

На правах рукописи

Сафронов Евгений Викторович

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГРАВИТАЦИОННОГО СТЕЛЛАЖА ДЛЯ  
ПАЛЛЕТ**

Специальность: 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные  
машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный руководитель: **Носко Андрей Леонидович**, доктор технических наук, доцент, кафедра подъемно-транспортных систем МГТУ им. Н.Э. Баумана, профессор

Официальные оппоненты: **Лускань Олег Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры атомной энергетики, Балаковский инженерно-технологический институт — филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Кузнецов Андрей Алексеевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры наземных транспортных средств ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет»

Защита состоится «17» июня 2019 г. в 14:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.07 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на официальном сайте МГТУ им. Н.Э. Баумана: [www.bmstu.ru](http://www.bmstu.ru).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., доцент



Горелов Василий Александрович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Актуальность темы. Одной из основных задач Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1734-р от 22 ноября 2008 года, при формировании единого транспортного пространства России является создание системы логистических парков на территории страны как основы формирования современной товаропроводящей сети.

Как правило, логистические парки представляют собой комплекс складов паллетного (поддонов с грузом) хранения. Одним из решений, позволяющим повысить скорость обработки паллетированных грузов, является использование гравитационных стеллажей, состоящих из стеллажной конструкции и гравитационных роликовых конвейеров (ГРК).

Основными источниками опасности при эксплуатации гравитационного стеллажа являются высокая скорость движения паллет и давление на первую паллету со стороны следующих за ней. Для устранения указанных источников опасности используется два основных элемента безопасности ГРК – тормозной ролик (ТР) и устройство остановки и разделения паллет (УОРП), которые работают совместно, как система.

Наиболее перспективной и широко применяемой зарубежной конструкцией ТР является центробежный фрикционный ролик (ЦФР), который предназначен для ограничения скорости движения паллет на ГРК и снижения ударных нагрузок на УОРП. УОРП, в свою очередь, позволяет исключить давление на выгружаемую с ГРК паллету со стороны следующих за ней, устраняя тем самым появление дополнительного опрокидывающего момента, действующего со стороны паллет на погрузчик, и, как следствие, возникновение аварийных ситуаций, и снижает требования, предъявляемые к квалификации водителей погрузчиков.

Однако, отсутствие методик определения допустимой скорости движения паллет и параметров ЦФР не позволяют провести оценку безопасности и эффективности работы ГРК, сдерживают разработку и выпуск безопасных и эффективных отечественных конвейеров данного типа, одних из наиболее прогрессивных и востребованных типов современного складского стеллажного оборудования, обеспечивающего максимальную плотность хранения, высокую производительность и быструю окупаемость затрат.

Поэтому решение вопросов создания безопасных и эффективных ГРК для паллет является актуальной задачей отечественного подъемно-транспортного машиностроения.

Цель и задачи. Целью исследования является обеспечение безопасности и повышение эффективности работы ГРК для паллет на основе разработки математических моделей (ММ) процессов движения паллеты по ЦФР и ударного взаимодействия паллеты с упором УОРП путем расчета допустимой скорости движения паллет и параметров центробежных фрикционных роликов (ЦФР), создания и апробации новых конструкций ЦФР.

Для достижения цели работы поставлены и решены следующие задачи:

- проведен анализ конструкций ГРК, определены основные элементы безопасности ГРК – ТР и УОРП, разработана классификация конструкций ТР;
- разработана ММ процесса ударного взаимодействия паллеты с упором УОРП;
- разработана ММ процесса движения паллеты по ЦФР;
- разработана конструкция и изготовлен опытный отечественный образец ЦФР;
- разработан и изготовлен экспериментальный стенд для проведения испытаний

ТР различных конструктивных исполнений, выполнены экспериментальные исследования опытного отечественного образца ЦФР;

– проведена верификация разработанной ММ процесса движения паллеты по ЦФР на основе сравнения с результатами экспериментальных исследований опытного образца ЦФР;

– проведены фрикционно-износные испытания и экспериментальная оценка температурного режима работы материалов фрикционной накладке опытного отечественного образца ЦФР;

– проведены сравнительный анализ эффективности работы и оценка срока службы опытного отечественного образца ЦФР с зарубежными аналогами.

