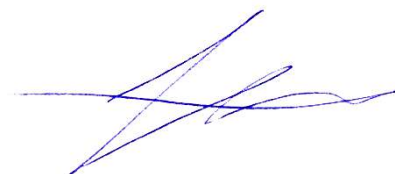


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



На правах рукописи

Шошин Александр Сергеевич

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ
БУРОВОГО СТАВА БУРОВЫХ ТРАКТОРНЫХ СТАНКОВ**

2.5.2. Машиноведение (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Гринчар Николай Григорьевич

Официальные оппоненты: **Трушин Николай Николаевич**
доктор технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тулский государственный университет», кафедра
«Технология машиностроения», профессор;

Рыбак Александр Тимофеевич
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донской государственный технический
университет», кафедра «Гидравлика,
гидропневмоавтоматика и тепловые процессы»,
заведующий кафедрой.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»,
г. Москва.

Защита состоится 30 мая 2024 г. в «15» час «00» мин на заседании диссертационного совета 40.2.002.07 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ):
www.miiit.ru.

Автореферат разослан «___» апреля 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Основными направлениями развития машиностроения предусматривается повышение производительности труда в строительстве. При этом особое внимание уделяется качеству выпускаемых машин.

Широкие масштабы строительных работ в Российской Федерации предусматривают ежегодную разработку больших объемов как горных пород, так и вечномерзлых грунтов, большая часть которых требует применения буровзрывных работ. Наиболее трудоемким процессом подготовки пород к выемке является создание скважин.

Основу машинного парка, обеспечивающего разработку взрывных скважин, составляют строительные буровые машины, на базе промышленных тракторов.

Основную часть парка машин этого типа составляют буровые тракторные станки (БТС) БТС-150 на базе трактора Т-170 и его модификаций. Основным фактором, снижающим эксплуатационную производительность строительных буровых машин, являются простои, обусловленные довольно низкой надежностью узлов и механизмов.

Режимы нагружения строительных буровых машин имеют резко выраженный динамический характер, обусловленный работой в породах со сложными физико-механическими свойствами (трещиноватые породы, породы с валунными включениями, вечномерзлые грунты).

Учитывая вышеизложенное, начиная с 1970-х гг. начался переход на гидрообъемные трансмиссии в приводах строительных буровых машин, когда было освоено производство мощных аксиально-поршневых и радиально-поршневых гидромашин. Объемный гидропривод позволяет существенно снизить динамические нагрузки и таким образом существенно повысить эксплуатационную надежность.

Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационной надежности гидропривода буровых станков является совершенствование конструкции. В качестве наиболее эффективных путей решения этой задачи можно указать два основных варианта:

- упрощение гидрокинематической схемы привода;
- подбор гидроаппаратов с параметрами, позволяющими наиболее рационально решить задачу.

Определение рациональных параметров привода вращения бурового става буровых тракторных станков позволит снизить колебания нагрузки на гидропривод (колебания давления), с одной стороны, и повысить эксплуатационную надежность и долговечность гидроаппаратов, с другой стороны.

Степень разработанности темы. В трудах советских и российских ученых разработаны основные положения динамического расчета высокопроизводительных строительных машин и их рабочих органов для работы в грунтах всех категорий. В то же время физическая возможность рационализации динамических режимов строительной машины определяется спецификой ее работы и конструкции.

Основные пути снижения динамических воздействий и повышения качества буровых машин транспортного строительства рассмотрены в работах Г.С. Загорского, Ю.П. Майорова, Н.А. Недорезова и др.

В указанных работах рассматривались проблемы оптимизации параметров конструкции буровых тракторных станков на базе промышленных тракторов типа Т-130 и Т-170. Были разработаны рациональные варианты конструкции основных приводов машин – привод вращения бурового става и привод подачи. Было доказано, что с учетом основных факторов, действующих на привод, наиболее рациональным вариантом является применение гидравлического объемного привода в силу известных его преимуществ. [3, 19, 20, 45, 55, 65, 66, 71, 72, 74, 83]. В то же время специфические условия работы буровых тракторных станков в железнодорожном, гражданском и транспортном строительстве требуют дальнейших исследований в указанной сфере.

В фундаментальных трудах отечественных ученых В.Н. Прокофьева, Т.М. Башты, В.М. Бермана и др. рассмотрены вопросы разработки, расчета и проектирования гидравлических систем строительных и дорожных машин, в том числе машин транспортного строительства, работающих в нестационарных динамических режимах.

Непосредственное влияние на развитие буровой техники оказали научные работы профессоров В.Д. Буткина, Б.Н. Кутузова, И.Ф. Медведева, В.А. Муравенко, И.Э. Наринского и др.

Основными приводами буровых станков являются привод подачи бурового става на забой и привод вращения бурового става. Последний работает в наиболее сложных условиях с точки зрения динамики процесса бурения, что приводит к значительным колебаниям давления в приводе, когда машина имеет полностью гидравлический объемный привод. Таким образом, наибольшего эффекта при

модернизации и разработке новых машин можно достичь, совершенствуя привод вращения бурового става.

Объект исследования – привод вращения бурового става буровых тракторных станков.

Предмет исследования – взаимосвязи между конструктивными параметрами привода вращения бурового става и их влияние на надежность и долговечность.

Цель работы – определение рациональных параметров и повышение надежности привода вращения бурового става буровых тракторных станков.

Поставленная цель может быть достигнута прежде всего за счет внесения изменений в конструкцию привода вращения, позволяющих снизить статические и динамические нагрузки на основные агрегаты гидропривода, упростить конструкцию, а также за счет совершенствования методик расчета с применением современной компьютерной и вычислительной техники.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать динамические нагрузки, действующие на привод вращения бурового става;
- изучить возможности повышения надежности гидропривода вращения бурового става за счет внесения изменений в его конструкцию и исследовать влияние возможных конструктивных изменений на условия работы;
- оценить показатели надежности привода вращения бурового става буровых тракторных станков до и после внесения изменений в конструкцию;
- разработать компьютерную модель функционирования привода вращения бурового става с целью уточнения нагрузок, действующих на привод с учетом его конструктивных особенностей;
- разработать конструктивные решения, позволяющие добиться повышения надежности работы привода вращения бурового става в эксплуатационных условиях.

