

На правах рукописи



ГОРБАТОВ Сергей Павлович

**ОЦЕНКА РЕСУРСА ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ
ВНУТРИЗАВОДСКИХ КОЛЕСНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ПОДАЧИ
СЖАТОГО ВОЗДУХА НА ИХ ФРИКЦИОННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ**

Специальность 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и
лесного хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискания ученой степени
кандидата технических наук

Архангельск

2021

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель:

Мясищев Дмитрий Геннадьевич

доктор технических наук, профессор

Научный консультант:

Вашуткин Александр Сергеевич

кандидат технических наук

Официальные
оппоненты:

Кочнев Александр Михайлович

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический
университет имени С.М. Кирова»,
кафедра технологии материалов,
конструкций и сооружений из
древесины, профессор

Пилюшина Галина Анатольевна

доктор технических наук, ФГБОУ ВО
«Брянский государственный
технический университет», кафедра
триботехнического материаловедения
и технологии материалов, доцент

Ведущая организация:

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г. Ф. Морозова»

Защита диссертации состоится 13 апреля 2021 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.008.01, созданного на базе ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», по адресу: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, ауд. 1220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» <https://narfu.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н.



Тюрикова
Татьяна Витальевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные лесопильно-деревообрабатывающие предприятия представляют собой комплекс взаимосвязанных производств, включающих как обязательную составную часть процесса перемещения большого количества древесины в различном виде: круглых лесоматериалов, пиломатериалов, щепы, опилок, заготовок и т.д. Если же учесть, что перемещение грузов массой более 20 кг в технологическом процессе должно производиться подъемно-транспортными устройствами или средствами механизации, а перемещение грузов на расстояние более 25 м должно быть механизировано и, что общий объем производства пиломатериалов в стране примерно 33 млн.м³, станет ясно, какую огромную работу совершает внутризаводской транспорт только на лесопильных предприятиях.

Все перемещения, за исключением перемещений древесины кранами и механизмами подачи самих дереворежущих станков или связывающих их стационарных транспортных устройств, выполняет внутризаводской безрельсовый колесный транспорт, состоящий из машин, предназначенных для внутрицеховых и междцеховых перевозок. Внутризаводской транспорт практически является элементом поточного производства, органически связывая его участки и обеспечивая непрерывность и ритмичность всего производственно-технологического процесса. Поэтому, внутризаводской транспорт в настоящее время является одним из основных факторов, определяющий возможности и уровень современного лесопильно-деревообрабатывающего производства.

На лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях имеются различные виды внутризаводских самоходных машин, такие как общепромышленные колесные подъемно-транспортные средства (авто- и электропогрузчики, тягачи и др.), так и специализированные (портальные лесовозы, ролл-трейлеры, щеповозы, лесоукладчики и др.), действующих в пусковых и тормозных режимах. Это обстоятельство показывает особую роль, которая отводится исполнительным устройствам, реализующим данные эксплуатационные режимы, а именно тормозным механизмам. Можно сказать, что с учетом этой специфики, для получения максимальной эксплуатационной эффективности системы транспортных и технологических машин, необходимо наиболее приближенно к реальному явлению решать вопросы рационального обоснования их конструктивных параметров и характеристик, что является основой безопасной эксплуатации и максимальной производственной отдачи рассматриваемой техники. Следует отметить, что в том или другом аспекте эти

задачи решались специалистами отечественной и зарубежной техники. Это отражено, например, в работах Александрова М. П., Борисова С.М., Генбома Б.Б., Вольченко А.И., Никульникова Э.Н., Федосеева В.Н., Мясищева Д.Г., Вашуткина А.С., Лоренца А.С. и многих других исследователей.

По количеству перемещаемых грузов внутризаводской транспорт превосходит все виды транспорта. Но перемещение грузов осуществляется ими на короткие расстояния, и поэтому, работы, измеряемой в тонна-километрах, меньше, что создаёт иллюзию легкости технологических внутрискладских и межцеховых перемещений. При этом внутризаводской колесный транспорт используется в ограниченных условиях, в которых требуется частое торможение. За частую, они эксплуатируются по дорогам, на которых присутствует грязь, вода, которые в свою очередь попадают на рабочие элементы тормозных механизмов, ухудшая процесс торможения. Из-за резко переменного режима работы тормозных механизмов у такого транспорта, наблюдаются термические деформации их элементов, что способствует интенсивному и неравномерному износу их рабочих поверхностей; преждевременная замена фрикционных накладок повышает стоимость технического обслуживания, а вместе с тем вызывает и дополнительные простои внутризаводского транспорта.