Научная новизна работы:

1. Разработана ММ процесса движения паллеты по ЦФР с учетом его конструктивных особенностей, позволяющая определить скорость движения паллеты по ЦФР, обеспечивающую безопасную работу ГРК при транспортировке и разгрузке паллет;

2. Разработана ММ процесса ударного взаимодействия паллеты с упором УОРП, позволяющая определить допустимую скорость движения паллеты с учетом конструктивных особенностей поддона и упора УОРП, а также материалов их изготовления;

3. Получена обобщенная расчетная зависимость скорости движения паллеты по ЦФР, учитывающая износ фрикционной накладке, ее положение на тормозной колодке, а также массу паллеты и конструктивные параметры ЦФР;

4. Определены экспериментальные фрикционно-износные характеристики в режимах работы ЦФР для пары трения Сталь 3/вальцованные фрикционные полимерные материалы (ФПМ).

Методология исследования заключалась в теоретических и экспериментальных исследованиях с использованием методов геометрического моделирования, теории удара, сопротивления материалов, теоретической механики, теории вероятностей и математической статистики, теории трения и изнашивания.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждается применением апробированных законов механики, математики, теории механизмов и машин, теории трения и изнашивания, сопоставлением результатов расчетных и экспериментальных исследований.

Практическая значимость: разработаны методики расчета допустимых скоростей движения паллет на ГРК и параметров ЦФР; разработан и изготовлен опытный отечественный образец ЦФР; созданы отечественные конструкции ЦФР, ролика ГРК и УОРП, на которые получены 3 патента на полезную модель; разработаны методы испытания и изготовлен экспериментальный стенд для исследований ТР различных конструктивных исполнений, на который получен патент на полезную модель; произведен подбор материалов пар трения ЦФР; разработан и изготовлен экспериментальный модуль на базе лабораторного стенда *Lucas-Nülle GmbH* (ФРГ) для проведения фрикционно-износных и ресурсных испытаний пар трения ЦФР.

Реализация результатов работы. Результаты работы внедрены в ЗАО «ИТЦ «КРОС», ООО «Векосистемс» и используются в учебном процессе на кафедре подъемно-транспортных систем МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации обсуждались: на I Всероссийской заочной научно-практической конференции «Наземные транспортно-технологические средства: проектирование,

производство, эксплуатация», Забайкальский Государственный Университет. Чита, 2016; на Международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем», Севастопольский Государственный Университет. Севастополь, 2017-2018; на III Международной научно-практической конференции «Фундаментальные основы механики». Новокузнецк, 2017; на XI Международной научно-практической конференции «Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук». Санкт-Петербург, 2017; на XII Международной научно-технической конференции «Трибология – Машиностроению», Институт Машиноведения им. А. А. Благонравова. Москва, 2018; на Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (*International Conference on Industrial Engineering*), Московский Политехнический Университет. Москва, 2018; на заседаниях кафедры подъемно-транспортных систем МГТУ им. Н. Э. Баумана. Москва, 2015-2019.

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования; обзоре и анализе конструкций гравитационных стеллажей для паллет и выполненных исследований в области расчета ГРК; разработке математических моделей; личном участии в апробации результатов; выполнении теоретических и экспериментальных исследований. Часть работ выполнена совместно с Шарифуллиным И.А., Потаповым В.А, Соловьевым В.А, которые принимали участие в разработке экспериментальных стендов и проведении экспериментальных исследований. Подготовка основных публикаций по работе проводилась совместно с научным руководителем и соавторами.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в числе которых 1 монография, 7 статей в журналах из перечня ВАК РФ и 1 статья в журнале, индексируемом в Scopus, получено 4 патента на полезную модель. Общий объем публикаций 5,13 п.л.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа изложена на 164 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 21 таблицу, список литературы из 121 наименования.

#### Положения, выносимые на защиту

1. Факторы, обеспечивающие безопасность работы гравитационного стеллажа при разгрузке и транспортировании паллет, которыми являются допустимая скорость движения паллеты на ГРК и отсутствие давления на выгружаемую паллету со стороны следующих за ней.

2. Методика расчета допустимой скорости движения паллеты на ГРК, полученная на основе математической модели процесса ударного взаимодействия упора УОРП и паллеты, позволяет установить взаимосвязь между конструкцией упора УОРП, типом поддона и массой паллеты.

3. Методика расчета скорости движения паллеты по ЦФР по обобщенной расчетной зависимости, полученная на основе математической модели процесса движения паллеты по ЦФР и геометрической модели ЦФР, позволяет получить зоны рабочих скоростей, превышения допустимой скорости и аварийных значений скорости движения паллеты на ГРК.