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем:

- установлено, что при выборе гидропневмоаккумулятора привода вращения бурового става имеется рациональный уровень рабочего объема, при котором колебания давления в приводе сглаживаются наилучшим образом и превышение которого нецелесообразно;
- установлено, что замена привода вращения бурового става с низкомоментным гидромотором и одноступенчатым редуктором на привод с

высокомоментным гидромотором без редуктора оказывает положительное влияние на снижение колебаний давления в гидроприводе вращения бурового става, при этом амплитуда колебаний снижается в 1,5–1,7 раза в зависимости от режима бурения;

– разработана математическая модель надежности работы гидропривода вращения бурового става, учитывающая конструктивное исполнение привода, параметры надежности агрегатов, позволяющая анализировать ресурс агрегатов системы;

– разработана компьютерная модель, позволяющая оценить режим работы гидропривода вращения бурового става при разных условиях эксплуатации на этапе проектирования.

Теоретическая значимость работы

– показано, что наиболее тяжелыми в плане режима нагружения привода вращения бурового става являются условия при бурении трещиноватых скальных пород;

– установлено, что в любой проектной ситуации существует такое состояние гидравлической системы, в котором она характеризуется уникальным набором рациональных конструктивных параметров, позволяющих обеспечить стабилизацию давления с учетом режима нагружения;

– установлено, что переход на использование в приводе вращения высокомоментного гидромотора с одновременным исключением редуктора из гидрокинематической схемы на безредукторный привод позволяет увеличить срок службы агрегатов системы вращения бурового става примерно в 1,5 раза вне зависимости от того, какой уровень безотказной работы принят за критический;

– значения предельных величин объемного коэффициента полезного действия (КПД) гидропривода как фактора, определяющего эффективность работы буровых тракторных станков, зависит от эксплуатационных условий, в частности, от характеристик разрабатываемой горной породы;

– на основе проведенного теоретического анализа существующих расчетных методик, а также компьютерного моделирования установлено, что существует интервал значений объемов гидропневмоаккумуляторов, в котором конкретный объем гидропневмоаккумулятора для определенной гидросистемы, соответствует максимальному эффекту стабилизации давления; установлено, что увеличение рабочего объема гидропневмоаккумулятора свыше величины 40–50 л не оказывает

положительного эффекта на стабилизацию давления в гидроприводе вращения бурового става.

Практическая значимость работы:

– определены рациональные параметры основных гидроагрегатов, составляющих привод вращения бурового става (гидромотор, гидропневмоаккумулятор), близкие к оптимальным;

– разработана новая конструкция привода вращения без редуктора бурового става с учетом разных режимов нагружения, а также с учетом влияния колебаний, возникающих при бурении;

– исследовано влияние предлагаемых конструктивных изменений в приводе вращения бурового става, обеспечивающее положительный эффект в плане повышения надежности работы привода.

Положения, выносимые на защиту:

– замена низкомоментного гидромотора в приводе вращения бурового става на высокомоментный с одновременным исключением промежуточного редуктора позволяет существенно повысить вероятность безотказной работы привода;

– анализ изменения объемного КПД гидропривода буровых машин транспортного строительства и его взаимосвязи с процессом бурения скальных пород показал, что характер его изменения удовлетворительно описывается квадратичной зависимостью;

– оптимальный рабочий объем гидропневмоаккумулятора, применяемого в гидроприводе вращения бурового става машин типа БТС-150, зависит преимущественно от параметров гидромотора и характера нагрузок, действующих на буровой став;

– доказана возможность существенного снижения колебания нагрузки на гидропривод вращения става буровых тракторных станков за счет рационального подбора конструктивных параметров агрегатов, составляющих привод.

Степень достоверности и апробация работы

Достоверность полученных результатов подтверждается данными из сферы эксплуатации буровых тракторных станков, результатами компьютерного моделирования, а также результатами экспериментальных исследований, проводившихся на натурных образцах буровой машины БТС-150.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»

Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ) с 2019 по 2023 г., а также на семи научно-технических конференциях российского и международного уровня, таких как Международная научно-практическая конференция «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях» (Белгород, 2019); XXIII Московская международная межвузовская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы» (2019); Международная научно-практическая конференция «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях» (Белгород, 2020); XXIV международная научно-практическая конференция «Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки» (Morrisville, 2020); Международная научно-практическая конференция «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях» (Белгород, 2021); Международная научно-практическая конференция «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях» (Белгород, 2022); XXVII Московская международная межвузовская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы» (2023).

Результаты диссертации внедрены на заводе-изготовителе буровых тракторных станков БТС-150 Акционерное общество «Можайское экспериментально-механическое предприятие» (АО «МЭМП»).

Акт внедрения приложен в приложении к диссертации.

Структура и объем работы

Диссертационная работа изложена на 223 страницах компьютерного текста, состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 95 наименований, а также 7 приложений на 53 листах. Текст содержит 67 рисунков, 36 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, изложена ее структура и кратко раскрыто содержание разделов диссертации, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость результатов.

В разделе 1 изложен анализ результатов проведенных ранее исследований в области определения рациональных параметров привода вращения бурового става. Рассмотрено современное состояние вопроса.

На эффективность работы строительных буровых машин в основном влияют следующие факторы:

- конструктивные и технологические данные породоразрушающих инструментов (шарошечных долот);
- режимы бурения;
- конструктивные данные машины;
- физико-механические свойства разрабатываемой породы.

Крепость породы характеризуется коэффициентом крепости f , значение которого изменяется от 6 до 20, согласно шкале, предложенной М.М. Протодяконовым для скальных пород.