С учетом сказанного видно, что исследования, направленные на повышение тормозной эффективности внутризаводского транспорта являются актуальными.

Целью работы является оценка ресурса тормозных механизмов внутризаводских колесных машин с учетом подачи сжатого воздуха на их фрикционные поверхности.

Объектом исследования послужили тормозные механизмы барабанно-колодочного типа.

Предметом исследования стал процесс изнашивания фрикционных пар тормозных механизмов.

Для достижения заданной цели требуется решить ряд задач:

1. Рассмотреть классификацию внутризаводского колесного транспорта;
2. Проанализировать способы повышения эффективности тормозных систем и механизмов;
3. Определить методологический подход к испытанию на трение и изнашивание трибосопряжения;
4. Проанализировать современные методы и способы испытания на износ;
5. Рассмотреть методы испытания тормозных систем;

6. Провести теоретические и экспериментальные исследования степени износа фрикционных поверхностей тормозных механизмов при подаче сжатого воздуха в процессе торможения;

7. Выполнить прогнозирование ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов с учетом применения метода подобия физических процессов;

8. Выполнить анализ по полученным результатам исследования.

Научная новизна.

1. Впервые выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по измерению износа фрикционных поверхностей тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха в процессе торможения.

2. Проведён теоретический расчет нагрева фрикционных поверхностей тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха в процессе торможения.

3. Впервые предложена методика проведения экспериментальных исследований на изнашивание фрикционных пар тормозных механизмов при подаче на них сжатого воздуха в процессе торможения, что дает возможность качественно описать данный процесс.

На защиту выносятся:

1. Результаты теоретического исследования степени износа фрикционных поверхностей барабанно-колодочного тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха в процессе торможения;

2. Результаты экспериментального исследования степени износа фрикционных поверхностей барабанно-колодочного тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха в процессе торможения;

3. Представление методики прогнозирования ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов при подаче на их фрикционные поверхности сжатого воздуха с учетом применения метода подобия физических процессов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается достаточным объемом теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические зависимости получены при конкретных допущениях и не противоречат основным законам теоретической механики. Измерение и обработка экспериментальных данных проведена на аппаратуре с государственными поверочными свидетельствами.

Практическая полезность работы.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали целесообразность применения устройства подачи сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозных механизмов внутризаводских

лесотранспортных машин, которое привело к снижению степени их износа и повышению тормозной эффективности тормозной системы.

Методы исследования. При выполнении теоретических исследований применялись основные законы теоретической механики, сопротивления материалов, а также основные положения теории автомобиля. При проведении экспериментальных исследований использовалась теория планирования эксперимента и статистической обработки данных.

Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности. Результаты, выносимые на защиту, относятся к пункту 4 – «Исследование условий функционирования машин и оборудования, агрегатов, рабочих органов, средств управления», пункту 13 – «Разработка и совершенствование методов, средств испытаний, контроля и управления качеством работы машин и оборудования» (паспорт специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства).

Апробация работы. Основные положения квалификационной работы (диссертации) докладывались и обсуждались:

1. На XVII Международной молодежной научной конференции «Северэнерготех – 2016» (г. Ухта, УГТУ, 2016 г.);
2. На XV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (г. Вологда, ВГТУ, 2017 год);
3. На педагогических чтениях «Актуальные проблемы подготовки конкурентоспособных специалистов» (г. Архангельск, САФУ им. М.В. Ломоносова Технологический колледж Императора Петра I, 2017 г.);
4. На Международной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке» (г. Тамбов, 2018 год);
5. На XVI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (г. Вологда, ВГТУ, 2018 год).

Личный вклад автора.

Личный вклад автора заключается в получении результатов теоретических и экспериментальных исследований степени износа фрикционных поверхностей барабанно-колодочного тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха в процессе торможения; в разработке методики прогнозирования ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов при подаче на их фрикционные поверхности сжатого воздуха с учетом применения метода подобия физических процессов; формулировании выводов и рекомендаций по результатам исследований, подготовке и написании научных статей по теме диссертации.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 6 работ, в том числе 3 работы в журналах из перечня рецензируемых научных изданий ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа объемом 125 страниц состоит из введения, 4 глав, содержит 21 рисунок, 3 таблицы и 3 приложения. Список литературы включает 85 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, приведены основные положения диссертации, вынесенные на защиту, показана научная новизна.

