучая платформа» (патент на изобретение № 2807666, Приложение Б) для ее применения при комплексном освоении территорий торфяных месторождений, а также ряда вспомогательных работ на слабых грунтах, в частности, установка свайных конструкций на слабых грунтах, траншейная прокладка трубопровода на слабых грунтах и другие работы, реализация которых трудноосуществима на заболоченных территориях с применением типовой техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуазизов, Н.А. Исследование физико-химического состава загрязняющих веществ рабочей жидкости гидравлических экскаваторов, эксплуатируемых в Кызылкумском регионе / Н.А. Абдуазизов, А.Ш. Жураев // *Universum: технические науки*. – 2021. – № 6-2(87). – С. 20-23. – DOI: 10.32743/UniTech.2021.87.6.11956.
2. Абдуазизов, Н.А. Исследование влияния величины загрязнения рабочей жидкости на надежность горных машин / Н.А. Абдуазизов, А.Ш. Жураев, Ш.Ш. Халилов // *Research and education*. – 2022. – V. 1. – №8. – P. 95–103. DOI: 10.5281/zenodo.7358660.
3. Абдуазизов, Н.А. ИК-спектроскопический анализ загрязненности гидравлической жидкости гидрофицированных горных машин / Н.А. Абдуазизов, Т.Б. Алиев, А.Ш. Жураев, З.Ш. у. Кенжаев // *Universum: технические науки*. – 2019. – № 8(65). – С. 35-39.
4. Авторское свидетельство № 30261 А1 СССР, МПК E21C 49/00, E21C 27/24. Фрезерный барабан для торфа: № 109082: заявл. 13.05.1932: опубл. 31.05.1933 / Ф.А. Опейко.
5. Алаев, А.С. Диагностирование рабочих жидкостей гидравлических систем по параметру диэлектрической проницаемости / А.С. Алаев, Д.В. Сычев, Н.Н. Трушин // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2024. – № 3. – С. 308-314. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-308-309.
6. Амарян, Л.С. *Механика торфа и торфяной залежи: Учебное пособие* / Л.С. Амарян, В.Ф. Зюзин, В.А. Миронов – Калинин: КГУ, 1988. – 95 с.
7. Амарян, Л.С. *Прочность и деформируемость торфяных грунтов*. – М.: Недра, 1969. – 192 с.
8. Амарян, Л.С. *Свойства слабых грунтов и методы их изучения*. – М.: Недра, 1990. – 220 с.
9. Белова, Т.П. Возможные способы добычи и механической переработки торфа в Камчатском крае / Т.П. Белова, С.Р. Таранов, Р.И. Пашкевич // *Горный*

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S40. – С. 254-262.

10. Беляков, В.А. Оценка возможности добычи резного торфа в прибрежной полосе озера "Токолон" Республики Саха (Якутия) / В.А. Беляков, О.С. Мисников, О.В. Пухова // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : Сборник научных трудов 15-й международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Минск-Тула-Донецк, 29–30 октября 2019 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2019. – С. 10-18.

11. Бойко, А.Ф. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов / А.Ф. Бойко, Е.Ю. Кудеников // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 8. – С. 128-132.

12. Быстров, Д.С. Влияние наноструктурированных добавок металлов на антифрикционные свойства индустриального масла / Д.С. Быстров, А.С. Фокин, И. В. Пантюшин [и др.] // Записки Горного института. – 2009. – Т. 182. – С. 227-230.

13. Вавилов, А.В. Особенности диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий транспортных и строительно-дорожных машин / А.В. Вавилов, В.В. Яцкевич, А.Н. Максименко // Наука и техника. – 2012. – № 3. – С. 27-35.

14. Варехов, А.Г. Фотометрическое определение загрязненности моторных масел // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2013. – № 2(24). – С. 19-22.

15. Викулов, С.В. Оценка акустической эмиссии в зоне контакта пар трения / С.В. Викулов, А.Н. Спиридонова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2023. – № 1. – С. 107-110.

16. Волков, А.В. Предпосылки производства мелкокускового торфа для местной энергетики / А.В. Волков, О.В. Пухова, Ю.Л. Ковальчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 7. – С. 207-209.

17. Вомперский, С.Э. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России / С.Э. Вомперский, А.А. Сирин, А.А. Сальников, [и др.] // Лесоведение. – 2011. – № 5. – С. 3-11.
18. Все для гидравлики GiK43.RU, официальный сайт. – 2025. URL: <https://gik43.ru> (дата посещения 15.04.2025).
19. Гамаюнов, С.Н. К вопросу о классификации способов добычи торфа / С.Н. Гамаюнов, А.Н. Гамаюнова // Труды Инсторфа. – 2015. – № 11(64). – С. 13-18.
20. 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.
21. Гапеенко, Е.В. Своевременная диагностика гидравлического оборудования в металлургическом производстве // Литье и металлургия. – 2021. – № 3. – С. 50-54. – DOI: 10.21122/1683-6065-2021-3-50-54.
22. Горбунов, А.А. Использование торфяного топлива в энергетике децентрализованных территорий / А.А. Горбунов, Л.Н. Олейникова, Н.В. Гревцев, А. В. Горбунов // Международная научно-практическая конференция "Уральская горная школа - регионам" : Уральская горнопромышленная декада: материалы конференции, Екатеринбург, 08–09 апреля 2019 года / Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2019. – С. 541.
23. Горлов, И.В. Информационная составляющая системы управления работоспособностью торфяных машин / И.В. Горлов, А.Н. Болотов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 1. – С. 216-221.
24. Горлов, И.В. Последствия отказа технологических машин при фрезерной добыче торфа / И.В. Горлов, С.П. Рыков // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. – 2014. – № 7. – С. 255-261.
25. Горячев, В.И. Комбинированная технология производства кускового топлива из фрезерного торфа / В.И. Горячев, Б.Ф. Зюзин, И.Н. Казичев // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 6. – С. 39-44.

26. Горячев, В.И. Обоснование основных физико-технических параметров технологии производства кускового топлива из фрезерного торфа / В.И. Горячев, Б.Ф. Зюзин, В.С. Зайцев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 7. – С. 17-20.

27. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Яно-Индигорская. Лист Р-55-III (г. Серая). Объяснительная записка [Электронный ресурс] / Минприроды России, Роснедра, Дальнедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», АО «СевероВосточное ПГО». – Электрон. текстовые дан. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. — 177 с.

28. Гревцев, Н.В. Геоэкологические и технологические аспекты комплексного использования торфяных ресурсов Урала / Н.В. Гревцев, А.Г. Шампаров, А.А. Бастриков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 4. – С. 351-356.

29. Гревцев, Н.В. Занимательно о торфе / Н.В. Гревцев, А.Н. Сёмин, И.Н. Гревцева. – Москва: Фонд «Кадровый резерв», 2020. – 192 с.

30. Гревцев, Н.В. Технологические и геоэкологические аспекты использования торфа в энергетике / Н.В. Гревцев, Б.М. Александров, И.М. Верхотуров, А.Г. Шампаров // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 17-21.

31. Группа компаний «Традиция», официальный сайт. – 2025. URL: <https://www.tradicia-k.ru/> (дата посещения 25.05.2025).

32. Группа компаний ТСС, официальный сайт. – 2025. URL: <https://www.tss.ru> (дата посещения 15.04.2025).