Большие движущиеся массы в приводе бурового става, а также наличие в гидромагистралях рабочей жидкости, обладающей инерционными и упругими свойствами, интенсификация режимов бурения выдвинули проблему снижения постоянно действующих динамических нагрузок и защиты от них элементов гидросистем буровых машин на одно из первых мест.

Особенность работы буровых тракторных станков заключается в том, что оператор лишен возможности заранее оценить нагрузку, которую предстоит преодолеть вращательному механизму, т. е. нагрузка механизма вращения является случайной величиной.

Надежность работы основных узлов машины определяются тем, насколько расчетные нагрузки соответствуют действительным, возникающим при его работе и характеризующимся резкими квазислучайными изменениями.

В разделе 2 проведен анализ работы привода вращения бурового става.

На колебания давления в гидроприводе влияют физико-механические свойства разрабатываемых скальных грунтов, а также кинематические параметры исполнительного органа, масса и геометрические параметры става, тип долота.

Для снижения динамических нагрузок в приводе системы исполнительный орган–трансмиссия–двигатель рекомендуется применять конструкции, включающие демпфирующие элементы.

Исследованиями, проводившимися на кафедре «Наземные транспортно-технологические средства» Российского университета транспорта (МИИТ), было

установлено, что для придания процессу бурения устойчивого характера необходимо использовать гидропневмоаккумулятор.

Анализ режимов нагружения гидросистемы вращателя бурового става, представленных на рисунках 1, 2 показывают, что он носит нестационарный характер, связанный с неоднородностью физико-механических свойств разрабатываемой породы.

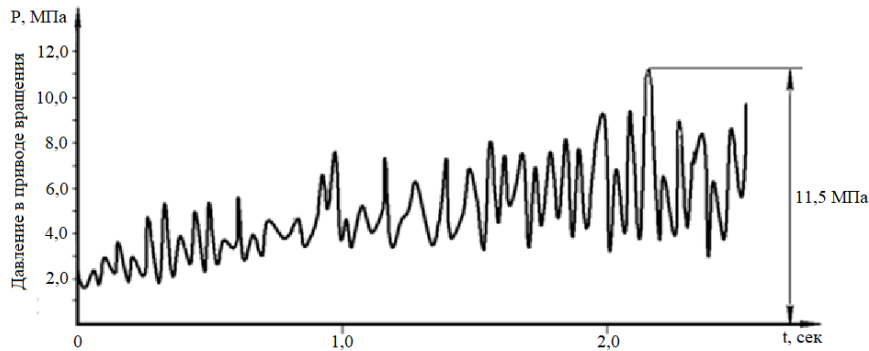


Рисунок 1 – Давление в гидросистеме вращения бурового става БТС-150 (период пуска)

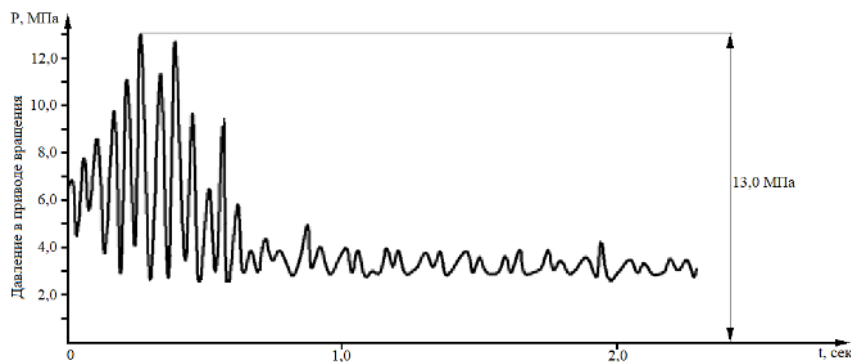


Рисунок 2 – Давление в гидросистеме вращения бурового става БТС-150 (в период перехода в холостой режим)

Для анализа работы гидропривода была составлена аналитическая модель. При этом были сделаны некоторые допущения: волновые процессы в трубопроводах не учитываются; предохранительно-переливные клапаны могут быть представлены как безынерционные звенья; процессы в гидропневмоаккумуляторах считаются изотермическими; потери давления в системе по длине трубопровода учитываются, как следствие вязкого трения при ламинарном течении жидкости; объемные потери в насосе и гидромоторе прямо пропорциональны давлению в напорной линии; механические характеристики дизеля приняты как типовые.

Как было показано в работах ряда исследователей – Загорского Г.С., Ковальского В.Ф., Майорова Ю.П., Шульпина И.Д., посвященных объемному гидроприводу, такие допущения не приводят к сколько-нибудь заметному искажению

результатов при оценке параметров режима работы гидропривода.

На основании результатов, полученных при исследовании, можно утверждать, что при некоторых режимах работы может происходить резкое возрастание давления в гидроприводе как по пиковым значениям, так и по амплитуде колебаний. Такие колебания давления крайне отрицательно сказываются на таких параметрах, как надежность и долговечность гидроагрегатов. Стабилизация нагрузки двигателя и гидросистемы может быть достигнута реализацией рациональных конструктивных параметров привода вращения бурового става с учетом использования гидропневмоаккумулятора с целью стабилизации режима нагружения.

В разделе 3 рассмотрены вопросы повышения надежности гидропривода буровых машин транспортного строительства.

Как известно, для приводов мобильных машин, являющихся изделиями ремонтируемыми, эксплуатируемыми до предельного состояния в циклическом режиме, с доминирующим фактором в качестве последствия отказа – простоем, основными показателями надежности являются гамма-процентный ресурс γ и коэффициент готовности K_g . Также важными с точки зрения надежности свойствами приводов являются безотказность и долговечность.

Обеспечение надежности и долговечности приводов – задача, требующая комплексного решения на этапе создания и в процессе эксплуатации гидроприводов на основе качественного и статистического анализа причин отказов и неисправностей, анализа влияния внешних факторов на накопление необратимых изменений в элементах конструкции, отчетливой картины протекания физических процессов в приводе при его работе. Факторы, влияющие на надежность приводов машин, представлены на схеме (рисунок 3).