В первой главе рассмотрено назначение и классификация машин внутризаводского колесного транспорта. Данные машины внутризаводского транспорта работают в условиях ограниченного движения. Эти условия характеризуются сложностью маневрирования и требуют частых торможений, что ведет к повышенному тепловому состоянию тормозных механизмов этих машин. Нередко эти машины эксплуатируются на дорогах с ухудшенным покрытием, на которых присутствует грязь, пыль, влага. Все это ведет к снижению эффективной и стабильной работе их тормозных механизмов. Вопросами, касающимися совершенствования тормозных систем лесотранспортных машин занимались ученые: Вольченко А.И., Петрик А.А., Вольченко Н.А., Крыжановский Е.И., Мясищев Д. Г., Вашуткин А. С., Швецов А. М., Лоренц А.С. Анализ методов повышения эффективности тормозных систем и механизмов данных машин, показал, что совершенствование элементов барабанно-колодочных тормозов отечественных и зарубежных аналогов направлено на интенсификацию их естественного охлаждения. При этом вопрос, связанный с изменением силы трения между фрикционными поверхностями тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха в настоящее время не изучен. С одной стороны подача сжатого воздуха удаляет продукты износа, грязь и влагу из зоны трения, что позволяет повысить тормозную эффективность лесотранспортных машин. С другой стороны, увеличение тормозной эффективности тормозных механизмов, при подаче на них сжатого воздуха, влечет за собой увеличение работы силы трения между их фрикционными поверхностями. В связи с этим не ясно, в какой степени будет происходить износ фрикционных поверхностей тормозного механизма на фрикционные поверхности. Исходя из этого, принято решение о проведении теоретических и экспериментальных исследований по определению степени износа фрикционных поверхностей тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха.

Анализ методов и способов испытаний на износ показал, что наиболее подходящим методом для измерения износа фрикционных накладок тормозных колодок будет являться метод измерения износа по потере массы, так как он позволит объективно оценить процесс износа тормозных механизмов при их испытании. Для проведения натурных экспериментов по повышению эффективности тормозных систем лесопромышленных внутризаводских самоходных машин выбран экспериментальный роликовый тормозной стенд, показанный на рисунке 1, который позволяет фиксировать и контролировать давление в тормозной системе машины, а также создавать необходимое количество (частоту) циклов торможения.



Рисунок 1 – Экспериментальная установка

Во второй главе выполнено теоретическое исследование степени износа фрикционных поверхностей барабанно-колодочного тормозного механизма. Для анализа степени износа фрикционных поверхностей барабанно-колодочного тормозного механизма не экспериментального и экспериментального тормозного механизма, теоретически были определены следующие показатели: среднее давление между барабаном и накладкой, толщина изнашиваемого слоя фрикционного материала колодки h , весовой показатель износа фрикционного материала колодки G , температура тормозного барабана T_n . Выполненные расчеты показали, что среднее давление между барабаном и накладкой на экспериментальном колесе, выше на 22%, чем у не экспериментального колеса, поскольку подача сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозного механизма привела к повышению тормозного момента на 26,36%. В связи с этим увеличилась нормальная сила давления на колодки на экспериментальном колесе,

что привело к повышению весового показателя износа фрикционного материала экспериментальной колодки по сравнению с не экспериментальной на 13%. С другой стороны температура тормозного барабана экспериментального тормозного механизма снизилась на 67% по сравнению с не экспериментальным тормозным механизмом, в связи с тем, что при обтекании сжатым воздухом фрикционных поверхностей повышается их теплоемкость.

Теоретический анализ степени износа фрикционных поверхностей барабанно-колодочного тормозного механизма при подаче на них сжатого воздуха показал, что с одной стороны увеличивающийся тормозной момент приводит к увеличению давления на фрикционные поверхности экспериментального тормозного механизма, вследствие чего увеличивается их износ. С другой стороны подача сжатого воздуха значительно снижает температуру в зоне контакта фрикционных поверхностей тормозного механизма, что должно привести к снижению их износа. Для выявления фактической степени износа фрикционных поверхностей при данных условиях, необходимо провести натурные экспериментальные исследования.

В третьей главе выполнены экспериментальные исследования степени износа фрикционных поверхностей тормозного механизма при подаче сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения.