33. Грязнов, А.С. Регистрация и обработка экспериментальных данных при исследовании методом акустической эмиссии / А.С. Грязнов, В.А. Плотников, С.В. Макаров // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 138-143.

34. Добыча торфа вручную. – 2025. URL: <https://grosses-moor.de/de/Moormuseum/Muskelkraft,-Dampf-und-Diesel/10/> (дата обращения: 24.03.2025).

35. Жарницкий, В.Я. Влияние свойств грунтов на проходимость машин / В.Я. Жарницкий, А.М. Силкин, А.В. Савельев // Природообустройство. – 2014. – № 1. – С. 41-44.

36. Жилинин, Д.Л. Применение экспресс методов оценки состояния рабочих жидкостей гидравлических систем в мобильных машинах / Д.Л. Жилинин, А.Д. Леонов, И.А. Шуст [и др.] // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов : в 2 т., Минск, 25–28 мая 2021 года. Том 1. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 297-301.

37. Задорожная, Е.А. Теория планирования эксперимента: учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 92 с.

38. Зайченко, В.М. Физико-химические свойства биоугля, полученного мягким пиролизом торфа / В.М. Зайченко, М.И. Князева, А.Ю. Крылова [и др.] // Химия твердого топлива. – 2019. – № 3. – С. 34-40. – DOI: 10.1134/S0023117719030125.

39. Заровняев, Б.Н. Перспективы инновационной технологии добычи торфа в условиях криолитозоны / Б.Н. Заровняев, Г.В. Шубин, М.Е. Будикина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 2. – С. 219-229.

40. 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.

41. Зюзин, Б.Ф. Современные направления модернизации комплексов оборудования в связи с эволюцией способов добычи торфа / Б.Ф. Зюзин, Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 6. – С. 67-73.

42. Иванов, А.И. Торфяные ресурсы Пензенской области и перспективы их использования в сельском хозяйстве / А.И. Иванов, Ю.В. Корягин, Н.В. Корягина // Нива Поволжья. – 2017. – № 4(45). – С. 62-69.

43. Иванов, С.Л. Контроль состояния рабочей жидкости гидравлической системы горных машин для добычи торфяного сырья / С.Л. Иванов, **А.А. Мякотных**, В. И. Князькина // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XX международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 07–08 апреля 2022 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2022. – С. 303-306.

44. Иванов, С.Л. Повышение работоспособности гидрофицированного горного оборудования для реализации климатически нейтральной геотехнологии торфа / С.Л. Иванов, **А.А. Мякотных**, В.И. Князькина // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – № 16. – С. 110-116. – DOI 10.26160/2658-3305-2022-16-110-116.

45. Инишева, Л.И. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России / Л.И. Инишева, Н.Г. Ковалев, В.К. Константинов [и др.]. – Томск : Томский центр научно-технической информации, 2005. – 76 с.

46. Карпиевич, Ю.Д. Метод определения численного значения работы трения как интегрального показателя при бортовом диагностировании степени износа тормозных накладок // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2009. – № 6. – С. 88-90.

47. Карпиевич, Ю.Д. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач / Ю.Д. Карпиевич, В.Б. Ловкис, И.И. Бондаренко // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 32-35.

48. Кашинская, Т.Я. К вопросу о выборе экологосовместимых технологий освоения торфяных месторождений / Т.Я. Кашинская, А.П. Гаврильчик, И.В. Агейчик // Природопользование. – 2011. – № 19. – С. 144-150.

49. Ковалев, М.А. Контроль технического состояния гидравлических систем летательных аппаратов на основе мониторинга значений вязкости и уровня чистоты рабочей жидкости / М.А. Ковалев, Г.В. Бородкин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. – № 7(38). – С. 40-45.

50. Ковалев, М.А. Упреждающее обслуживание гидросистем на основе анализа параметров частиц загрязнения рабочей жидкости // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. – 2009. – № 3-1(19). – С. 89-96.

51. Козачков, Г.С. Анализ применения бульдозерных агрегатов при эксплуатации на слабых грунтах / Г.С. Козачков, С.А. Калинин, К.М. Чечин, А.Д. Лазарев // Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития: Сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции, Уфа, 04 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 158-161.

52. Козлова, А.Д. Улучшение процесса проведения измерений на примере спектрального анализа масел двигателями установками МФС / А.Д. Козлова, Ю.В. Кривоносова, М.Г. Шалыгин // Механики XXI века. – 2019. – № 18. – С. 93-97.

53. Копенкин, В.Д. Развитие техники добычи кускового торфа / В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 1. – С. 297-301.

54. Косов, В.И. Комплексная эффективность скважинной гидродобычи торфа / В. И. Косов // Горный журнал. – 2008. – № 9. – С. 108-110.

55. Косов, В.И. Проблемы и перспективы добычи топливного торфа / В. И. Косов, Ю. В. Шувалов // Горный журнал. – 2009. – № 11. – С. 85-87.

56. Косов, В.И. Расчет выбросов в атмосферу при различных технологиях добычи торфа / В.И. Косов, А.Н. Васильев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 3. – С. 214-221.

57. Косов, В.И. Ресурсосбережение 1/1 охрана окружающей среды при разработке торфяных месторождений / В.И. Косов, Ю.Н. Женихов, А.В. Масленников [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1997. – № 4. – С. 29-33.

58. Криштал, М.М. Спектральные и энергетические характеристики акустической эмиссии при трении и износе / М.М. Криштал, Д.Л. Мерсон, А.В. Чугунов // Тяжелое машиностроение. – 2007. – № 12. – С. 14-18.

59. Кулешов, В.О. Влияние загрязнения рабочей жидкости на надежность работы гидросистемы испытательного стенда // 3D-моделирование гидропневмосистем : материалы I студенческой конференции, Гомель, 9 янв. 2025 г. / под общ. ред. А.Б. Невзоровой. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 9–10.

60. Лавриков, М.Н. К вопросу об исследовании свойств заторфованных грунтов / М.Н. Лавриков, О.А. Шутова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 4. – С. 89-102. – DOI 10.15593/2224-9826/2015.4.07.

61. Лиштван, И.И. Перспективы использования местных минерально-сырьевых ресурсов для развития юго-западного региона Гомельской области / И.И. Лиштван, Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич [и др.] // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 77-87. – DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-77-87.

62. Логвинов, Л.М. Контроль чистоты рабочей жидкости гидроагрегатов и гидрофицированного технологического оборудования / Л.М. Логвинов, Е.И. Поминов, И.А. Кудрявцев [и др.] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. – 2002. – № 1(1). – С. 99-104.

63. Лыу, Н.Т. Применение метода акустической эмиссии в задачах контроля и мониторинга технического состояния диагностируемых объектов / Н.Т. Лыу, К.Д. Нгуен, С.К. Демченко [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2021. – Т. 2. – С. 77-82.