4. Применение ФПМ типов ЭМ-1 и ЭМ-2 в качестве материалов фрикционной накладки ЦФР в паре со сталью позволяет расширить рабочий диапазон масс паллет, снизить разброс скоростей движения паллет различной массы по ЦФР, увеличить срок службы ЦФР.

5. Системный подход, основанный на применении расчетных и

экспериментальных методик, позволяет оценить эффективность работы ЦФР по значениям рабочего диапазона масс паллет, разбросу скоростей движения паллет различной массы по ЦФР, сроку службы ЦФР.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, заключающегося в обеспечении безопасности и повышении эффективности работы гравитационного стеллажа для паллет, приведено краткое содержание выполненных исследований, сформулирована цель и задачи работы, отражены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен обзор и анализ конструкций гравитационных стеллажей для паллет, состоящих из металлоконструкции и установленных в ней ГРК. Установлено, что основными элементами безопасности работы ГРК являются ТР и УОРП.

Проведен анализ работ Зенкова Р. Л., Ивановского К. Е., Колобова Л. Н., Раковщика А. Н. Темиртасова О. А., Цоглина А. Н., Siddhartha Ray и других, посвященных исследованиям ГРК, в которых рассмотрены составляющие сопротивления передвижения груза, подходы к определению угла наклона, диаметров и шага расстановки несущих роликов. Следует отметить работу Кузнецова А. А., наиболее полно описывающую сопротивление вращению роликов, учитывающие возникающие перекосы, погрешности изготовления. В работе Лусканя О. А. отмечено, что ГРК является самой простой и дешевой машиной непрерывного транспорта, при этом к недостаткам ГРК следует отнести нестабильность движения грузов вследствие различных сопротивлений вращению роликов, а также разброса значений коэффициентов трения скольжения и качения роликов и грузов.

Однако в этих работах не учитываются особенности конструкций ГРК, используемых в гравитационных стеллажах для паллет. Автору не удалось найти работы, описывающие характер движения паллет на ГРК с учетом установки в нем ТР и УОРП.

Проведен анализ патентов и научно-технической литературы в области конструкций ТР, предложена их классификация. Анализ показал, что наиболее широко применяемой конструкцией ТР является ЦФР. Выявлено, что существующие зарубежные конструкции ЦФР имеют ограниченный срок службы 1,5-2 года, а срок эксплуатации стеллажных конструкций (без их технического обслуживания) составляет 3-8 лет.

Рассмотрены основные узлы ЦФР – мультипликатор, центробежный тормоз и фрикционная пара.

Проведенный анализ работ по расчету центробежных тормозов ПТМ показал, что существующая методика расчета, подробно рассмотренная в работах Александрова М.П., не учитывает особенностей работы центробежного тормоза в составе ЦФР, связанных с применением планетарного мультипликатора, создающего вращение обечайки ролика и ступицы центробежного тормоза в противоположных направлениях. Это приводит к тому, что в отличие от центробежных тормозов ПТМ и пусковых муфт (работы Иванова С. С., Барбаша И. Д., Полякова В. С., Ряховского О. А., и др.), направления действия силы трения, создающей тормозной момент, и вращения обечайки ЦФР, совпадают, а также происходит одновременное торможение ступицы центробежного тормоза и обечайки ЦФР.

Применительно к ЦФР, отсутствует научно обоснованная методика

определения передаточных отношений мультипликатора, определяющая выбор типа мультипликатора.

Автором проведен анализ исследований фрикционных материалов тормозов ПТМ, которыми занимались научные школы МГТУ им. Н. Э. Баумана (Александров М. П., Носко А. Л., Ромашко А.М., Федосеев В.Н., Хурцидзе Т. В.), Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН (Браун Э.Д., Чичинадзе А. В.) и др. Установлено, что фрикционно-износные испытания ФПМ в режимах эксплуатации ЦФР ГРК не проводились.

Выполненные в первой главе исследования позволили обосновать и сформулировать цель и задачи работы.

**Во второй главе** разработана ММ процесса ударного взаимодействия паллеты с упором УОРП, получено в общем виде выражение для расчета допустимой скорости  $[v]$  движения паллет на ГРК, приведен пример расчета  $[v]$  для наиболее часто используемой конструкции упора УОРП и деревянных *EUR*- и *FIN*-поддонов в зависимости от массы  $M$  паллеты.