В качестве конструктивных параметров, определяющих процесс изнашивания фрикционных поверхностей тормозного механизма приняты следующие варьируемые факторы: давление жидкости в тормозной системе $p_{ж}$ (МПа), влияющее на величину нормального давления в трибологической системе «тормозная колодка-тормозной барабан» и частота повторений (срабатываний) на рабочем органе v , определяющая характер приложения нагрузки. Измеряемой величиной при испытаниях стал износ фрикционных накладок тормозных колодок (в граммах) как экспериментального, так и не экспериментального тормозного механизма. Величина износа показывает о влияние подачи сжатого воздуха на фрикционные поверхности экспериментального тормозного механизма на процесс их изнашивания. Согласно условиям работы экспериментального тормозного механизма, подача сжатого воздуха осуществляется перед процессом торможения и прекращаться после его завершения. В таблице 1 представлена методическая сетка опытов.

Таблица 1 – Методическая сетка опытов

№ п/п	Наименование факторов	Обозн.	Ед. изм.	Числовое значение факторов							
				Первая серия				Вторая серия			
Постоянные факторы											
1	Радиус тормозного барабана	r_b	мм	125							
2	Зазор между тормозным барабаном и фрикционной колодкой	h_z	мм	1,0							
3	Рабочая длина фрикционной накладки	l_k	мм	250							
4	Рабочая ширина фрикционной накладки	b_k	мм	50							
5	Общая площадь фрикционной накладки	$S_{общ}$	см ²	248							
6	Диаметр подводящих отверстий штуцеров	d_0	мм	7							
7	Давление воздуха, подаваемого на фрикционные поверхности тормозного механизма	$P_в$	МПа	0,6							
Переменные факторы											
8	Давление жидкости в тормозной системе	$p_{жс}$	МПа	5	6	7	7				
9	Частота повторений на рабочем органе	ν	кол-во	216			156	176	196	216	
Номер опыта				1	2	3	4	5	6	7	
	Оценочные показатели										
10	Износ фрикционной поверхности колодки: на экспериментальной прижимной $I_{эк1}$ приж, отжимной $I_{эк2}$ отж и не экспериментальной прижимной I_1 приж, отжимной I_2 отж	$I_{эк1}$ приж									
11		$I_{эк2}$ отж									
12		I_1 приж									
13		I_2 отж									

На основании полученных экспериментальных данных были построены графики степени износа фрикционных поверхностей экспериментальных и не экспериментальных тормозных колодок.

Поскольку степень нагруженности прижимных и отжимных колодок не одинакова, то сравнение результатов износа проводилось между прижимной экспериментальной и прижимной не экспериментальной колодками, а также отжимной экспериментальной и отжимной не экспериментальной колодками.

На рисунке 2 показана графическая зависимость износа I , гр, прижимной экспериментальной $I_{эк1приж}$ и прижимной не экспериментальной $I_{1приж}$ колодки.

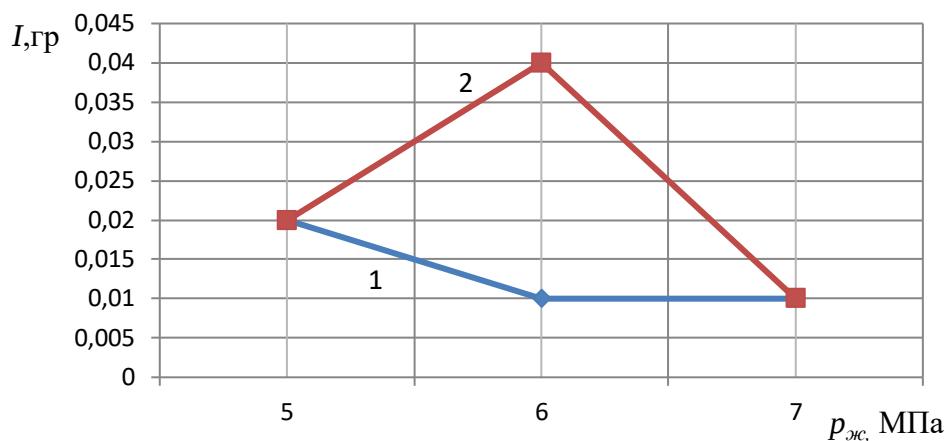


Рисунок 2 – Графическая зависимость износа I , гр, прижимной экспериментальной $I_{эк1приж}$ (1) и прижимной не экспериментальной $I_{1приж}$ (2) колодки от давления жидкости в тормозной системе $p_{жс}$, при постоянной частоте повторений на рабочем органе $v=216$

На рисунке 3 показана графическая зависимость износа I , гр, отжимной экспериментальной $I_{эк2отж}$ и отжимной не экспериментальной $I_{2отж}$ колодки.