64. Маслов, Б.С. Мелиорация торфяных болот: Учебник. – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2006. – 195с.
65. Медведева, Е.А. Перспективы использования торфа и продуктов его переработки в коммунальной энергетике сельских и отдаленных районов / Е.А. Медведева, Ю.Н. Женихов, И.В. Урванцев [и др.] // Теплоэнергетика. – 2017. – № 6. – С. 14-21. – DOI: 10.1134/S0040363617060030.
66. Миллер, А.П. Современные тенденции в области определения технического состояния гидравлических систем строительных машин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 1. – С. 48-54. – DOI: 10.15593/24111678/2021.01.06.
67. Мисников, О.С. Изменения водно-физических свойств торфа и торфяных залежей при техногенном воздействии / О.С. Мисников // Техника и технология горного дела. – 2019. – № 2(5). – С. 19-32. – DOI: 10.26730/2618-7434-2019-2-19-32.
68. Мисников, О.С. Перспективы использования торфа в устройствах для накопления и хранения электрической энергии / О.С. Мисников, В.А. Иванов, А.Е. Тимофеев [и др.] // Труды Инсторфа. – 2020. – № 21(74). – С. 10-18.
69. Мисников, О.С. Физико-химические основы торфяного производства: учебное пособие / О.С. Мисников, О.В. Пухова, Е.Ю. Черткова. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. – 168 с.
70. Михайлов, А.В. Анализ парка машин при карьерной добыче торфа / А.В. Михайлов, Ю.А. Казаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7 (специальный выпуск 20). – С. 3–16. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-7-20-3-16.
71. Музей истории Мосэнерго. – 2025. URL: https://www.mosenergo-museum.ru/History_of_Mosenergo/Historical_Review/16502/ (дата обращения: 16.04.2025).
72. Муртазов, А.З. Методы химического анализа гидравлического масла для гидромоторов / А.З. Муртазов, Б.К. Сайнов, А.А. Анзоров [и др.] // Лучшие

студенческие исследования: сборник статей XI Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 25 июня 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 25-30.

73. **Мякотных, А.А.** Инновации при разработке обводненных месторождений / **А.А. Мякотных, П.В. Иванова, С.Л. Иванов** // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2024. – Т. 1. – С. 123-127.

74. **Мякотных, А.А.** К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья / **А.А. Мякотных, П.В. Иванова, С.Л. Иванов** // Горная промышленность. – 2023. – № 6. – С. 137-142. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-6-137-142.

75. **Мякотных, А.А.** К вопросу о создании мостовой платформы для добычи торфяного сырья из обводненной залежи // Россия молодая: сборник материалов XVI Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, Кемерово, 16–19 апреля 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2024. – С. 10507.1-10507.4.

76. **Мякотных, А.А.** Критерии и технологические требования создания мостовой платформы добычи торфяного сырья для климатически нейтральной геотехнологии / **А.А. Мякотных, П.В. Иванова, С.Л. Иванов** // Горная промышленность. – 2024. – № 4. – С. 116-120. – DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-116-120.

77. **Мякотных, А.А.** Механизм перемещения мостовой платформы как процесс / **А.А. Мякотных, С.Л. Иванов** // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 03–04 апреля 2025 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. – С. 318-320.

78. **Мякотных, А.А.** Оценка загрязненности рабочей жидкости гидравлической трансмиссии мостового комплекса добычи торфа / **А.А. Мякотных, С.Л. Иванов** // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 30 ноября – 01 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 659-662.

79. **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, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 06–07 апреля 2023 года / Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2023. – С. 76-79.

80. **Мякотных, А.А.** Схемное решение механизма перемещения мостовой платформы по обводненной торфяной залежи / **А.А. Мякотных, П.В. Иванова, С.Л. Иванов** // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 83-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 21-25 апреля 2025 года. – Магнитогорск: изд-во Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2025. – Т.1. – С. 48.

81. Мяло, О.В. Анализ методики подготовки проб нефтепродуктов для спектрального анализа при контроле их качества / О.В. Мяло, В.В. Мяло, Е.В. Демчук // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2023. – № 3(34). – 15 с.

82. Мяло, О.В. Использование метода капельной пробы для теоретического исследования изменения параметров моторного масла / О.В. Мяло, В.В. Мяло, Е.В. Демчук // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3(43). – С. 137-145.

83. Никифоров, В.А. Разработка торфяных месторождений и механическая переработка торфа: [Учебник для техникумов]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. Школа, 1979. – 400 с.
84. Нормы технологического проектирования предприятий по добыче торфа: дата введения 01.07.1986.
85. Носков, И.В. Искусственное уплотнение торфяных оснований / И.В. Носков, А.Э. Магомадов, К.И. Носков // Ползуновский альманах. – 2023. – № 1. – С. 112-115.
86. Огороков, В.Г. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200 000 по листу 0-50-XXXI Муйской серии / В.Г. Огороков, И.В. Четвертаков, А.Г. Филиппов [и др.] – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. — 180 с.
87. Олесов, Д.Д. Исследование и применение топливных брикетов на основе торфа для труднодоступных регионов / Д.Д. Олесов // Инновационные научные исследования. – 2021. – № 9-2(11). – С. 62-70. – DOI: 10.5281/zenodo.5529333.
88. ООО "АРГИС-Инжиниринг" Очистка жидкости мобильными фильтрационными установками. Техническая информация. - 2024. URL: <https://argis.ru> (дата обращения: 15.11.2024).
89. ООО «МЗ «Энерпром», официальный сайт. – 2025. URL: <https://www.enerprom-spb.com/company/certificates/> (дата посещения 15.04.2025)
90. Патент № 2568797 Российская Федерация, МПК С22В 1/245. Топливо-металлургические гранулы и способ их получения и металлизации. Заявка № 2014127637/02 : заявл. 07.07.2014 : опубл. 20.11.2015 / В.И. Лунев ; Патент №ообладатель Лунев В.И. – 8 с.
91. Патент № 2631771. Российская Федерация, МПК С22В 1/242, С22В 1/244, С22В 1/245. Способ получения окатышей. Заявка № 2016113483: заявл. 07.04.2016 : опубл. 26.09.2017 / А.С. Вусихис, В.С. Гуляков, Д.З. Кудинов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт

металлургии Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН).
– 6 с.

92. Патент № 2655235 Российская Федерация, МПК В63В 35/44, В63Н 19/08, В63В 35/34. Плавающая платформа. Заявка № 2017116467 : заявл. 11.05.2017 : опубл. 24.05.2018 / Д. В. Фадеев, И.Н. Худякова, И.Е. Звонарев, С.Л. Иванов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".

93. Патент № 2655331 Российская Федерация, МПК E21C 41/30, E04H 9/16. Способ дражной разработки обводненных россыпных месторождений полезных ископаемых. Заявка № 2017124825: заявл. 11.07.2017: опубл. 25.05.2018 / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков, А.А. Бахтигузин; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский федеральный университет".

94. Патент № 2684269 Российская Федерация, МПК E21C 49/02. Способ добычи торфа и устройство для его реализации. Заявка № 2018123253: заявл. 26.06.2018 : опубл. 04.04.2019 / С.Л. Иванов, И.П. Тимофеев, Е.А. Родионов, М.С. Столярова ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".

95. Патент № 2715134 Российская Федерация, МПК E21C 49/02, C10F 5/00. Способ добычи торфа в зимний период. Заявка № 2019130840: заявл. 28.08.2019: опубл. 25.02.2020 / Р.И. Пашкевич, В.А. Иодис; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

96. Патент на изобретение № 2739147 Российская Федерация, МПК G01N 29/02 (2006.01). Устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий. Заявка № 2020118601: заявл. 05.06.2020: опубл. 21.12.2020 / С.Л. Иванов, А.А. Мякотных, К.А. Сафрончук, В.И. Князькина; заявитель / патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 7 с.