При определении допустимой скорости  $[v]$  движения паллет по ГРК использована теория удара Кокса, согласно которой кинетическая энергия паллеты переходит в потенциальную энергию деформации системы упор УОРП-паллета,

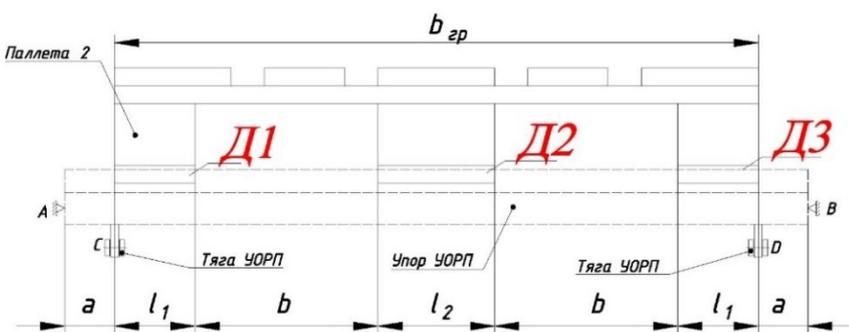
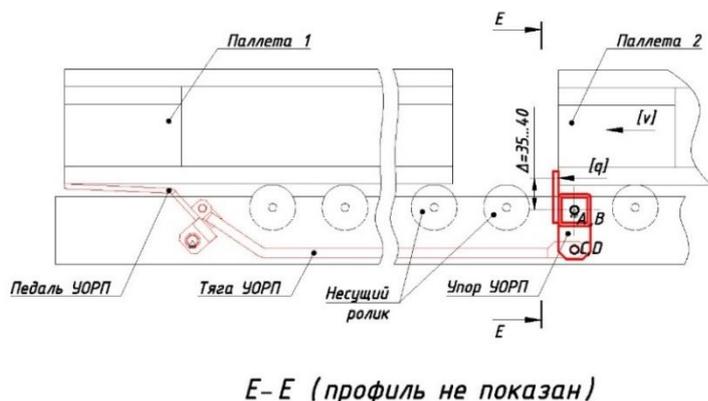


Рис. 1. Схема упора устройства остановки и разделения паллет

системы упор УОРП-паллета, упор УОРП представлен в виде балки, закрепленной с двух сторон, испытывающий совместное действие изгибающего  $M_{изг}$  и крутящего  $M_{кр}$  моментов от приложенной ударной нагрузки  $[q]$ . Из-за малости углов наклона  $\alpha$  роликового полотна ГРК ( $\alpha = 1 \dots 3,5^\circ$ ) и учитывая, что масса  $M$  паллеты минимум на порядок больше массы упора УОРП – удар принимался продольным и абсолютно неупругим.

ММ для определения допустимой скорости  $[v]$  движения паллеты имеет вид (1) равенства кинетической энергии паллеты и потенциальной энергии деформации

при этом скорость удара определяется ТР. При прохождении паллеты 1 (Рис.1) упор УОРП при отсутствии вертикальной нагрузки на педаль свободно вращается вокруг своей оси А, не препятствуя движению паллеты 1. При наличии вертикальной нагрузки от паллеты 1, действующей на педаль, упор УОРП блокируется и препятствует прохождению паллеты 2, воспринимая при этом допустимую ударную нагрузку  $[q]$ . Учитывая, что на практике удар происходит плоскостями трех досок Д1-Д3 основания поддона, а деформация тяги и педали на порядок меньше деформации

системы упор УОРП-паллета:

$$\frac{M \cdot [v]^2}{2} = [U_{\Sigma}], \quad (1)$$

где  $[U_{\Sigma}]$  – допустимая энергия деформации системы упор УОРП-паллета.