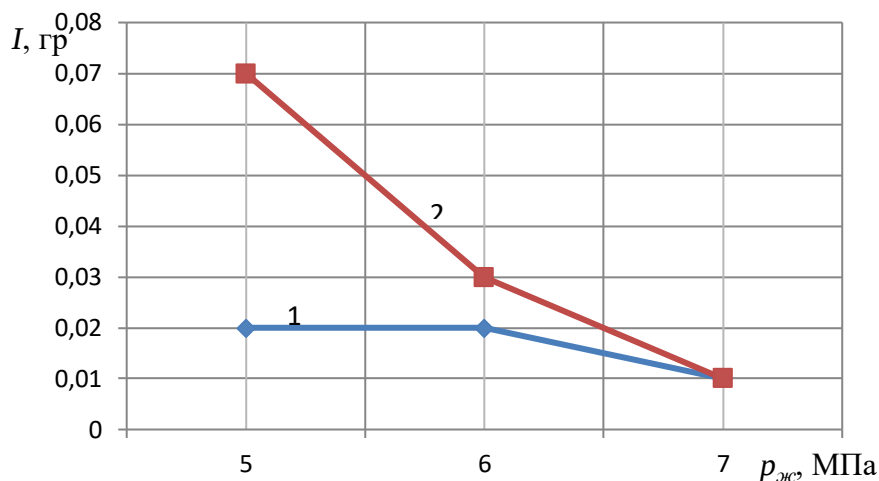


Рисунок 3 – Графическая зависимость износа I , гр, отжимной экспериментальной $I_{эк2отж}$ (1) и отжимной не экспериментальной $I_{2отж}$ (2) колодки от давления жидкости в тормозной системе $p_{жс}$, при постоянной частоте повторений на рабочем органе $v=216$

На рисунке 4 показана графическая зависимость износа I , гр, прижимной экспериментальной $I_{эк1\text{ приж}}$ и прижимной не экспериментальной $I_{I\text{ приж}}$ колодки.

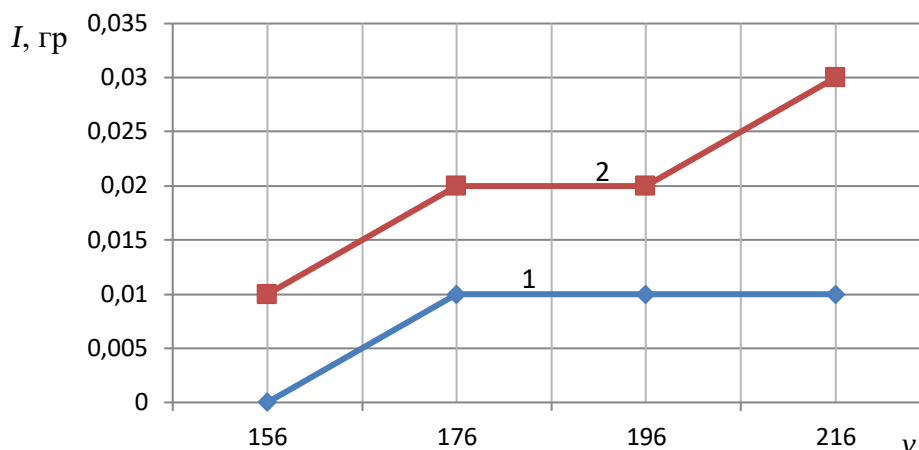


Рисунок 4 – Графическая зависимость износа I , гр, прижимной экспериментальной $I_{эк1\text{ приж}}$ (1) и прижимной не экспериментальной $I_{I\text{ приж}}$ (2) колодки от частоты повторений на рабочем органе ν , при постоянном давлении жидкости в тормозной системе $p_{жс} = 7$ МПа

На рисунке 5 показана графическая зависимость износа I , гр, отжимной экспериментальной $I_{эк2\text{ отж}}$ и отжимной не экспериментальной $I_{2\text{ отж}}$ колодки.

