

На правах рукописи

Мякотных Алина Алексеевна



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

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

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

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Иванов Сергей Леонидович

Официальные оппоненты:

Великанов Владимир Семенович

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра подъемно-транспортных машин и роботов, профессор;

Зверев Валерий Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра горной электромеханики, доцент.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Защита диссертации состоится **18 сентября 2025 г. в 15:30** на заседании диссертационного совета ГУ.2 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 3321.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.
Автореферат разослан 18 июля 2025 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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., Шти-

на 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 гидравли-

ческой 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 энерго-технологического 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 пе-

ремещения мостовой платформы, защищенные патентами Российской Федерации (№№ 2807666, 2739147, 216019).

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).

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 досто-

верностью 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, 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 (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 патента на изобретение и 1 патент на полезную модель.

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, определены цель, задачи, а также научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор состояния изученности темы диссертационного исследования. Описаны физико-механические свойства неосушенных торфяных месторождений, осуществлен анализ существующих и разрабатываемых комплексов добычи торфяного сырья, представлен анализ причин отказов гидравлического оборудования, входящего в эти комплексы, а также анализ существующих методов контроля состояния гидравлической жидкости как основной причины отказов гидравлического оборудования.

Во второй главе представлена разработанная классификация комплексов добычи торфяного сырья. Описана технология добычи торфяного сырья на неосушенных торфяных месторождениях естественного залегания. Предложено техническое решение мостовой платформы, схемное решение ее механизма перемещения, а также обоснована структура мостовой платформы. Выявлена закономерность влияния степени загрязнения гидравлической жидкости гидравлической системы механизма перемещения на уровень ее коэффициента готовности. Получена функциональная зависимость величины водяного балласта полых опор для обеспечения их вертикального положения.

В третьей главе приведена программа планирования экспериментальных исследований. Представлены результаты лабораторных исследований по оценке коэффициента готовности гидравлической системы на основе выявленных закономерностей изменения величины высокочастотного звукового сигнала и класса чистоты перекачиваемой гидравлической жидкости, а также результаты исследований по определению необходимого балластного нагружения опоры.

В четвертой главе дано описание мостовой платформы и комплекта оборудования для ее функционирования. Описана принципиальная гидравлическая схема механизма перемещения мостовой платформы по основанию конечных размеров. Даны рекомендации по проведению мониторинга гидрофицированного горного оборудования и принятия обоснованных решений о замене гидравлической жидкости в рамках реализации мероприятий технического обслуживания и ремонта гидрофицированных машин по их фактическому состоянию.

В заключении изложены основные выводы по результатам проведенных исследований.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Функциональность платформы при производстве работ обеспечивается ее рациональной структурой, сочетающей технологические возможности с техническими характеристиками оборудования, объединенного в автономный энерготехнологи-

ческий центр в составе дизель-генератора и грузоподъемных устройств, а продвижение платформы над поверхностью неосушенного торфяного месторождения по стабильному основанию обуславливают силовые элементы гидравлической трансмиссии.

Для решения поставленной задачи была выбрана годовая программа добычи торфяного сырья в $5 \cdot 10^4$ т у.т. 40 % влаги. Объем торфа-сырца влагой 92 % для получения таких объемов готовой продукции должен составлять $3,8 \cdot 10^5$ м³ ($3,76 \cdot 10^5$ т). При работе комплекса в трехсменном режиме с фондом рабочего времени в 8760 ч его потребная техническая производительность составит около 45 м³/ч. Принимая среднюю мощность залежи в 2 м, целесообразно задействовать гидроманипулятор с параметрами, эквивалентными экскаватору E225C, в качестве основной грузоподъемной машины с эксплуатационной производительностью единицы оборудования, равной 94 м³/ч. Из размерного ряда пролетов мостовых и козловых кранов длина платформы принята равной 12 м, а ширина – 6 м.

Насыщенность платформы оборудованием ограничивается принципом разумной достаточности при максимально возможной площади обработки (S) и объемом (V) добываемого торфяного сырья при минимизации массы (M) оборудования и максимально возможной производительности за цикл ($Q_{ц}$). Масса оборудования определяется количеством единиц грузоподъемного оборудования и массой вспомогательных устройств для обеспечения функционирования платформы. Предельной считается суммарная масса оборудования в 40 т. Анализируя изменение функций $S=f(M)$ и $V=f(M)$, получаем экстремум, однозначно определяющий две единицы грузоподъемного оборудования на платформе. Функция $Q_{ц}=f(M)$ не имеет экстремума, но ограничивается предельной массой оборудования также в две единицы. 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. Для обеспечения энергией платформа должна включать силовой блок мощностью 500 кВт.