Потенциальная энергия деформации системы упор УОРП-паллета определяется как сумма потенциальной энергии  $U_{уп}$  деформации упора УОРП от действия изгибающих  $M_{изг}$  и крутящих  $M_{кр}$  моментов, и потенциальной энергии  $U_{пал}$  деформации от сжатия поддона:

$$U_{\Sigma} = U_{уп} + U_{пал} \quad (2)$$

В результате решения уравнений (1) и (2) ММ получена в общем виде расчетная зависимость допустимой скорости  $[v]$ :

$$[v] = \sqrt{\frac{2}{M} \cdot [q]^2 \left( \frac{K_{U_{изг}}}{E \cdot I_X} + \frac{K_{U_{кр}}}{G \cdot I_K} + K_{пал}^{сж} \right)} = [\sigma] \sqrt{\frac{2}{M} \cdot \frac{\left( \frac{K_{U_{изг}}}{E \cdot I_X} + \frac{K_{U_{кр}}}{G \cdot I_K} + K_{пал}^{сж} \right)}{\left( \frac{K_{M_{и}}}{W_X} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{M_{к}}}{W_K} \right)^2}}, \quad (3)$$

где  $[\sigma]$  – допускаемые напряжения материала упора УОРП;  $K_{U_{изг}} = f(l_1, l_2, a, b)$ ,  $K_{U_{кр}} = f(l_1, l_2, a, b, \Delta)$  – коэффициенты потенциальной энергии деформации упора УОРП от действия изгибающих и крутящих моментов;  $E, G$  – модуль Юнга и модуль сдвига материала упора УОРП;  $I_X$  – момент инерции сечения упора УОРП относительно оси изгиба;  $I_K$  – геометрический фактор жесткости сечения упора УОРП при кручении;  $K_{M_{и}} = f(l_1, l_2, a, b)$ ,  $K_{M_{к}} = f(l_1, l_2, a, b, \Delta)$  – коэффициент изгибающего и крутящего моментов, действующего на упор УОРП;  $W_X, W_K$  – сопротивление сечения упора УОРП изгибу относительно оси изгиба и кручению соответственно;  $K_{пал}^{сж} = f(l_1, l_2, a, b)$  – коэффициент потенциальной энергии сжатия поддона.

Для наиболее часто используемой конструкции упора УОРП и деревянных *EUR*- и *FIN*-поддонов в зависимости от массы  $M$  паллеты приведен пример расчета допустимой скорости  $[v]$ , результаты которого представлены на Рис. 2. Анализ результатов показал, что для *EUR*- и *FIN*-поддонов допустимая скорость  $[v]$  практически

одинакова, уменьшается с увеличением массы  $M$  паллеты, согласуется с данными зарубежных производителей гравитационных стеллажей для паллет.

Полученная расчетная зависимость  $[v]$  учитывается при определении скорости движения паллеты по ЦФР на ГРК, обеспечивающей безопасность его работы.

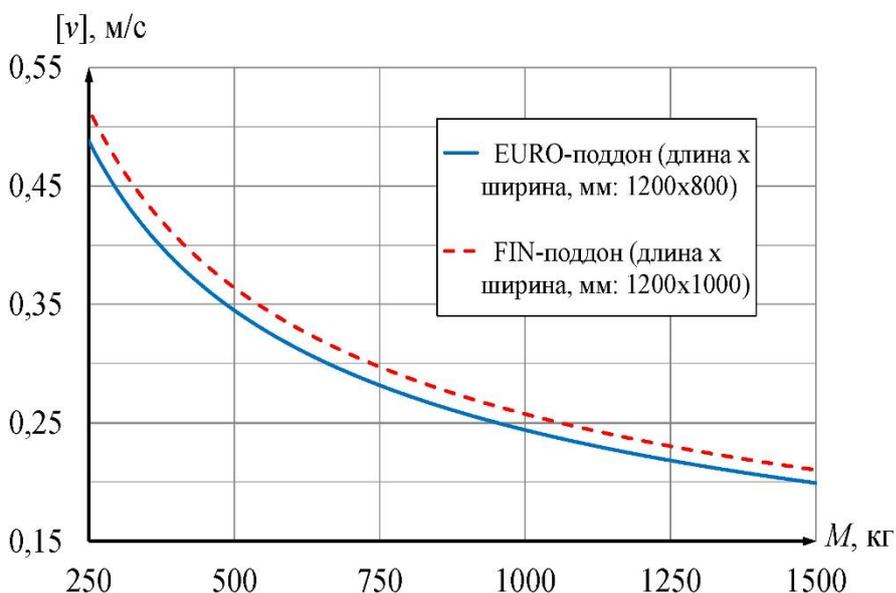


Рис. 2. Зависимость допустимой скорости  $[v]$  движения от массы  $M$  паллеты при использовании деревянных *EUR*- и *FIN*-поддонов

**В третьей главе** разработана ММ процесса движения паллеты по ЦФР, получена расчетная зависимость скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР в зависимости от массы  $M$  паллеты и параметров ЦФР, проведены теоретические исследования по оценке влияния износа фрикционной накладке на скорость  $V$  движения паллеты по ЦФР. Разработаны расчетные схемы ГРК и ЦФР (Рис. 3), которые положены в основу ММ процесса движения паллеты по ЦФР.