97. Патент № 2756070 Российская Федерация, МПК E21C 49/02. Способ добычи торфа и устройство для его реализации. Заявка № 2021104080: заявл. 18.02.2021: опубл. 27.09.2021 / Д.Р. Якупов, С.Л. Иванов, П.В. Иванова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

98. Патент на изобретение №2807666 Российская Федерация, E02C 5/02 (2006.01), E02F 9/06 (2006.01), E21C 49/02 (2006.01), B63B 35/44 (2006.01). Мостовая плавучая платформа. Заявка №2023115181: заявл. 9.06.2023, опубл. 21.11.2023 / **А.А. Мякотных**, С.Л. Иванов, П.В. Иванова; заявитель / патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" - 11 с.

99. Патент на полезную модель № 133151, МПК E02D 7/00. Технологический комплекс для возведения свайных мостовых оснований на акватории. Заявка № 2013128574/03: заявл. 21.06.2013: опубл. 10.10.2013; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственная Компания Информационные Системы и Компьютерные Технологии" (ООО "Компания ИНКОМТЕХ").

100. Патент на полезную модель № 216019 Российская Федерация, МПК E02F 3/407 (2006.01), E21C 49/00 (2006.01), C10F 5/00 (2006.01). Ковш для экскавации и обезвоживания торфа. Заявка № 2022128590: заявл. 03.11.2022: опубл. 13.01.2023 / П.В. Иванова, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин, **А.А. Мякотных**; заявитель / патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" - 8 с.

101. Пинчук, В.Р. Влияние осушения торфяных месторождений на климат / В.Р. Пинчук, М.Н. Михальчук, О.В. Пухова // Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. В 2-х частях, Тверь, 01 января – 31 2023 года. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2023. – С. 36-44.

102. Пухова, О.В. Применение вертикального дренажа для подготовки производственной площадки торфяного участка / О.В. Пухова // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2024. – № 1(21). – С. 60-68. – DOI: 10.46573/2658-5030-2024-1-60-68.

103. Пухова, О.В. Пути улучшения технико-экономических характеристик производства кускового торфа / О.В. Пухова, К.Л. Шахматов, К.Ю. Женихов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2024. – № 4(24). – С. 37-45. – DOI: 10.46573/2658-5030-2024-4-37-45.

104. Рахимов, В.Т. Оценка существующих технологий добычи торфа с учетом их воздействия на окружающую среду / В.Т. Рахимова, М.А. Резник, А.В. Кудрякова [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 12–16 декабря 2016 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2016. — С. 430-433.

105. Родионов, В.З. Разработка торфяных месторождений в Ленинградской области (проблемы и решения) / В.З. Родионов // Региональная экология. – 2017. – № 3(49). – С. 59-64.

106. Родькин, О.И. Оценка эколого-экономической эффективности производства композитных топливных брикетов из фрезерного торфа и биомассы / О.И. Родькин, Е.В. Черненко, В.М. Сивко [и др.] // Природопользование. – 2021. – № 1. – С. 207-220. – DOI: 10.47612/2079-3928-2021-1-207-220.

107. Российский производитель строительно-дорожной и специальной техники UMG, официальный сайт. – 2025. URL: <https://umg-sdm.com> (дата посещения 15.04.2025).

108. Рудой, А.С. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 по листу Р-36-ХVIII (Толвуя) Карельской серии / А.С. Рудой, И.Б. Колянова, Н.Ф. Силина [и др.]; Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», АО «Северо-Западное ПГО», 2022. — 166 с.

109. Самсонов, Л.Н. Определение взаимных спектральных плотностей нагрузок на рабочих органах торфяного фрезерующего агрегата / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 1. – С. 223-226.

110. Семенов, М.И. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 по листу N-46-XXXIV (Туран) Западно-Саянской серии / М.И. Семенов, А.Н. Зорина, В.М. Колямкин [и др.] // Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», АО «Сибирское ПГО». – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. – 188 с.

111. Смаилов, И.Е. Анализ существующих проблем возникающих при очистке гидравлической жидкости в гидроприводах // Инновации в технологиях и образовании: Сборник статей участников XIV Международной научно-практической конференции, Белово, 26 марта 2021 года. Том 1. – Кемерово, Белово, Новосибирск, Велико-Тырново, Шумен: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 164-167.

112. 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.

113. Солопов, С.Г. Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов. – М., Недра, 1973. – 392 с.

114. Столбикова, Г.Е. Процессы открытых горных работ (фрезерный торф): метод. указания / Г.Е. Столбикова, О.В. Пухова. Тверь: ТвГТУ, - 2016. - 30 с.

115. Сырков, А.Г. Количественная оценка нелинейных эффектов в зависимости интегрального показателя трения трибосистемы от водоотталкивающих свойств металла-наполнителя / А.Г. Сырков, Д.В. Фадеев, В.В. Тарабан [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2014. – Т. 16. – № 2. – С. 215-219.

116. Тарабан, В.В. Нелинейные зависимости интегрального показателя акустической эмиссии (трения) от нагрузочного давления для смазок с присадками

наноструктурированных металлов / В.В. Тарабан, А.Г. Сырков, Д.С. Быстров [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2009. – Т. 11. – № 4. – С. 337-343.

117. Техника Maripeat для добычи фрезерного торфа. - 2025. URL: <https://meripeat.com/ru/products-ru/milled-peat-production-ru/> (дата обращения 14.03.2025).

118. Томилов, А.А. Исследование эксплуатационного состояния гидравлической тормозной системы военной автомобильной техники / А.А. Томилов, А.Е. Ломовских, А.С. Германович // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2020. – № 13. – С. 175-186.

119. Томсон, А.Э. Торф и продукты его переработки / А.Э. Томсон, Г.В. Наумова. – Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. — Минск : Беларус. навука, 2009. — 328 с.

120. Трофимов, В.Т. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А.Королёв, Е.А.Вознесенский, Г.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук, Р.С. Зиангиров. Под ред. В.Т. Трофимова - 6-е изд., переработ. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 1024с.

121. Тюремнов, С.Н. Торфяные месторождения. – М.: Недра, 1976. – 488 с.

122. Тяботов, И.А. Рекультивация хвостохранилища обогатительной фабрики с использованием торфа и сапропеля / И.А. Тяботов, Н.В. Гревцев, Л.Н. Олейникова [и др.] // Агропродовольственная политика России. – 2018. – № 5(77). – С. 41-46.

123. Ульянов, А.Ф. Разработка фронтальной многоопорной дождевальная машины шагающего типа / А.Ф. Ульянов, М.Г. Корытов, И.И. Байгузин // Тракторы и с.х. машины. – 1979. – № 11. – С. 20-21.

124. Фадеев, Д.В. Обоснование и выбор параметров механизма перемещения платформы комплекса добычи торфяного сырья на неподготовленной залежи: специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фадеев Дмитрий Владимирович, 2022. – 115 с.

125. Филатов, В.А. Методика оценки качества авиационного гидравлического масла / В.А. Филатов, А.С. Кралин, Ж.Ю. Кочетова // Химические проблемы современности 2023: Сборник материалов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 16–18 мая 2023 года / Редколлегия: А.В. Белый (отв. ред.) [и др.]. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2023. – С. 70-80.