На основании представленных решений была разработана функциональная структура мостовой платформы (рисунок 1) с технологическими машинами (элементами), выполняющими целевые функции.

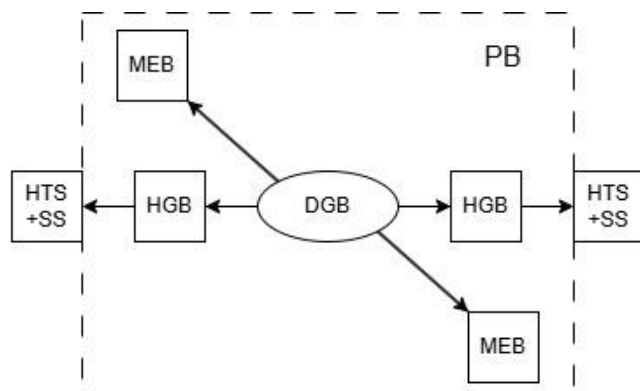


Рисунок 1 – Функциональная структура мостовой платформы с технологическими машинами (элементами)

В частности, реализация добычи торфяного сырья осуществляется с помощью представленных грузоподъемных устройств со сменными рабочими органами, детерминировано перемещаемых по поверхности платформы, а также соединенных в единую систему через связи, обеспечивающие соединение (+) или совмещение (·) элементов и модулей, формируя автономный энерготехнологический центр 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- и гидрогенерации *DGB* (*diesel generation on base*) и *HGB* (*hydraulic generation on base*) соответственно. Модуль гидрогенерации (*HGB*) предназначен для функционирования гидравлической трансмиссии перемещения *HTS* (*hydraulic transmission for stepping*), кинематически связанной с корпусом платформы *PB* (*platform is base*) и элементами перемещения *SS* (*stepping ski*).

Структурная запись состава и связей АЭТЦ ГО представлена в виде выражения (1):

$$AЭТЦ ГО = \sum_{i=1}^2 (M_{D MEBi} + Fg_{D MEBi} + Fe_{D MEBi} + M_{T MEBi} + Fe_{T MEBi} + I_{MEBi} \cdot E_{MEBi}) + \sum_{j=1}^2 (Fg_{HGBj} + M_{SSj} + Fe_{HGBj} + I_{HGBj} \cdot E_{HGBj}) + Fg_{DGB} + Fe_{DGB} + I_{DGB} \cdot E_{DGB} + I_{PB} \cdot E_{PB} \quad (1)$$

Здесь первые прописные латинские буквы обозначают механическую составляющую (*M*), гидравлическую трансмиссию или гидропривод (*Fg*), электрический привод (*Fe*), информационную (*I*) и электронную (*E*) составляющие. Два последних компонента представляют собой блоки управления и обратной связи, а также потоки данных от датчиков, осуществляющих мониторинг рабочего состояния. Эти элементы являются частью системы автоматизации. Подстрочные индексы указывают на принадлежность к соответствующему оборудованию.

На основе разработанной функциональной схемы была составлена параметрическая схема мостовой платформы (рисунок 2). Для этого был определен перечень основного оборудования, получены обоснованные размеры самой платформы, определены ее масса и грузоподъемность при обеспечении ее рациональной структуры, сочетающей технологические возможности с техническими характеристиками оборудования, объединенного в автономный энерго-технологический центр в составе дизель-генератора и грузоподъемных устройств. На рисунке 2 также представлен максимальный радиус выдвижения грузоподъемного оборудования, равный 9,78 м, эффективный радиус для случая расположения платформы на два метра выше уровня поверхности, равный 6,35 м, максимальный радиус копания на расстоянии 4 м от края платформы, равный 9,05 м, а также зона перекрытия обоих выемочных агрегатов.

Учитывая массовые характеристики оборудования и конструкций, масса платформы с оборудованием составит около 40 т, а ее грузоподъемность – 60 т. На мостовой платформе также размещено сменное оборудование АЭТЦ ГО в 20 номенклатурных единиц, используемое для выполнения соответствующих работ: добычи, вспомогательных работ, монтажа и демонтажа, создания инфраструктуры, прокладки путей и разработки траншей. Высокий коэф-

фициент использования сменного оборудования, равный 1,85 для выполнения различного вида работ, характеризует уровень многофункциональности платформы.