Распределение отказов по системам и аппаратам буровых машин типа БТС-150 представлено на рисунке 4. Как следует из диаграммы отказов, почти треть приходится на привод вращения бурового става.

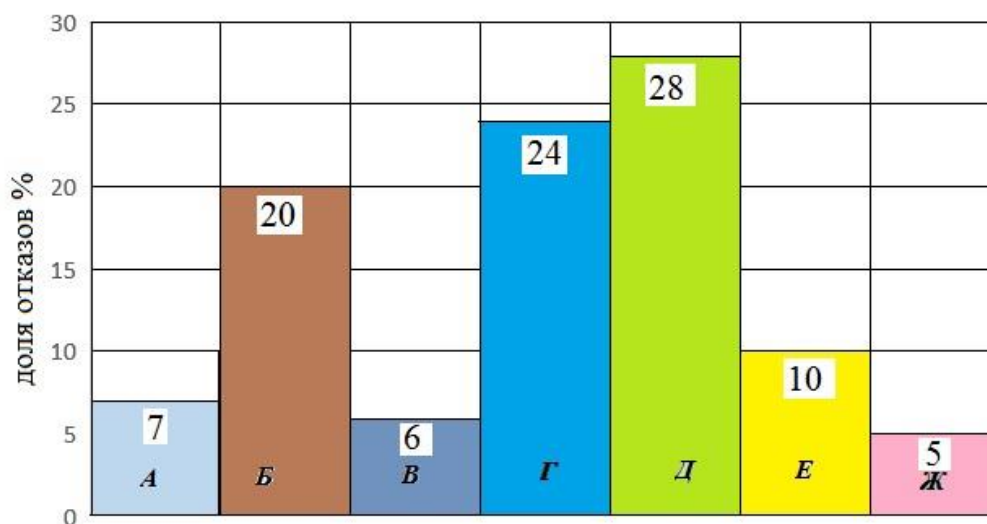
Это обстоятельство может быть объяснено тем, что привод вращения (28 %) наряду с приводом подачи (24 %) является наиболее нагруженным как с точки зрения давления в гидросистеме и крутящего момента на буровом става, так и с точки зрения использования по времени в течение рабочей смены.

Основным эксплуатационным параметром, характеризующим состояние объемного гидропривода и его элементов, являются объемные потери рабочей

жидкости и КПД – общий и объемный – при нормированном давлении (давление настройки предохранительного клапана основного насоса).



Рисунок 3 – Факторы, влияющие на надежность гидросистем строительных машин



А – система управления, Б – ДВС, В – ходовое оборудование, Г – привод подачи, Д – привод вращения бурового става, Е – вспомогательные приводы, Ж – система пылеподавления

Рисунок 4 – Распределение отказов по системам

Снижение объемного КПД в процессе эксплуатации хорошо описывается формулой вида $\eta = -At^2 + B$, (B – начальное значение параметра, A – некоторый коэффициент, t – текущая координата времени или наработки).

Данные, полученные в ходе исследований, сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры изменения объемного КПД гидроприводов

Гидроаппараты	БТС-150, БТС-75, СБШ-160 до 2004 г.		БТС-150 (по состоянию на 2020 г.)	
	$\frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{cp}} \cdot 10^{-6}$	В	$\frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{cp}} \cdot 10^{-6}$	В
Привод вращения (в целом)	$\frac{0,070 - 1,40}{0,735}$	0,87	$\frac{0,012 - 0,065}{0,0385}$	0,895
Привод поступательного движения (в целом)	$\frac{0,050 - 1,30}{0,675}$	0,91	$\frac{0,008 - 0,050}{0,029}$	0,94
Аксиально-поршневые гидромашины	$\frac{0,029 - 0,103}{76}$	0,95	$\frac{0,00395 - 0,0283}{0,01612}$	0,95
Шестеренные насосы, лопастные насосы	$\frac{0,037 - 1,16}{0,598}$	0,92	$\frac{0,055 - 0,22}{0,091}$	0,92
Гидроцилиндры	$\frac{0,003 - 0,01}{6,5}$	~1,0	$\frac{0,00088 - 0,0505}{0,02569}$	~1,0
Распределители	$\frac{0,0101 - 0,022}{0,1165}$	0,99	$\frac{0,00343 - 0,01236}{0,007895}$	0,99

Одним из вариантов повышения надежности и долговечности работы основных приводов буровых машин типа БТС-150 является упрощение конструкции привода вращения, предполагающее отказ от редуктора в составе привода, во-первых, и замену низкомоментного аксиально-поршневого гидромотора высокомоментным радиально-поршневым (типа МРФ), во-вторых.

Все факторы, определяющие надежность гидропривода, можно разделить на повышающие и понижающие. К первым относятся: резервирование, выбор элементов с повышенной надежностью, стандартизация и унификация, профилактика и ряд других. К понижающим факторам относятся: неблагоприятные воздействия окружающей среды и режимы эксплуатации, недостатки конструкции, низкое качество технического обслуживания, а также ряд других.

Преимуществами привода без редуктора являются: упрощение конструкции; уменьшение вибраций; отсутствие эксцентриситета относительно направляющих; уменьшение количества движущихся частей (исключается редуктор в приводе вращения бурового става, включающий зубчатое колесо, шестерню и две пары подшипников); использование, по большей части, серийно изготавливаемых, доступных элементов.

Как известно, вероятность безотказной работы системы при последовательном соединении n элементов:

$$P(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \dots p_n(t), \quad (1)$$

где p_n – отказ n -го элемента.

Привод вращения серийно выпускаемых машин типа БТС-150 включает аксиально-поршневой гидронасос, аксиально-поршневой гидромотор, быстроходную и тихоходную передачи. При отказе от редуктора, привод состоит из аксиально-поршневого гидронасоса, высокомоментного гидромотора, упорного подшипника, зубчатой муфты. Для сравнительной оценки надежности полагаем, что в период нормальной эксплуатации вероятность безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Характерные зависимости представлены на рисунке 5.