126. Фомин, К.В. К вопросу о рациональной расстановке режущих элементов на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 1. – С. 226-229.

127. Фомин, К.В. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе машины глубокого фрезерования при подготовке торфяной залежи к эксплуатации / К.В. Фомин, А.И. Жигульская, Р.Г. Исаев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 9. – С. 36-42.

128. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер [и др.] Под ред. Э.К.Лецкого. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

129. Хасанов, Д.Р. Повышение ресурса узлов и агрегатов гидравлической системы в автомобильной и строительной технике // Консолидация интеллектуальных ресурсов как фундамент развития современной науки : Сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 22 ноября 2021 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2021. – С. 142-149.

130. Худякова, И.Н. Обоснование и выбор схемных и конструктивных решений комплекса оборудования для добычи торфяного сырья на неосушенных месторождениях : специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Худякова Ирина Николаевна, 2020. – 169 с.

131. Чураков, А.А. Запасы торфа в России // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2003. – № 3. – С. 22-25.

132. Шаповалов, В.В. Актуальные задачи современной триботехники и пути их решения / В.В. Шаповалов, А. Сладковски, А.Ч. Эркенов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 1(658). – С. 64-75.

133. Шибанов, Д.А. Тенденции востребованности карьерных гидравлических экскаваторов в РФ и контроль состояния их гидравлических систем / Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, **А.А. Мякотных** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – № 17-2. – С. 288-293. – DOI 10.26160/2658-3305-2022-17-288-293.

134. Штин, С.М. Гидромеханизированная технология разработки торфо-сапропелевых месторождений с получением органо-минеральных удобрений и биотоплива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S1. – С. 48-57.

135. Штин, С.М. Применение торфа как топлива для малой энергетики // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 7. – С. 82-96.

136. Штин, С.М. Роль гидромеханизации в сохранении и улучшении состояния окружающей природной среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 2. – С. 120-125.

137. Шумейко, Е.В. Анализ загрязнений, образующихся в рабочей жидкости гидравлической системы тракторов МТЗ / Е.В. Шумейко, Д.Э. Иликбаев, Л.С. Керученко [и др.] // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: Сборник VII Международной научно-практической конференции, Омск, 14 апреля 2022 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022. – С. 351-355.

138. Щавелин, В.М. Акустический контроль узлов трения ЯЭУ / В.М. Щавелин, Г.А. Сарычев. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.

139. Юшков, А.Н. Повышение эффективности работы гидропривода лесных машин. Сыкт. лесн. ин-т. – Сыктывкар : СЛИ, 2011. – 108 с.

140. Яконовская, Т.Б. Особенности оценки экономической безопасности предприятий торфодобывающей отрасли Тверского региона России (обзор

отрасли) / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская // Горные науки и технологии. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 5-15. – DOI 10.17073/2500-0632-2021-1-5-15.

141. Яконовская, Т.Б. Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 7. – С. 318-323.

142. 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.

143. Ялтанец, И.М. Производство торфяной продукции энергетического назначения на основе гидромеханизированных технологий - надежный поставщик тепла и электроэнергии для местных нужд производства и нужд ЖКХ / И.М. Ялтанец, А.М. Штин, С.М. Штин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 1. – С. 106-115.

144. Яцунов, А.Н. Методы контроля пригодности моторных масел для их дальнейшего использования / А.Н. Яцунов, У.К. Сабиев // Современное научное знание в условиях системных изменений : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, посвященной 25-летию Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Тарский филиал ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 18–19 июня 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 57-62.

145. Alm, J. Methods for determining emission factors for the use of peat and peatlands - Flux measurements and modelling / J. Alm, N.J. Shurpali, M. Maljanen [et al.] // Boreal Environment Research. – 2007. – V. 12. – № 2. – P. 85-100.

146. Bley T, Pignanelli E., Schütze A. / Multi-channel IR sensor system for determination of oil degradation / J. Sens. Sens. Syst., 3, 2014. P. 121-132.

147. Cruickshank, M. M. Peat extraction, conservation and the rural economy in Northern Ireland / M.M. Cruickshank, R.W. Tomlinson, D. Bond // *Applied Geography*. – 1995. – V. 15. – №. 4. – P. 365-383.

148. Du, L. Real-time monitoring of wear debris in lubrication oil using a microfluidic inductive Coulter counting device / Li. Du, J. Zhe, J. Carletta [et al.] // *Microfluidics and Nanofluidics*. – 2010. – V. 9. – №. 6. – P. 1241-1245. – DOI: 10.1007/s10404-010-0627-y.

149. Felix, Ng. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring / Ng. Felix, J.A. Harding, J. Glass // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2017. – V. 83. – P. 176-193. DOI: 10.1016/j.ymsp.2016.06.006.

150. Hamstad, M. A. A review: Acoustic emission, a tool for composite-materials studies // *Experimental Mechanics*. – 1986. – V. 26. – №1. – P. 7-13. – DOI: 10.1007/bf02319949.

151. Holmgren, K. Climate impact of peat fuel utilisation / K. Holmgren, J. Kirkinen, I. Savolainen // *Peatlands and climate change*. – 2008. – P. 123.

152. Holmgren, M. Rewilding Risks for Peatland Permafrost / M. Holmgren, F. Groten, M. R. Carracedo [et al.] // *Ecosystems*. – 2023. – V. 26. – № 8. – P. 1806-1818. – DOI: 10.1007/s10021-023-00865-x.

153. Hong, S. H. Literature review of machine condition monitoring with oil sensors-Types of sensors and their functions // *Tribology and Lubricants*. – 2020. – V. 36. – №. 6. – P. 297-306.

154. Hong, S. Ho. Monitoring the Conditions of Hydraulic Oil with Integrated Oil Sensors in Construction Equipment / S. Ho. Hong, H. G. Jeon // *Lubricants*. – 2022. – V. 10. – № 11. – P. 278. – DOI: 10.3390/lubricants10110278.

155. Ivanov, S. Recording gear-type pump acoustic signals for assessing the hydraulic oil impurity level in a hydraulic excavator transmission / S. Ivanov, V. Knyazkina, **A. Myakotnykh** // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – V. 326. – P. 00014. – DOI 10.1051/e3sconf/202132600014.

156. Jurasinski, G. From understanding to sustainable use of peatlands: The wetscapes approach / G. Jurasinski, A. Günther, F. Koebisch [et al.] // *Soil Systems*. – 2020. – Vol. 4, No. 1. – P. 1-27. – DOI: 10.3390/soilsystems4010014.

157. Kobayashi, S. Properties of engine oil measured using a surface acoustic wave sensor / S. Kobayashi, J. Kondoh // *The Japan Society of Applied Physics*. – 2018. – V. 57 – P. 07LD09 DOI: 10.7567/JJAP.57.07LD09.

158. Kong, H. In-line Smart Oil Sensor for Machine Condition Monitoring / H. Kong, C.V. Ossia, H.G. Han, L. Markova // *Journal of the KSTLE (The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers)*. – 2008. – V. 24. – № 3. – P. 111-121.

159. Liu, Z. An Oil Wear Particles Inline Optical Sensor Based on Motion Characteristics for Rotating Machines Condition Monitoring / Zh. Liu, Ya. Liu, H. Zuo [et al.] // *Machines*. – 2022. – V. 10. – № 9. – P. 727. – DOI: 10.3390/machines10090727.