Мостовая платформа также требует создания надежных оснований между заболоченной поверхностью и опорами механизма перемещения платформы. Такими опорными поверхностями могут быть кусты винтовых свай. 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. Комплекс таких решений представлен в разработанной классификации (рисунок 3) с позициями 31 и 32. В этом случае, используя опоры с положительной плавучестью, реализуется дополнительный эффект компенсации веса платформы.

Применение платформы возможно не только для экскаваторной добычи торфяного сырья, но и для гидромеханизированной добычи, установки свайных конструкций на заболоченных территориях, разработки траншей на торфяных залежах I, II и III типов. 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 на полезную модель № 216019). В процессе добычи платформа движется по зигзагообразной траектории с разворотом на 180° при достижении границы карьерного поля или блока. Выемка сырья осуществляется с тыльной стороны платформы относительно направления ее движения; транспортировка экскавируемого сырья

осуществляется баржами, перемещающимися по челноковой схеме. Технология не требует водопонижения территории на стадии подготовки месторождения, позволяет уменьшить временные затраты на начало освоения месторождения до 3 лет и для месторождения годовым объемом добычи 50000 т у.т. влагой 40 % сократить энергозатраты на производство подготовительных работ до 10 ТДж. Вместе с тем не требуются рекультивационные мероприятия после отработки месторождения.

Для продвижения платформы над поверхностью неосушенного торфяного месторождения по стабильному основанию предложено техническое решение, защищенное патентом на изобретение №2807666, заключающееся в формировании механизма перемещения, выполняющего две основные функции: поддержание платформы на полых вертикальных полупогружных цилиндрических опорах и перемещение по ним платформы при помощи силовых элементов 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.

Работа механизма перемещения основана на функционировании гидравлического оборудования (рисунок 4), а эффективность работы гидравлической системы напрямую влияет на работоспособность платформы. В условиях эксплуатации комплекс находится на значительном удалении от ремонтной базы, поэтому критически важным аспектом становится обеспечение его безотказной работы.

Гидравлическая схема механизма перемещения, представленная на рисунке 5, включает гидравлические домкраты 1 и гидравлические цилиндры перемещения 2. 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 перемещения – 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.

Согласно статистическим данным, около 80 % отказов гидравлических систем обусловлены качеством гидравлической жидкости. 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, в частности, по оценке его приведенного параметра – интегрального показателя трения.

Загрязнение имитировалось соответствующими композициями абразивных частиц. Целью эксперимента было выявление изменения величины акустического сигнала в диапазоне частот 20-300 кГц при работе шестеренного насоса, перекачивающего гидравлическую жидкость различного класса чистоты. Результаты экспериментов показали, что контролируемый сигнал достаточно чувствителен к загрязнению (рисунок 6). На основе полученных данных был предложен порядок экспресс-диагностической оценки состояния гидравлической жидкости по величине интегрального показателя трения D акустико-эмиссионного сигнала. Для соответствия уровня акустического сигнала и коэффициента готовности K_r , соответствующему классу чистоты жидкости (индексу загрязненности z) и интегральному показателю трения D , выражающего величину аку-

стико-эмиссионного сигнала, было получено регрессионное уравнение (2):

$$K_r = -10^{-5}D^2 + 2 \cdot 10^{-4}D + 0,9897. \quad (2)$$

Таким образом, контроль коэффициента готовности гидравлической системы механизма перемещения мостовой платформы осуществим посредством величины акустико-эмиссионного сигнала в диапазоне частот от 20 до 300кГц с достаточной для практики точностью (патент на изобретение № 2739147). При этом использование установленной зависимости коэффициента готовности от величины интегрального показателя трения D (3) позволяет вести мониторинг ее состояния с оценкой коэффициента готовности гидравлической системы от 0,99 до 0,90 (рисунок 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения, обеспечивающие функциональность мостовой платформы и заданный уровень готовности механизма ее перемещения при освоении территории торфяного месторождения без предварительного водопонижения, 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) для комплексного освоения территорий торфяных месторождений без предварительного водопонижения территорий, «Устройство для оценки загрязнения жидкости трансмиссии» (патент на изобретение № 2739147) 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) 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) 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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. 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.

2. 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.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. **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.

4. **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.