Движение паллеты по ЦФР описывается основным уравнением динамики поступательного движения (Рис. 3,а):

$$M \frac{dV}{dt} = G \sin \alpha - \sum W - F_T = G(\tan \alpha - w) - F_T,$$

где  $G = Mg$  – сила тяжести, действующая на паллету;  $\sum W$  – сумма сил сопротивления передвижению паллеты на ГРК;  $F_T$  – тормозная сила ЦФР;  $w = \sum \frac{W}{G \cos \alpha}$  – приведенный коэффициент сопротивления передвижению паллеты по роликовому полотну ГРК. С учетом малости угла  $\alpha$ , можно принять  $\sin \alpha \cong \tan \alpha$ ,  $\cos \alpha \cong 1$ .

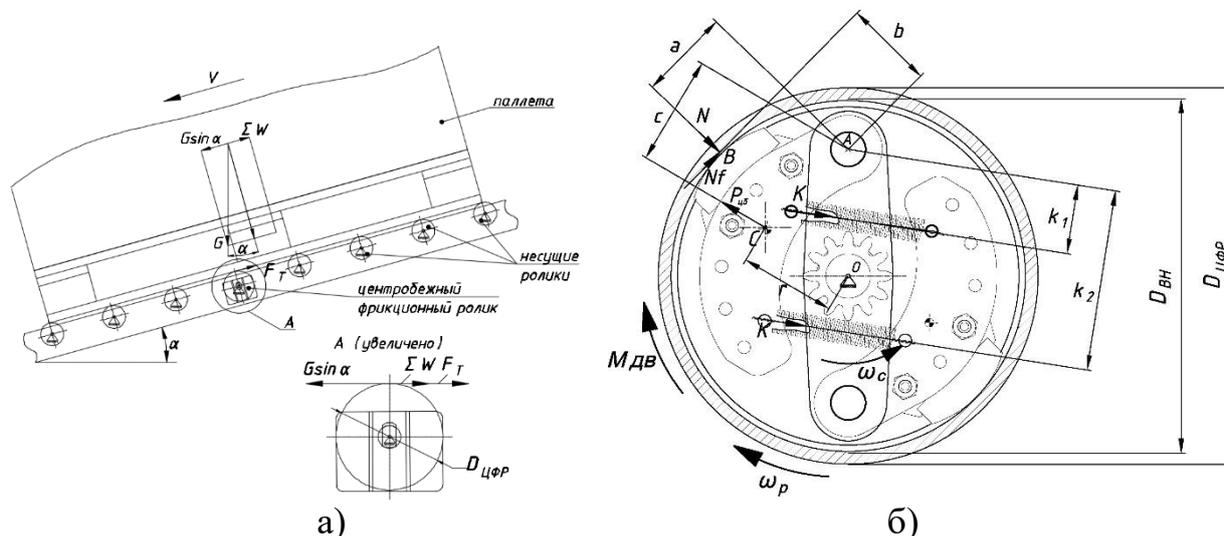


Рис. 3. Расчетные схемы ГРК (а) и ЦФР (б)

В свою очередь, вращение ЦФР может быть описано основным уравнением динамики вращательного движения относительно т. О (Рис. 3,б):

$$J_{\text{ЦФР}} \frac{d\omega_p}{dt} = \sum M_O = M_{\text{дв}} - M_{\text{T1}} - M_{\text{T2}},$$

где  $J_{\text{ЦФР}}$  – момент инерции ЦФР;  $\omega_p$  – угловая скорость ЦФР;  $M_{\text{дв}}$  – движущий момент, действующий на обечайку ЦФР;  $M_{\text{T1}}, M_{\text{T2}}$  – тормозные моменты, действующие на обечайку и ступицу центробежного тормоза ЦФР, приведенный к его обечайке, соответственно.