Критическим значением вероятности безотказной работы является 0,7–0,75 – период, когда необходимо проводить профилактические воздействия, обслуживание, проводить оценку состояния привода с целью определения их необходимости, и в случае применения привода с редуктором он составляет 500 ч наработки.

Из анализа показателей надежности следует, что так как критический период для привода вращения бурового става без редуктора наступает позже на 500–700 ч наработки на отказ (рисунок 5), чем в случае привода с редуктором и низкомоментным гидромотором, то суммарные эксплуатационные затраты в первом случае будут ниже.

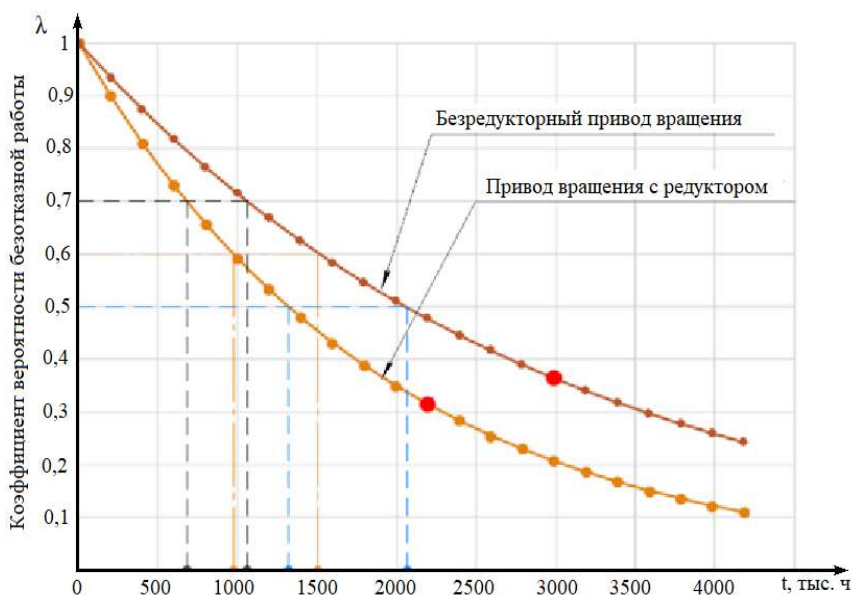
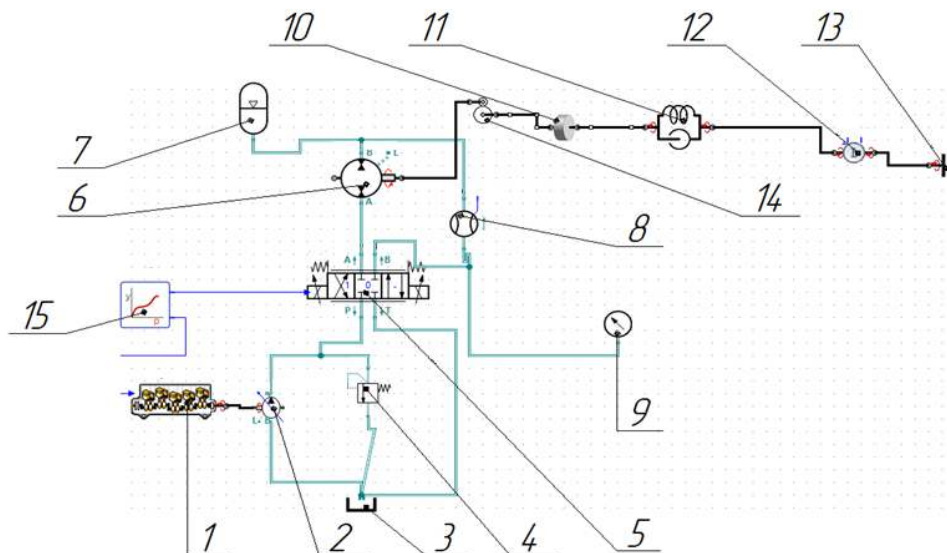


Рисунок 5 – Вероятность безотказной работы привода вращения бурового става с редуктором и без редуктора

Раздел 4 посвящен компьютерному моделированию работы гидропривода вращения бурового става и анализу его результатов. Для более подробного изучения процессов, протекающих в гидроприводе вращения бурового става, воспользуемся возможностями SimulationX. Для компьютерной модели использовались стандартные блоки программного комплекса SimX. На рисунке 6 показана схема собранной модели для анализа работы привода вращения бурового става машин. В схеме для модернизированного привода редуктор (позиция 14) отсутствует.

В качестве нагрузки, действующей против перемещения, развиваемого при помощи гидромотора, выбрана связка массовой нагрузки и блоком сопротивления, подключенным между блоком, массой и блоком преобразования вращательного движения в поступательное. Моделирование процессов в среде SimulationX проводилось для двух случаев: вариант 1 – аксиально-поршневой гидромотор соединен с одноступенчатым редуктором (вращателем), моделирование проводилось для случая с гидропневмоаккумулятором и без; вариант 2 – установлен высокомоментный гидромотор, моделирование проводилось для случая с гидропневмоаккумулятором и без.



1 – ДВС, 2 – гидронасос, 3 – бак, 4 – предохранительный клапан, 5 – гидрораспределитель, 6 – гидромотор, 7 – гидропневмоаккумулятор, 8 – датчик расхода, 9 – датчик давления, 10 – инерция маховых масс, 11 – демпфер и пружина (имитация буровых штанг), 12 – датчик усилия на буровом стае, 13 – блок имитации крутящего момента на буровом стае (зависит от силы трения на трехшарошечном долоте, характеризует свойства породы), 14 – одноступенчатый редуктор, $i = 3,76$, 15 – программный блок для задания уровня параметров моделирования

Рисунок 6 – Схема привода вращения бурового става

Некоторые результаты, полученные при моделировании, представлены на рисунках 7–10.