Публикации в прочих изданиях:

5. 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. – Vol. 326. – P. 00014. – DOI: 10.1051/e3sconf/202132600014.

6. **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, Кеме-

рово, 30 ноября – 01 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 659-662.

7. 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.

8. 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.

9. **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.

10. **Мякотных, А.А.** К вопросу о создании мостовой платформы для добычи торфяного сырья из обводненной залежи / **А.А. Мякотных** // 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.

11. **Мякотных, А.А.** Схемное решение механизма перемещения мостовой платформы по обводненной торфяной залежи / **А.А. Мякотных**, П. В. Иванова, С. Л. Иванов // Актуальные про-

блемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 83-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 21-25 апреля 2025 года. – Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2025. – Т.1. – С. 48.

12. **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.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

13. 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.

14. 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.

15. 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.

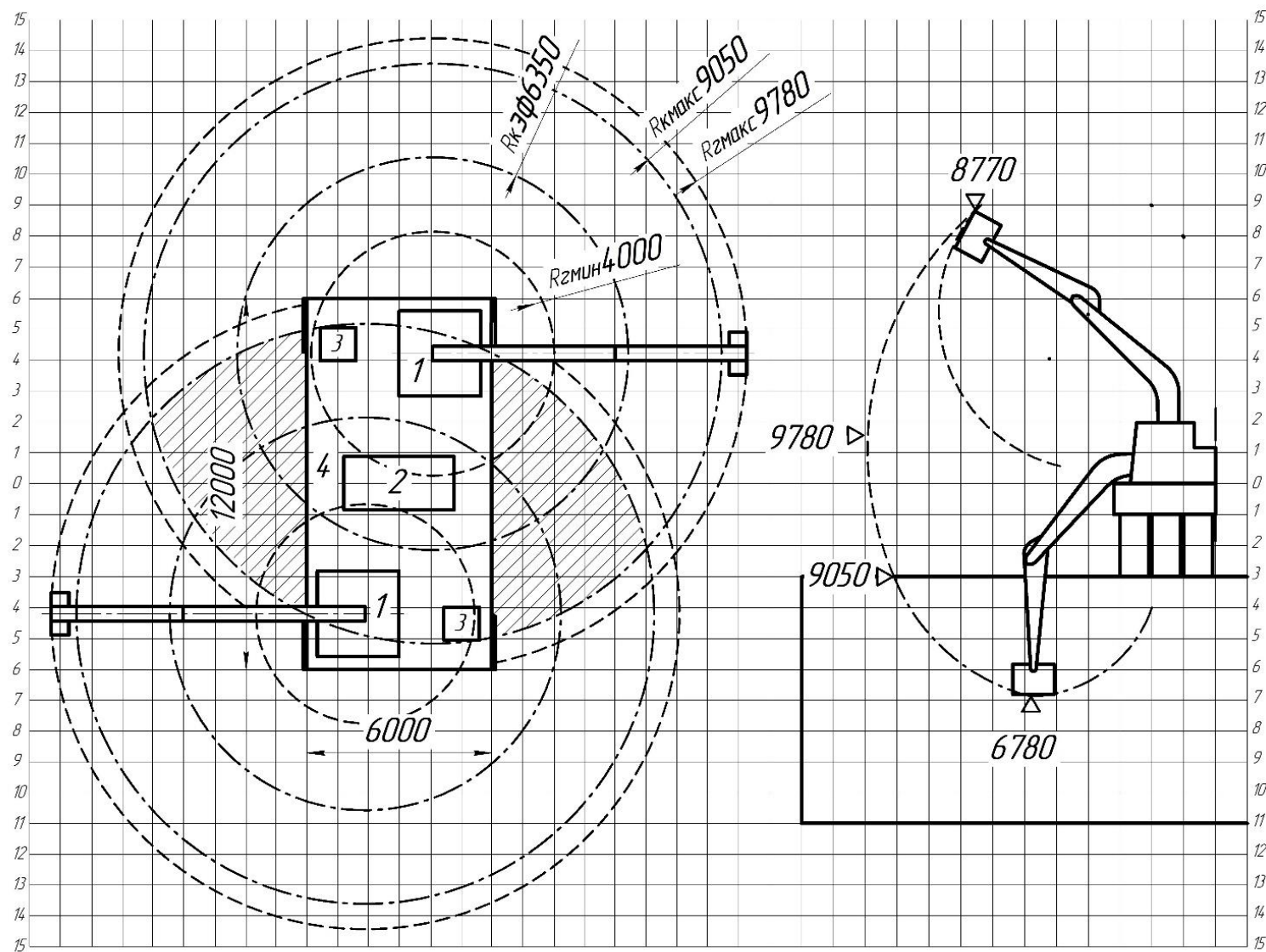


Рисунок 2 – Параметрическая схема функциональных элементов мостовой платформы