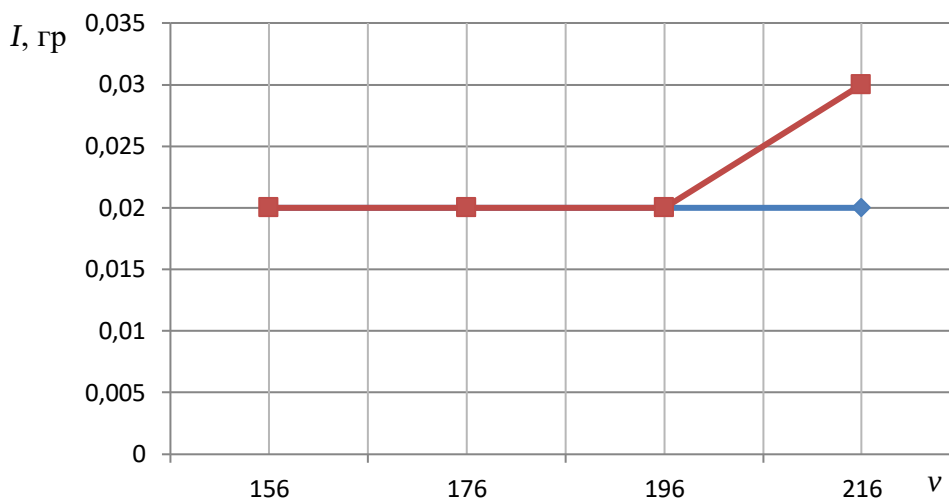


Рисунок 5 – Графическая зависимость износа I , гр, отжимной экспериментальной $I_{эк2\text{ отж}}$ (1) и отжимной не экспериментальной $I_{2\text{ отж}}$ (2) колодки от частоты повторений на рабочем органе ν , при постоянном давлении жидкости в тормозной системе $p_{жс} = 7$ МПа

Анализ графиков в соответствии с рисунком 2 показал, что износ I , гр, прижимной экспериментальной $I_{эк1\text{приж}}$ колодки оказался ниже (на 43 %), чем прижимной не экспериментальной $I_{I\text{приж}}$ колодки при давлении жидкости в

тормозной системе $p_{ж}$ в диапазоне от 5 до 7 МПа, при постоянной частоте повторений на рабочем органе $v=216$. В первой серии опытов колодки в тормозном механизме были новыми, не приработанными. Вследствие этого износ фрикционных поверхностей в данном опыте оказался выше, чем в других. Поскольку сжатый воздух, подаваемый между фрикционными поверхностями экспериментального тормозного механизма, выносил продукты износа из зоны трения, охлаждал фрикционные поверхности, а также, создавая воздушную «подушку» между фрикционными поверхностями, вел себя как демпфирующее устройство, то данное обстоятельство привело к снижению износа на экспериментальной колодке. При давлении жидкости в тормозной системе $p_{ж}=7$ МПа и постоянной частоте повторений на рабочем органе $v=216$ износ оказался одинаковым у двух колодок, поскольку к данному опыту фрикционные поверхности тормозных механизмов прошли приработку друг относительно друга.

На графике в соответствии с рисунком 3 видно, что износ I , гр, отжимной экспериментальной $I_{эк2отж}$ колодки также оказался ниже (55 %), чем отжимной не экспериментальной $I_{2отж}$ колодки. Данная закономерность объясняется выше приведенным анализом.

Анализируя графические зависимости, показанные в соответствии с рисунком 4 видно, что износ I , гр, прижимной экспериментальной $I_{эк1приж}$ колодки оказался ниже (62 %), чем прижимной не экспериментальной $I_{1приж}$ колодки при постоянном давлении жидкости в тормозной системе $p_{ж}=7$ МПа и изменяющейся частоте повторений на рабочем органе v , в диапазоне от 156 до 216. При этом максимальный износ на не экспериментальной колодке оказался выше при значениях $p_{ж}=7$ МПа и $v=216$. При данных значениях опыта нагрев фрикционных поверхностей происходит наиболее интенсивно. Поскольку фрикционные поверхности экспериментального тормозного механизма, как было сказано выше, обтекаются сжатым воздухом в процессе торможения, то есть происходит их принудительное охлаждение, то и их износ оказался ниже, чем на не экспериментальном тормозном механизме. Это обстоятельство также подтверждается графической зависимостью износа I , гр в соответствии с рисунком 5, которая показывает, что износ отжимной экспериментальной $I_{эк2отж}$ колодки ниже (11 %), чем отжимной не экспериментальной $I_{2отж}$ колодки. В результате предыдущих исследований было установлено, что подача сжатого воздуха между фрикционными поверхностями тормозного механизма привела к повышению тормозной силы. При этом полученные экспериментальные результаты в проведенных опытах показали, что подача воздуха позволила в среднем снизить износ фрикционных поверхностей на 43 % по сравнению с

фрикционными поверхностями не экспериментального тормозного механизма. Данные результаты дают объективный характер процесса степени износа фрикционных поверхностей тормозных механизмов.