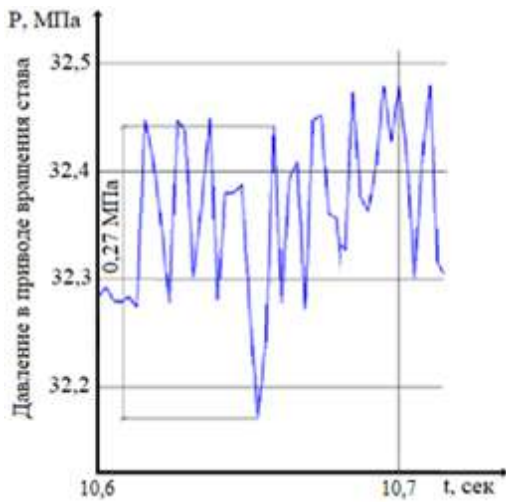


Рисунок 7 – Колебания давления в приводе вращения бурового става при установившемся режиме бурения (осевое усилие 2 тс, крепость породы $f=10$, привод с редуктором)

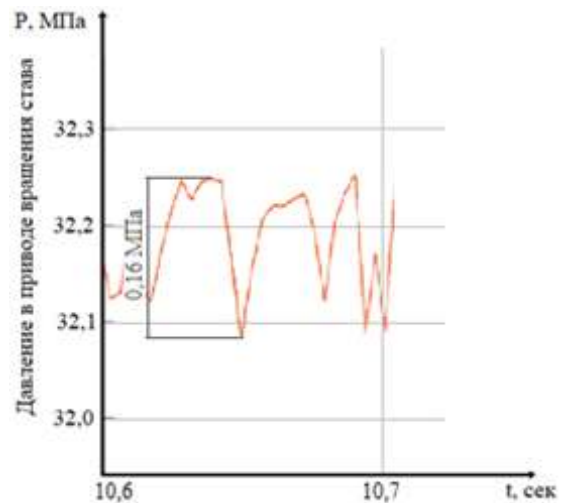


Рисунок 8 – Колебания давления в приводе вращения бурового става при установившемся режиме бурения (осевое усилие 2 тс, крепость породы $f = 10$, привод без редуктора)

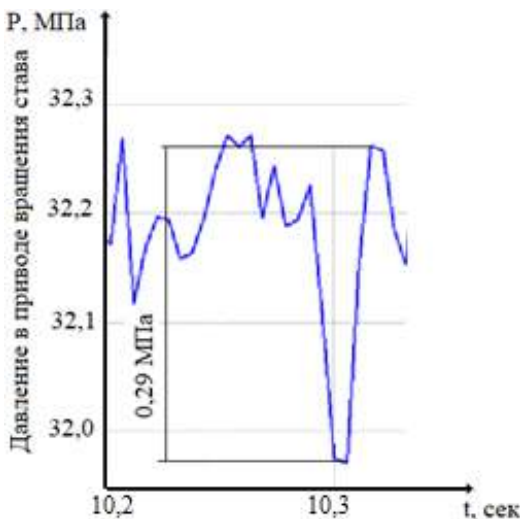


Рисунок 9 – Колебания давления в приводе вращения бурового става при установившемся режиме бурения (осевое усилие 10 тс, крепость породы $f = 10$, привод с редуктором)

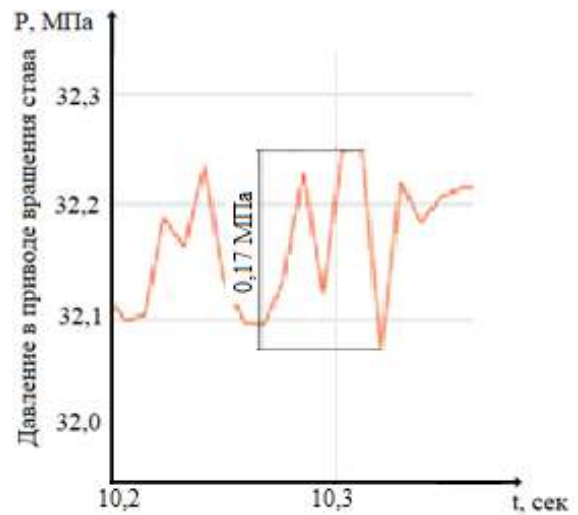
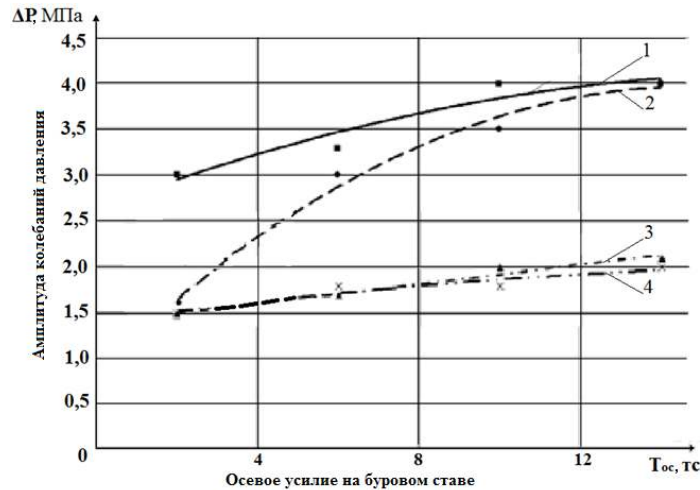


Рисунок 10 – Колебания давления в приводе вращения бурового става при установившемся режиме бурения (осевое усилие 10 тс, крепость породы $f = 16$ (привод без редуктора))

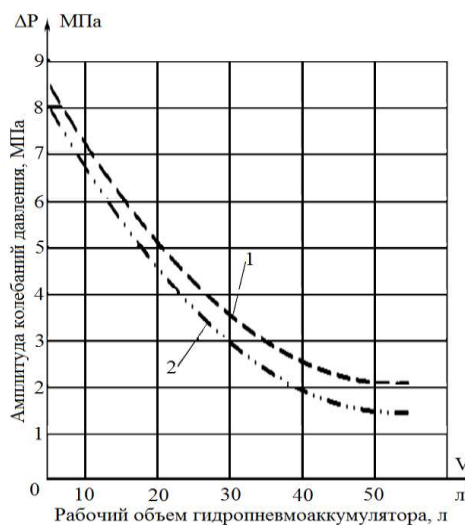
Обработка результатов компьютерного моделирования позволила получить зависимости, характеризующие изменения амплитуды колебаний давления в приводе вращения бурового става в зависимости от осевого усилия для разных типов скального грунта, представленные на рисунке 11.