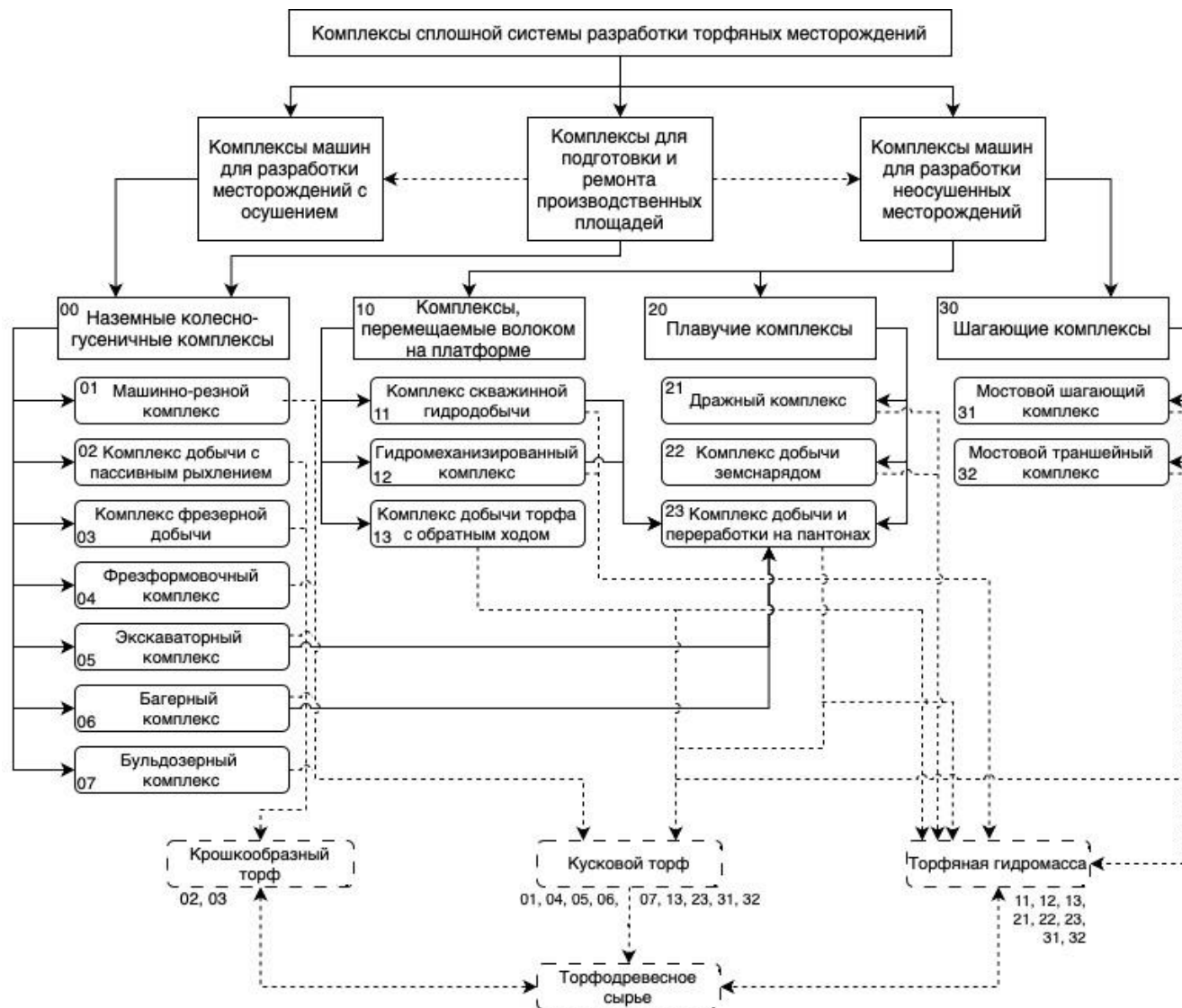


Рисунок 3 – Классификация комплексов добычи торфяного сырья

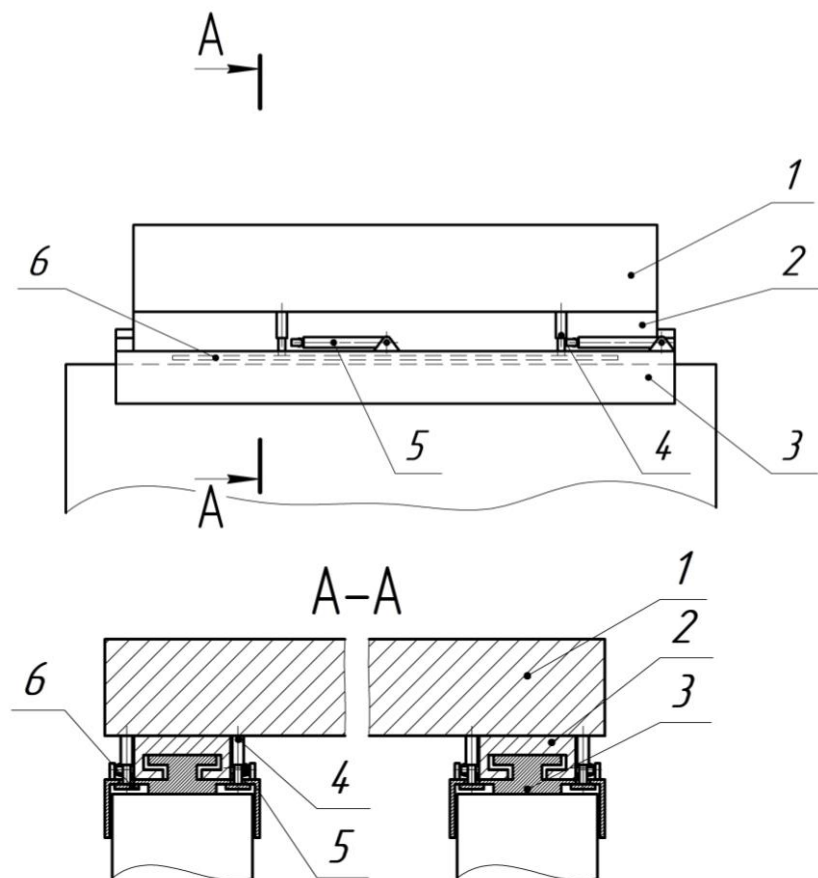


Рисунок 4 – Механизм перемещения мостовой платформы
(1 – платформа; 2 – направляющая платформы; 3 – основание; 4 – гидравлические домкраты; 5 – гидравлические цилиндры перемещения; 6 – опорная лыжа)

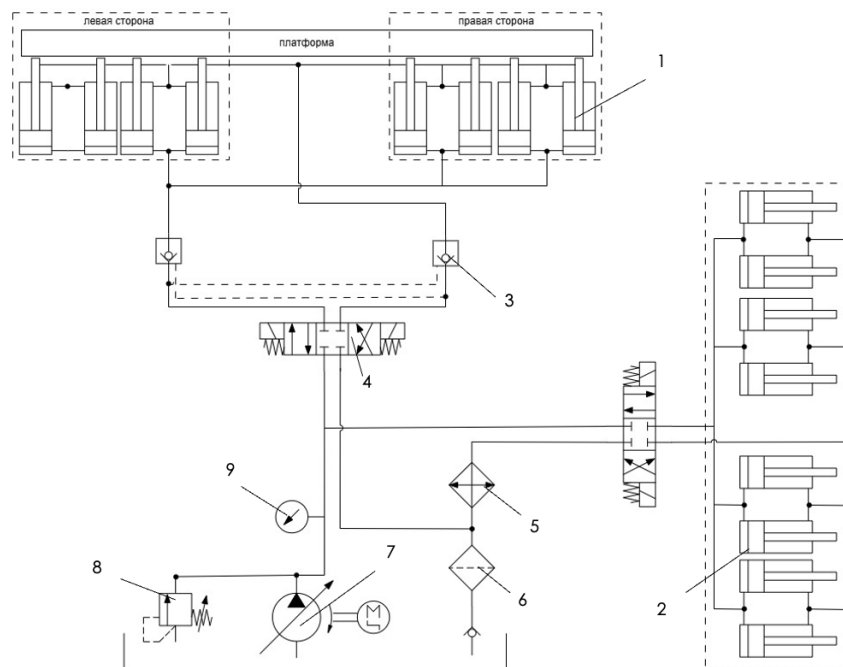


Рисунок 5 – Гидравлическая схема механизма перемещения мостовой платформы (1 – гидравлические домкраты, 2 – гидравлические цилиндры перемещения, 3 – гидравлические замки, 4 – распределители, 5 – охладитель, 6 – фильтр, 7 – регулируемый насос с электродвигателем, 8 – напорный клапан, 9 – манометр)