160. Mäkilä, M. Carbon accumulation in boreal peatlands during the Holocene—Impacts of climate variations / M. Mäkilä, M. Saarnisto // *Peatlands and climate change*. – 2008. – P. 24.

161. Markova, L.V. On-line acoustic viscometry in oil condition monitoring / L.V. Markova, N.K. Myshkin, H. Kong, H.G. Han // *Tribology International*. – 2011. – V. 44. – №. 9. – P. 963-970. – DOI: 10.1016/j.triboint.2011.03.018.

162. Markova, L.V. On-line monitoring of the viscosity of lubricating oils / L.V. Markova, V.M. Makarenko, M.S. Semenyuk, A.P. Zozulya // *Journal of Friction and Wear*. – 2010. – V. 31. – №. 6. – P. 433-442. – DOI: 10.3103/S106836661006005X.

163. Matsuska, O. The Ability of peat in adsorption of biogenic elements from water environment / O. Matsuska, O. Suchorska, J. Gumnitsky // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – V. 21. - № 4. – P. 224-230. DOI: 10.12911/22998993/119823.

164. Mikhailov, A. V. Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* : [Electronic resource], Saint-Petersburg, 23–24 March 2017. Vol. 87. – Saint-Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 022014. – DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/02014.

165. Minkkinen, K. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland / K. Minkkinen, J. Laine // Canadian Journal of Forest Research. – 1998. – V. 28. – № 9. – P. 1267-1275. – DOI: 10.1139/x98-104.

166. Peatmax: official website. - 2025. URL: <https://www.peatmax.com/en/home/index.html> (дата обращения: 14.03.2025).

167. Pochi, D. Bench Testing of Sensors Utilized for In-Line Monitoring of Lubricants and Hydraulic Fluids Properties / D. Pochi, R. Grilli, L. Fornaciari [et al.] // Sensors. – 2021. – V. 21. – P. 8201. DOI: 10.3390/s21248201.

168. Räsänen, A. After-use of peat extraction sites – A systematic review of biodiversity, climate, hydrological and social impacts / A. Räsänen, E. Albrecht, M. Annala [et al.] // Science of the Total Environment. – 2023. – V. 882. – P. 163583. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.163583. – EDN CRPUCZ.

169. Rodzkin, A. The assessment of cost of biomass from post-mining peaty lands for pellet fabrication / A. Rodzkin, S. Kundas, Y. Charnenak [и др.] // Environmental and Climate Technologies. – 2018. – V. 22. – № 1. – P. 118-131. – DOI: 10.2478/rtuct-2018-0008.

170. Rowland, J.A. Effectiveness of conservation interventions globally for degraded peatlands in cool-climate regions / J.A. Rowland, C. Bracey, J.L. Moore [et al.] // Biological Conservation. – 2021. – V. 263. – P. 109327. – DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109327.

171. Saarilahti M. Soil interaction model // Project deliverable D. – 2002. – V. 2. – P. 1-87.

172. Singh, M. Failure Prevention of Hydraulic System Based on Oil Contamination / M. Singh, G.S. Lathkar, S.K. Basu // Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. – 2012. – V. 93. – № 3. – P. 269-274. – DOI: 10.1007/s40032-012-0032-2.

173. Tcvetkov, P.S. The history, present status and future prospects of the Russian fuel peat industry / P.S. Tcvetkov // Mires and Peat. – 2017. – V. 19. – P. 14. – DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.256.

174. Wang, Y.A New In Situ Coaxial Capacitive Sensor Network for Debris Monitoring of Lubricating Oil / Y. Wang, T. Lin, D. Wu [et al.] // Sensors. – 2022. – V. 22. – №5. – P. 1777. – DOI: 10.3390/s22051777.

175. Wong, L.S. A review on hydraulic conductivity and compressibility of peat / L.S. Wong, R. Hashim, F.H. Ali // Journal of Applied Sciences. – 2009. – V. 9. – №. 18. – P. 3207-3218.

176. Wong, L. S. Strength and permeability of stabilized peat soil / L.S. Wong, R. Hashim, F.H. Ali // Journal of Applied Sciences. – 2008. – V. 8. – №. 21. – P. 3986-3990.

ПРИЛОЖЕНИЕ А**Акт о внедрении результатов диссертации**

Утверждаю
 Генеральный директор
 ООО "М4Е", к.т.н.
 Шмидт В.Э.
 (М.П.)
 Дата: « 27 » марта 2024 г.

АКТ
 о внедрении результатов кандидатской диссертации
Мякотных Алины Алексеевны
 по научной специальности 2.8.8. «Геотехнология, горные машины»

Специальная комиссия в составе:

Председатель – Шмидт В.Э.;

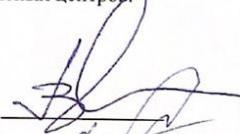
Члены комиссии – Шорников В.В., Козлов В.А.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Обоснование рациональной структуры и параметров мостовой платформы для комплексного освоения территорий торфяных месторождений», представленной на соискание ученой степени кандидата наук планируются к использованию в деятельности ООО "М4Е" при разработке процедуры контроля загрязненности рабочей жидкости гидравлической системы в виде технических предложений и рекомендаций по проведению мониторинга гидрофицированных горных машин и принятии обоснованных решений о замене рабочей жидкости в рамках реализации мероприятий технического обслуживания и ремонта гидрофицированных машин по их фактическому состоянию.

Использование указанных результатов позволяет расширить возможности контроля состояния рабочих жидкостей гидравлических систем горнодобывающих машин и осуществлять оперативную оценку загрязненности этих жидкостей, передавая в режиме реального времени значения сигнала акустической эмиссии. Тем самым достигается снижение рисков отказа и обеспечивается максимальная техническая готовность гидрофицированных горных машин, что является важным аспектом их функционирования на значительном удалении от ремонтных баз и сервисных центров.

Председатель комиссии

Генеральный директор, к.т.н.


 Шмидт В.Э.

Члены комиссии:

Руководитель горных проектов, к.т.н.


 Шорников В.В.

Инженер по ремонтам


 Козлов В.А.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Патент изобретение «Мостовая плавучая платформа»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2807666

МОСТОВАЯ ПЛАВУЧАЯ ПЛАТФОРМА

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

Авторы: *Мякотных Алина Алексеевна (RU), Иванов Сергей Леонидович (RU), Иванова Полина Викторовна (RU)*

Заявка № 2023115181

Приоритет изобретения **09 июня 2023 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **21 ноября 2023 г.**

Срок действия исключительного права на изобретение истекает **09 июня 2043 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Патент на устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Патент на полезную модель «Ковш для экскавации и обезвоживания торфа»



ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Математическая модель положения опоры в зависимости от водного балласта