Влияние рабочего объема гидропневмоаккумулятора на амплитуду колебаний давления в гидроприводе вращения бурового става машин типа БТС-150 представлено на рисунке 12.



1 – крепость породы $f = 10$ (привод с редуктором); 2 – крепость породы $f = 16$ (привод с редуктором); 3 – крепость породы $f = 10$ (привод без редуктора); 4 – крепость породы $f = 16$ (привод без редуктора).

Рисунок 11 – Зависимость амплитуды колебаний давления в приводе вращения при разных режимах работы



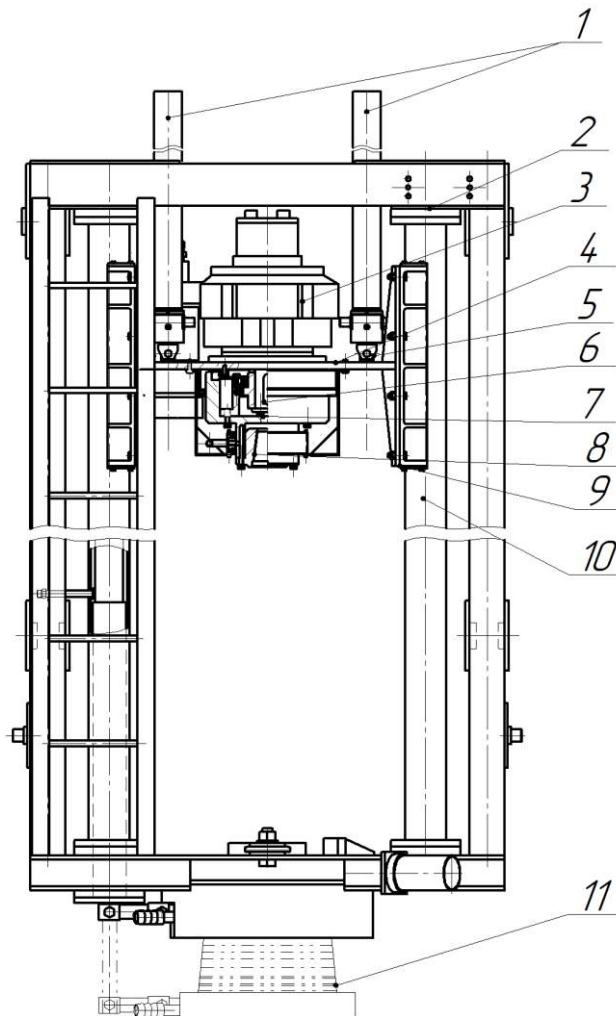
1 – привод вращения с редуктором, 2 – привод вращения без редуктора

Рисунок 12 – Влияние рабочего объема гидропневмоаккумулятора на амплитуду колебаний давления в гидроприводе вращения бурового става машин типа БТС-150 с высокомоментным гидромотором

В разделе 5 представлена разработка конструктивных изменений в основных рабочих приводах машин типа БТС-150.

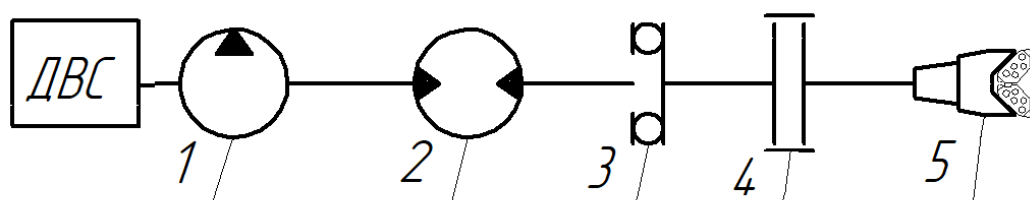
Колебания нагрузки на буровом стае вследствие неоднородности разрабатываемых пород позволяют определить режим эксплуатации машин типа БТС-150 как тяжелые и сверхтяжелые. Это, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к надежности и долговечности привода с целью обеспечения устойчивой работы.

Как было показано выше, привод с высокомоментным мотором имеет существенные преимущества перед серийно выпускаемым вариантом. Кинематическая схема и конструкция модернизированного привода представлены на рисунках 13 и 14.



1 – гидроцилиндры подачи, 2 – буровая рама, 3 – гидромотор, 4 – опорная плита, 5 – кронштейн гидроцилиндра, 6 – хвостовик вала гидромотора, 7 – зубчатая муфта, 8 – втулка с замковой резьбой, 9 – скользящие, 10 – направляющая буровой рамы

Рисунок 13 – Модернизированный привод вращения бурового става БТС-150



*1 – насос, 2 – высокомоментный гидромотор, 3 – упорный подшипник,
4 – зубчатая муфта, 5 – шарошечное долото*

Рисунок 14 – Модернизированная кинематическая схема привода вращения бурового става БТС-150

Изменения в конструкции привода вращения потребовали также внесения некоторых изменений в приводе подачи бурового става. В частности, вместо одного гидроцилиндра подачи было предложено установить два цилиндра симметрично относительно буровой рамы. Так как общее количество гидроаппаратов увеличилось на единицу, то надежность, гидравлической схемы практически не изменится. При этом общая надежность за счет отказа от редуктора возрастет приблизительно в 1,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

1 Обобщены результаты научных исследований, технических и технологических решений по повышению надежности гидравлического привода вращения бурового става буровых тракторных станков. К основным тенденциям развития привода относится в первую очередь применение современных гидравлических агрегатов высокого давления, в том числе высокомоментных гидромоторов.