В четвертой главе был выполнен прогноз ресурса проектируемых тормозных механизмов с учетом применения метода подобия физических процессов. Рассмотрены теоретические предпосылки к использованию метода подобия физических процессов. Установлено, что процесс подачи сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозных механизмов с целью повышения эффективности тормозных систем транспортно-технологических машин описать аналитически сложно, в связи с чем было необходимо провести ряд экспериментальных исследований. Проведенные экспериментальные исследования, направленные на определение степени износа фрикционных пар тормозных механизмов оказались сложным и трудоемким процессом. Для прогнозирования ресурса проектируемых тормозных механизмов предложен эвристический подход – «Метод подобия физических процессов». Применение метода подобия физических процессов к полученным экспериментальным результатам заключалось в следующем. Прежде всего, предположим, что тормозные колодочные механизмы экспериментального стенда и некоторого погрузчика, например аналогичного Volvo WHEEL LOADER L180G, имеют схожее устройство. В качестве рабочей гипотезы принимаем, что имеет место действие первая теорема подобия. А именно справедливы следующие ниже положения. Пусть из выше представленного описания экспериментальных исследований определяются следующие коэффициенты, определим их как коэффициенты износа:

$$K_{1э} = \frac{I_{1э}}{M1_{эо}}; \quad (1)$$

$$K_{2э} = \frac{I_{2э}}{M2_{эо}}, \quad (2)$$

где: $I_{1э}$ – суммарный износ накладки тормоза стенда для тормоза штатного колеса, например при $v=216$ и некотором давлении в гидроприводе тормозов, г; $I_{2э}$ – суммарный износ накладки тормоза стенда для тормоза экспериментального колеса при аналогичных условиях, г; $M1_{эо}$ – масса новой, установленной перед опытами накладки тормоза как для штатного, так и экспериментального колес, соответственно, г. Индекс 1 относится к случаю штатного колеса, индекс 2 при условии оснащения колеса экспериментальным тормозным механизмом, на фрикционные поверхности которого, подается сжатый воздух. Далее в общем

виде индекс обозначается i . Индекс «Э» соответствует экспериментальному, полученному на стенде результату.

Исходя из выдвинутой гипотезы о справедливости в нашем случае первой теоремы подобия, получим:

$$G_1 = \frac{K_{1Э}}{K_{1П}} = 1; \quad (3)$$

$$G_2 = \frac{K_{2Э}}{K_{2П}} = 1, \quad (4)$$

где: G_1 и G_2 – критерии подобия в системе «экспериментальный стенд + колесный погрузчик», безразмерные величины; $K_{1П}$ – коэффициенты износа для штатного колесного тормоза погрузчика-прототипа (аналог показателя по формуле (1)); $K_{2П}$ – виртуальный коэффициенты износа в случае колесного тормоза погрузчика-прототипа, на фрикционные поверхности которого, подается сжатый воздух (аналог показателя по формуле (2)). Индекс «П» соответствует погрузчику-прототипу, который в нашем случае виртуален.

Комплексы $K_{iЭ,П}$ из теории подобия соответствуют условию:

$$K_{iЭ,П} = idem, \quad (5)$$

Примем линейной аппроксимацией зависимости

$$I_{iЭ,П} = F(v, T_i), \quad (6)$$

где: $I_{iЭ,П}$ и v раскрыты выше, а T_i – в общем виде ресурс тормозного механизма, эквивалентный v .

С учетом отмеченного упрощения, для экспериментального стенда будем иметь:

$$K_{1Эv} = \frac{I_{1Э}}{v} = \frac{I_{ЭПР}}{T_{1Э}}; \quad (7)$$

$$K_{2Эv} = \frac{I_{2Э}}{v} = \frac{I_{ЭПР}}{T_{2Э}}. \quad (8)$$

В формулах (7) и (8) параметр $I_{ЭПР}$ – известный предельный износ накладок тормозных механизмов колес, полученный на экспериментальном стенде (рисунок 1). Следствие из анализа (6) и (7).

$$K_{1Эv} > K_{2Эv}. \quad (9)$$

$T_{1Э}$ и $T_{2Э}$ виртуальные ресурсы пар трения тормозных механизмов колес экспериментальной установки, причем, очевидно, что

$$T_{2Э} > T_{1Э}. \quad (10)$$

Таким образом, принимая во внимание представленные ранее предположения о подобии процессов тормозных колодочных механизмов

экспериментального стенда (рисунок 1) и некоторого виртуального погрузчика, например аналогичного Volvo WHEEL LOADER L180G, возможно прогнозировать ресурс $T_{2П}$ тормозного механизма данного погрузчика, при условии подачи на его фрикционные поверхности сжатого воздуха.

$$T_{2П} = \frac{I_{ППР}}{K_{2Эв}}. \quad (11)$$

где $K_{2Эв}$ обоснованный выше коэффициент (8);

$I_{ППР}$ - известный предельный износ накладок тормозных механизмов колес погрузчика-прототипа.