Таблица Д.1 – Обозначения показателей

Обозначение	Значение показателя
g	ускорение свободного падения, 9,80665 м/с ²
pi	3,141592654
H_o	высота трубки
H_n	высота низа
H_v	высота верха
H_g	высота груза
R_s	радиус внешний
R_v	радиус внутренний
c	шаг 0,00001
cc	шаг 0,001
RO_o	плотность трубки
RO_n	плотность низа
RO_v	плотность верха
RO_g	плотность груза;
RO_w	плотность воды
V_w	объем водного балласта
a	угол крена
a_l	угол крена измененный
G_g	сила тяжести груза
L_g	плечо груза
G_o	сила тяжести оболочки
L_o	плечо оболочки
L_t	плечо силы Т
H_w	высота водного балласта
G_w	сила тяжести водного балласта
H_w1	малая высота усеченного цилиндра
H_w2	большая высота усеченного цилиндра
H_0	высота цилиндрического копыта
bk	катет цилиндрического копыта
ck	меньшая часть основания цилиндрического копыта
ak	полное основание цилиндрического копыта
V_k	объем цилиндрического копыта
bk_l	катет копыта после подбора
ak_l	основание копыта после подбора
ck_l	меньшая часть основания цилиндрического копыта после подбора
OX_k	координата по оси X цилиндрического копыта
OY_k	координата по оси Y цилиндрического цилиндра
Lwk	плечо водного балласта
FA	сила Архимеда
V_wA	объем вытесненной жидкости
bA	координата по оси X цилиндрического копыта
HA	координата по оси Y цилиндрического цилиндра

Продолжение таблицы Д.1

VkA	объем фигуры цилиндрического копыта под водой
$HA1$	высота цилиндрического копыта под водой после подбора
$VkA1$	объем цилиндрического копыта под водой после подбора
$OXkA$	координата по оси X усеченного цилиндра под водой
$OYkA$	координата по оси Y усеченного цилиндра под водой
LkA	плечо цилиндрического копыта силы Архимеда
$hAc1$	меньшая высота усеченного цилиндра под водой
$hAc2$	большая высота усеченного цилиндра под водой
$OXCcA$	координата по оси X цилиндрического копыта под водой
$OYcA$	координата по Y цилиндрического копыта под водой
LcA	плечо приложения сил цилиндрического копыта
T	итоговая сила
$OXCc$	координата по оси X усеченного цилиндра
OYc	координата по оси Y усеченного цилиндра
PSI	угол между основанием
$HO1$	подбираемая высота
$PSII$	угол между основанием после подбора
$bA1$	подбираемый катет цилиндрического копыта под водой

Таблица Д.2 – Математическая модель положения опоры от величины балласта

Математическая модель для фигур цилиндрического копыта при отсутствии водного балласта
$G = g \cdot ROg \cdot \pi \cdot Rv \cdot Rv \cdot Hg$
$Lg = (Rs + (0,5 \cdot Hg + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$
$Go = \pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hn \cdot g \cdot ROh + \pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hv \cdot g \cdot ROv + \pi \cdot (Rs \cdot Rs - Rv \cdot Rv) \cdot Ho \cdot g \cdot ROo$
$Lo = (Rs + 0,5(Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$
$Lt = (Rs + (Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$
$FA = Gg + Go$
$VwA = \frac{FA}{ROw \cdot g}$
$bA = 2 \cdot Rs$
$HA = bA \cdot ctga1$
$VkA = \pi \cdot Rs^2 \cdot \frac{HA}{2}$
$bA = 2 \cdot Rs$
$HA = bA \cdot ctga1$
$VkA = \pi \cdot Rs^2 \cdot \frac{HA}{2}$

Продолжение таблицы Д.2

$HA1 = bA1 \cdot ctga1$ $V_{kA1} = \frac{Rs^2 \cdot HA1}{bA1} \left[\sqrt{2 \cdot Rs \cdot bA1 - bA1^2} \cdot \left(\frac{3 \cdot Rs^2 - 2 \cdot Rs \cdot bA1 + bA1^2}{3 \cdot Rs^2} \right) - (Rs - bA1) \cdot arccos \left(\frac{Rs - bA1}{Rs} \right) \right]$ $OX_{kA} = \frac{HA1}{3}$ $OY_{kA} = \left(bA1 - \frac{bA1}{3} \right) \cdot tga1$ $L_{kA} = (OY_{kA} + OX_{kA}) \cdot cosa1$ $T = \frac{Gg \cdot Lg + Go \cdot Lo - FA \cdot L_{kA}(L_{kA})}{Lt}$
Математическая модель для фигур цилиндрического копыта при наличии водного балласта
$Gg = g \cdot ROg \cdot pi \cdot Rv \cdot Rv \cdot Hg$ $Lg = (Rs + (0,5 \cdot Hg + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Go = pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hn \cdot g \cdot RO_n + pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hv \cdot g \cdot RO_v + pi \cdot (Rs \cdot Rs - Rv \cdot Rv) \cdot Ho \cdot g \cdot RO_o$ $Lo = (Rs + 0,5(Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Lt = (Rs + (Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Hw = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot pi}$ $Gw = Vw \cdot g \cdot RO_w$ $Hw1 = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot pi} - Rv \cdot ctga1$ $Hw2 = Hw1 + 2 \cdot Rv \cdot ctga1$ $H0 = \frac{3 \cdot Vw}{2 \cdot Rv \cdot Rv}$ $bk = H0 \cdot tga1$ $ak = \sqrt{R_v^2 - c_k^2}$ $V_k = \frac{H0}{3 \cdot bk} [ak \cdot (3R_v^2 - a_k^2) - 3R_v^2(Rv - bk) \cdot psi]$ $bk1 = H01 \cdot tga1$ $ak1 = \sqrt{R_v^2 - c_{k1}^2}$ $OX_k = Hg + Hn + \frac{H01}{3}$

Продолжение таблицы Д.2

$OYk = \left[2 \cdot Rs - \left(\frac{bk1}{3} + Rs - Rv \right) \right] \cdot tga1$ $Lwk = (OXk + OYk) \cdot cosa1$
<p>Математическая модель для фигур цилиндрического копыта при наличии водного балласта</p>
$FA = Gg + Go + Gw$ $VwA = \frac{FA}{ROw \cdot g}$ $bA = 2 \cdot Rs$ $HA = bA \cdot ctga1$ $VKA = pi \cdot Rs^2 \cdot \frac{HA}{2}$ $HA1 = bA1 \cdot ctga1$ $VKA1 = \frac{Rs^2 \cdot HA1}{bA1} \left[\sqrt{2 \cdot Rs \cdot bA1 - bA1^2} \cdot \left(\frac{3 \cdot Rs^2 - 2 \cdot Rs \cdot bA1 + bA1^2}{3 \cdot Rs^2} \right) - (Rs - bA1) \cdot arccos \left(\frac{Rs - bA1}{Rs} \right) \right]$ $OXKA = \frac{HA1}{3}$ $OYKA = \left(bA1 - \frac{bA1}{3} \right) \cdot tga1$ $LKA = (OYKA + OXKA) \cdot cosa1$ $T = \frac{Gg \cdot Lg + Go \cdot Lo + Gw \cdot Lwk - FA \cdot LKA}{Lt}$ $T = (m_r g (0,5 H_r + H_H + R_H \tan \alpha) \cos \alpha + (\pi R_H^2 H_H g \rho_H + \pi R_H^2 H_B g \rho_B + \pi (R_H^2 - R_B^2) H_o g \rho_o) (0,5 (H_H + H_o + H_B) + R_H \tan \alpha) \cos \alpha + V_{BB} g \rho_{BB} L_{BB} - \rho_{ж} g V_{\Pi} L_A) / ((H_H + H_o + H_B + R_H \tan \alpha) \cos \alpha)$
<p>Математическая модель для фигур цилиндрического копыта и усеченного цилиндра</p>
$Gg = g \cdot ROg \cdot pi \cdot Rv \cdot Rv \cdot Hg$ $Lg = (Rs + (0,5 \cdot Hg + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Go = pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hn \cdot g \cdot RO_n + pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hv \cdot g \cdot RO_v + pi \cdot (Rs \cdot Rs - Rv \cdot Rv) \cdot Ho \cdot g \cdot RO_o$ $Lo = (Rs + 0,5(Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Lt = (Rs + (Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Hw = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot pi}$