2 Установлено, что снижение динамических нагрузок в приводе вращения бурового става и повышение надежности может быть достигнуто за счет внесения конструктивных изменений.

3 Установлено, что наиболее тяжелыми в плане режима нагружения привода вращения бурового става являются условия при бурении трещиноватых скальных пород и грунтов с валунными включениями.

4 Установлено, что колебания нагрузки, действующей на гидропривод механизма вращения става, носят случайный характер; режимы работы привода являются нестационарными.

5 Показано, что стабилизация нагрузки двигателя и гидросистемы может быть достигнута реализацией рациональных конструктивных параметров привода вращения бурового става с использованием гидропневмоаккумулятора.

6 Показано, что предельные значения объемного КПД гидропривода буровых машин как основного эксплуатационного параметра определяются преимущественно конкретными условиями работы машины, и, в частности, физико-механическими характеристиками грунта (скальной породы).

7 Доказано, что замена низкомоментного гидромотора высокомоментным позволяет повысить надежность работы привода в период нормальной эксплуатации примерно в 1,5 раза вне зависимости от того, какой уровень надежности принят за минимально допустимый.

8 Разработана компьютерная модель, позволившая определить, что амплитуда колебаний давления в установившемся режиме в случае привода с высокомоментным гидромотором на 45–50 % ниже, чем в случае с редуктором и низкомоментным гидромотором.

9 Установлено, что в период разгона наибольшая амплитуда колебаний давления происходит в первые 2–2,5 сек и почти не зависит от наличия или отсутствия редуктора (привод с высокомоментным гидромотором).

10 Разработано новое техническое решение с заменой низкомоментного гидромотора высокомоментным, что позволяет упростить конструкцию и получить доказанный экономический эффект.

11 Доказано, что для привода вращения бурового става БТС-150 с высокомоментным гидромотором (привод без редуктора) с рабочим объемом 1000 см³ рациональный объем гидропневмоаккумулятора составляет 45–50 л. Дальнейшее увеличение объема не дает положительного эффекта и не представляется рациональным с конструктивной точки зрения.

12 Рекомендуется применение предлагаемых технических решений в наземных транспортно-технологических машинах, применяемых в транспортном строительстве и путевом хозяйстве с учетом специфики их конструкций и применения. Эффективность предлагаемых решений подтверждается актом внедрения от завода-изготовителя (АО «МЭМП»).

13 Перспективой дальнейшей разработки темы является разработка методики учета влияния случайных факторов, как антропогенного, так и природного происхождения на динамические процессы, возникающие в объемном гидроприводе машин транспортного строительства, а также влияния вышеуказанных факторов на надежность и долговечность основных агрегатов привода.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) в рецензируемых научных изданиях

1 Гринчар, Н.Г. Эволюция приводов става буровых станков транспортного строительства на базе промышленных тракторов / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Приводы и компоненты машин. – 2020. – № 1-2 (35). – С. 10-13.

2 Гринчар, Н.Г. Применение современных буровых машин в транспортном строительстве / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин, М.Ю. Чалова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 4. – С. 477-485.

3 Гринчар, Н.Г. Сравнение безредукторного и редукторного гидроприводов машин транспортного строительства / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин, М.Ю. Чалова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2022. – № 2. – С. 103-109.

4 Гринчар, Н.Г. Исследование динамики привода вращателя бурового става / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Приводы и компоненты машин. – 2021. – С. 7-11.

5 Гринчар, Н.Г. Влияние колебаний давления в гидросистемах буровых станков на режим работы и надежность / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Приводы и компоненты машин. – 2021. – № 4-6. – С. 2-3. - Текст : непосредственный.

6 Гринчар, Н.Г. Моделирование работы гидропривода буровых тракторных станков / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. – №4. – С. 607-613.

7 Гринчар, Н.Г. О надежности гидропривода буровых машин транспортного строительства / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 5. – С. 266-273.

б) других изданиях и материалах конференций

8 Гринчар, Н.Г. Обзор вариантов модернизации привода бурового става БТС-150 / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и

оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2019. – С. 39-43.

9 Гринчар, Н.Г. Безредукторный привод вращения бурового става машин транспортного строительства / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы. Сборник докладов XXIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – 2019. – С. 587-589.

10 Гринчар, Н.Г. Влияние пульсирующего режима нагружения на надёжность привода буровых машин транспортного строительства / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2020. – С. 92-101.

11 Гринчар, Н.Г. Анализ пульсаций в гидросистеме привода вращения бурового става / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2021. – С. 43-50.

12 Гринчар, Н.Г. Динамические процессы при работе вращателя бурового става буровых машин транспортного строительства / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2022. – С. 29-37.

13 Гринчар, Н.Г. О влиянии пульсаций давления в гидроприводе на устойчивость и надежность функционирования / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. – Белгород. – 2022. – С. 38-44.

14 Гринчар, Н.Г. О надежности гидропривода буровых машин транспортного строительства / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 5. – С. 266-273.

15 Гринчар, Н.Г. Модернизация привода вращения бурового става буровых тракторных станков типа БТС-150 / Н.Г. Гринчар, А.С. Шошин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. – Белгород, 2023. – С. 50-56.

16 Шошин, А.С. Влияние оптимальных динамических параметров вращателя бурового става на экономичность его работы / А.С. Шошин // Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки. Материалы XXIV международной научно-практической конференции. – Morrisville. – 2020. – С. 168-173.

Шошин Александр Сергеевич

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ
БУРОВОГО СТАВА БУРОВЫХ ТРАКТОРНЫХ СТАНКОВ**

2.5.2. Машиноведение (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать « » _____ 2024 г. Изд. № _____ Формат бумаги 60x90/16

Заказ № _____ Объем 1,5 усл. п. л. Тираж 80 экз.

127994, Россия, Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9