На основании полученных результатов экспериментальных исследований была представлена методика прогнозирования ресурса проектируемых тормозных механизмов на основе применения метода подобия физических процессов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В ходе проведения диссертационного исследования было установлено:

1. Среднее давление между барабаном и накладкой на экспериментальном колесе согласно выполненным теоретическим расчетам, оказалось выше на 22%, чем у не экспериментального колеса, что привело к повышению весового показателя износа фрикционного материала экспериментальной колодки по сравнению с не экспериментальной на 13%.

2. Теоретически установлено, что подача сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозного механизма привела к повышению тормозного момента на 26,36%.

3. В ходе теоретического исследования было определено, что температура тормозного барабана экспериментального тормозного механизма снизилась на 67% по сравнению с тормозным барабаном не экспериментального тормозного механизма.

4. Полученные экспериментальные результаты в проведенных опытах показали, что подача сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном позволила в среднем снизить износ фрикционных поверхностей на 43 % по сравнению с фрикционными поверхностями не экспериментального тормозного механизма, в результате чего повышается их ресурс.

5. Разработана методика прогнозирования ресурса проектируемых тормозных механизмов на основе применения метода подобия физических процессов.

6. Усовершенствованная экспериментальная установка позволит в дальнейшем, с использованием разных методов планирования эксперимента, уточнять и расширять информацию о степени износа фрикционных пар тормозных механизмов.

7. Впервые предложена методика проведения экспериментальных исследований на изнашивание фрикционных пар тормозных механизмов при подаче на них сжатого воздуха в процессе торможения, что дает возможность качественно описать данный процесс.

8. При дальнейшем рассмотрении вопросов, связанных с подачей сжатого воздуха к тормозным механизмам следует экспериментально определить степень нагрева их фрикционных поверхностей после процесса торможения, что позволит качественно оценить зависимость увеличивающегося тормозного момента на прочностные характеристики элементов тормоза.

9. В дальнейшем следует теоретически и экспериментально определить влияние дополнительной подачи воздуха на энергетические показатели пневматической тормозной системы лесотранспортных, внутризаводских, колесных машин.

СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Горбатов, С. П. Организация и планирование экспериментального исследования степени износа фрикционных поверхностей тормозного механизма при подаче сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения / С. П. Горбатов, Д. Г. Мясищев, А. С. Вашуткин. – Текст : непосредственный // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – Выпуск 231. – С. 102-109.

2. Горбатов, С. П. Экспериментальное исследование на изнашивание фрикционных пар тормозных механизмов транспортных машин / С. П. Горбатов, Д. Г. Мясищев, А. С. Вашуткин. – Текст : непосредственный // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – Выпуск 232. – С. 130-141.

3. Горбатов, С. П. Исследование композиционного сопла в натурной пневматической установке / С. П. Горбатов, А. С. Исаев. – Текст : непосредственный // Научная жизнь. – 2018. – № 5 – С. 12-17.

Прочие публикации

4. Горбатов, С. П. Определение дальнейших путей исследования функционирования тормозных механизмов внутризаводского колесного

транспорта / С. П. Горбатов, Д. Г. Мясищев, А. С. Вашуткин. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы международной научно-технической конференции / Вологодский государственный университет ; ответственный редактор С. М. Хамитова. – Вологда, 2018. – С. 79-81.

5. Горбатов С.П. Методологический подход к испытанию на трение и изнашивание трибосопряжения / С.П. Горбатов, А.С. Вашуткин. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции / Вологодский государственный университет ; ответственный редактор С. М. Хамитова. – Вологда, 2019. – С. 133-135.

6. Горбатов С.П. Die Wege, die die Effektivität der Komponenten des Bremssystems des innerbetrieblichen Radtransportes erhöhen / С.П. Горбатов. – Текст : непосредственный // Научный альманах. – 2018. – Выпуск 10-2(48). – С. 31-34.

Просим принять участие в работе диссертационного совета или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с указанием фамилии, имени, отчества, почтового адреса, адреса электронной почты, наименования организации, должности лица, составившего отзыв, подписанные и заверенные печатью, просим направлять по адресу: 163002. Россия, г. Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17, САФУ имени М.В. Ломоносова, диссертационный совет: Д 212.008.01, e-mail: t.turikova@narfu.ru