Продолжение таблицы Д.2

$Gw = Vw \cdot g \cdot ROw$ $Hw1 = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot pi} - Rv \cdot ctga1$ $Hw2 = Hw1 + 2 \cdot Rv \cdot ctga1$ $H0 = \frac{3 \cdot Vw}{2 \cdot Rv \cdot Rv}$ $bk = H0 \cdot tga1$
$ak = \sqrt{Rv^2 - ck^2}$
<p>Математическая модель для фигур цилиндрического копыта и усеченного цилиндра</p>
$Vk = \frac{H0}{3 \cdot bk} [ak \cdot (3Rv^2 - ak^2) - 3Rv^2(Rv - bk) \cdot psi]$ $bk1 = H01 \cdot tga1$ $ak1 = \sqrt{Rv^2 - ck1^2}$ $Vk = \frac{H01}{3 \cdot bk1} [ak1 \cdot (3Rv^2 - ak1^2) - 3Rv^2(Rv - bk1) \cdot psi1]$ $OXk = Hg + Hn + \frac{H01}{3}$ $OYk = \left[2 \cdot Rs - \left(\frac{bk1}{3} + Rs - Rv \right) \right] \cdot tga1$ $Lwk = (OXk + OYk) \cdot cosa1$ $FA = Gg + Go + Gw$ $VwA = \frac{FA}{ROw \cdot g}$ $bA = 2 \cdot Rs$ $HA = bA \cdot ctga1$ $VkA = pi \cdot Rs^2 \cdot \frac{HA}{2}$ $HA1 = bA1 \cdot ctga1$ $VKA1 = \frac{Rs^2 \cdot HA1}{bA1} \left[\sqrt{2 \cdot Rs \cdot bA1 - bA1^2} \cdot \left(\frac{3 \cdot Rs^2 - 2 \cdot Rs \cdot bA1 + bA1^2}{3 \cdot Rs^2} \right) - (Rs - bA1) \cdot arccos \left(\frac{Rs - bA1}{Rs} \right) \right]$ $hAc1 = \frac{VwA}{pi \cdot Rs^2} - Rs \cdot ctga1$

Продолжение таблицы Д.2

$h_{Ac2} = h_{Ac1} + 2 \cdot R_s \cdot ctga1$ $OX_{cA} = \frac{h_{Ac1} \cdot h_{Ac2} + h_{Ac1}^2 + h_{Ac2}^2}{3(h_{Ac1} + h_{Ac2})}$ $OY_{cA} = \left(2R_s - \frac{4R_s \cdot h_{Ac1} + 2R_s \cdot h_{Ac2}}{3(h_{Ac1} + h_{Ac2})} \right) tga1$ $L_{cA} = (OY_{cA} + OX_{cA}) \cdot cosa1$ $T = \frac{Gg \cdot Lg + Go \cdot Lo + Gw \cdot Lwk - FA \cdot L_{cA}}{Lt}$
Математическая модель для фигур усеченного цилиндра
$Gg = g \cdot ROg \cdot pi \cdot Rv \cdot Rv \cdot Hg$ $Lg = (Rs + (0,5 \cdot Hg + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Go = pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hn \cdot g \cdot RO_n + pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hv \cdot g \cdot RO_v + pi \cdot (Rs \cdot Rs - Rv \cdot Rv) \cdot Ho \cdot g \cdot RO_o$ $Lo = (Rs + 0,5(Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Lt = (Rs + (Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Hw = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot pi}$ $Gw = Vw \cdot g \cdot RO_w$ $Hw1 = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot pi} - Rv \cdot ctga1$ $Hw2 = Hw1 + 2 \cdot Rv \cdot ctga1$ $OX_c = Rs + \frac{R_v^2 \cdot ctga1}{2Hw1 + 2Hw2}$ $OY_c = \left(\frac{Hw1 + Hw2}{4} + \frac{R_v^2 \cdot ctga1^2}{4 \cdot (Hw1 + Hw2)} + Hg + Hn \right) \cdot ctga1$ $Lwc = (OX_c + OY_c) \cdot cosa1$ $FA = Gg + Go + Gw$ $VwA = \frac{FA}{RO_w \cdot g}$ $h_{Ac1} = \frac{VwA}{pi \cdot Rs^2} - Rs \cdot ctga1$ $h_{Ac2} = h_{Ac1} + 2 \cdot R_s \cdot ctga1$ $OX_{cA} = \frac{h_{Ac1} \cdot h_{Ac2} + h_{Ac1}^2 + h_{Ac2}^2}{3(h_{Ac1} + h_{Ac2})}$ $OY_{cA} = \left(2R_s - \frac{4R_s \cdot h_{Ac1} + 2R_s \cdot h_{Ac2}}{3(h_{Ac1} + h_{Ac2})} \right) tga1$

Продолжение таблицы Д.2

$LcA = (OYcA + OXcA) \cdot \cos a1$ $T = \frac{Gg \cdot Lg + Go \cdot Lo + Gw \cdot Lwk - FA \cdot LcA}{Lt}$
Математическая модель для фигур прямого цилиндра
$Gg = g \cdot ROg \cdot \pi \cdot Rv \cdot Rv \cdot Hg$ $Lg = (Rs + (0,5 \cdot Hg + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Go = \pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hn \cdot g \cdot ROh + \pi \cdot Rs \cdot Rs \cdot hv \cdot g \cdot ROv + \pi \cdot (Rs \cdot Rs - Rv \cdot Rv) \cdot Ho \cdot g \cdot ROo$ $Lo = (Rs + 0,5(Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Lt = (Rs + (Ho + Hv + Hn) \cdot ctga1) \cdot sina1$ $Hw = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot \pi}$ $Gw = Vw \cdot g \cdot ROw$ $Hw1 = \frac{Vw}{Rv \cdot Rv \cdot \pi} - Rv \cdot ctga1$ $Hw2 = Hw1 + 2 \cdot Rv \cdot ctga1$ $OXc = Rs + \frac{Rv^2 \cdot ctga1}{2Hw1 + 2Hw2}$ $OYc = \left(\frac{Hw1 + Hw2}{4} + \frac{Rv^2 \cdot ctga1^2}{4 \cdot (Hw1 + Hw2)} + Hg + Hn \right) \cdot ctga1$ $Lwc = (OXc + OYc) \cdot \cos a1$ $FA = Gg + Go + Gw$ $VwA = \frac{FA}{ROw \cdot g}$ $hAc1 = \frac{VwA}{\pi \cdot Rs^2} - Rs \cdot ctga1$ $hAc2 = hAc1 + 2 \cdot Rs \cdot ctga1$ $LA = Rs$ $T = \frac{Gg \cdot Lg + Go \cdot Lo + Gw \cdot Lwk - FA \cdot LA}{Lt}$