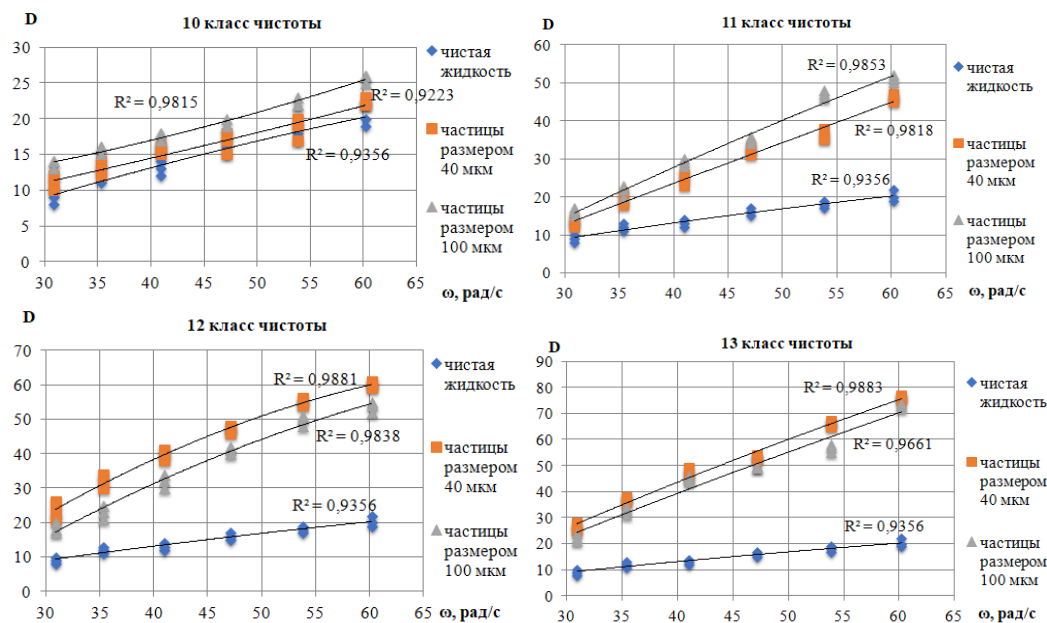


Рисунок 6 – Зависимость интегрального показателя трения от скорости вращения вала мотор-редуктора при 11 и 12 классах чистоты гидравлической жидкости

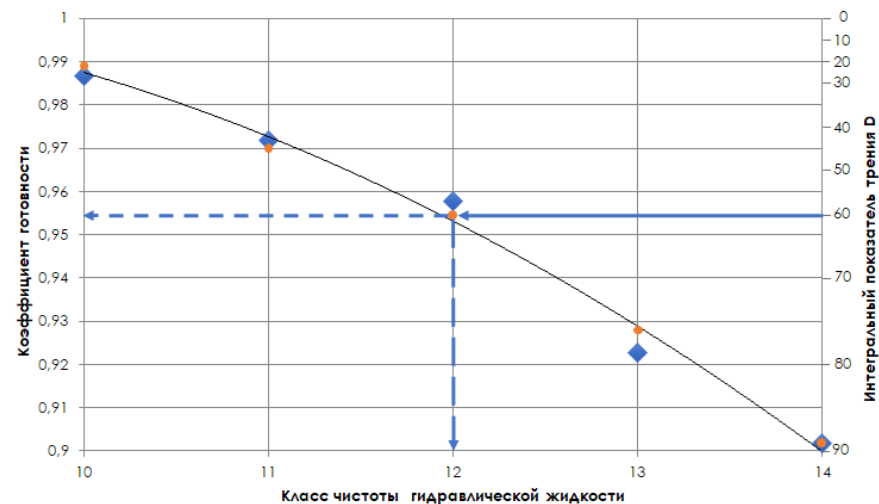


Рисунок 7 – Изменение величины коэффициента готовности по величине интегрального показателя трения при скорости вращения вала мотор-редуктора 60,2 рад/с