Следует отметить, что скольжение паллеты по ЦФР имеет место в двух случаях: при неправильном выборе угла наклона  $\alpha$  роликового полотна ГРК и в процессе наезда паллеты на невращающийся ЦФР при его разгоне. Оценочные расчеты показали, что процесс разгона ЦФР не превышает 5% времени движения паллеты по ЦФР, которое составляет 6...7 сек. Поэтому принимаем отсутствие проскальзывания, а скорость паллеты  $V = \frac{\omega_p D_{\text{ЦФР}}}{2}$ , ( $D_{\text{ЦФР}}$  – диаметр ЦФР). Считая движение паллеты по ЦФР равномерным, ( $\frac{dV}{dt} = 0$ ), получим:

$$J_{\text{ЦФР}} \frac{d\omega_p}{dt} = M_{\text{дв}} - M_{\text{T1}} - M_{\text{T2}} = 0.$$

Следовательно, ММ процесса движения паллеты по ЦФР может быть представлена в виде уравнения (4) равенства движущего  $M_{дв}$  момента, создаваемого паллетой, и тормозных моментов  $M_{Т1}$  и  $M_{Т2}$ , действующих на обечайку и ступицу центробежного тормоза ЦФР, приведенный к его обечайке, соответственно:

$$M_{дв} = M_{Т1} + M_{Т2}, \quad (4)$$

или (Рис. 3,б)

$$\frac{D_{ЦФР} \cdot G \cdot (\tan \alpha - w)}{2} = i_K \cdot N \cdot f \cdot \frac{D_{ВН}}{2} + i_K \cdot N \cdot f \cdot \frac{D_{ВН}}{2} \cdot u \cdot \eta_{ЦФР},$$

где  $i_K$  – количество тормозных колодок ( $i_K=2$ );  $N$  – сила нормального давления фрикционной накладкой на обечайку ЦФР;  $f$  – коэффициент трения между фрикционной накладкой и обечайкой ЦФР;  $D_{ВН}$  – внутренний диаметр обечайки ЦФР;  $u$  – передаточное отношение мультипликатора;  $\eta_{ЦФР}$  – КПД ЦФР.

Тормозные моменты создаёт центробежная сила  $P_{ЦБ}$ , действующая на колодки, которая определяется из уравнения (5) равновесия тормозной колодки относительно оси  $A$  (Рис. 4) её вращения:

$$\sum M_A = P_{ЦБ} \cdot c \pm N_f \cdot b - N \cdot a - K \cdot (k_1 + k_2) = 0, \quad (5)$$

где  $\sum M_A$  – сумма моментов сил относительно оси  $A$ ;  $N_f$  – сила трения;  $K$  – сила упругости размыкающей пружины;  $a, b, c, k_1, k_2$  – плечи действия соответственно сил нормального давления  $N$  фрикционной накладкой на обечайку ЦФР, трения  $N_f$ , центробежной силы  $P_{ЦБ}$  и сил  $K$  размыкающих пружин.

Знаки «+» или «-» определяются направлением вращения обечайки ЦФР. Учитывая, что работа ЦФР является более эффективной при вращении обечайки ЦФР по часовой стрелке, чему соответствует знак «+» (Рис. 3,б) в дальнейших расчетах знак «-» не использовался.

Выразив центробежную силы  $P_{ЦБ}$  через частоту вращения обечайки ЦФР и подставив (5) в (4) получим расчетную зависимость скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР от ее массы  $M$  и конструктивных параметров ЦФР:

$$V = \frac{D_{ЦФР}}{2u} \sqrt{\frac{1}{r \cdot c \cdot m_{\Gamma}} \left[ \frac{D_{ЦФР} \cdot M \cdot g \cdot (\tan \alpha - w)}{i_K \cdot D_{ВН} \cdot f \cdot (1 + u \cdot \eta_{ЦФР})} \cdot (a - f \cdot b) + K \cdot (k_1 + k_2) \right]} \leq [v], \quad (6)$$

где  $r$  – радиус действия центробежной силы  $P_{ЦБ}$ ;  $m_{\Gamma}$  – масса одной тормозной колодки;  $g$  – ускорение свободного падения.

Анализ расчетной зависимости (6) показал, что основными параметрами, определяющими эффективность работы ЦФР, являются: угол установки  $\beta$  фрикционной накладкой на тормозной колодке, определяющий плечи действия  $a$  и  $b$  сил нормального давления  $N$  и трения  $N_f$  соответственно, передаточное отношение  $u$  мультипликатора ЦФР, коэффициент трения  $f$  между фрикционной накладкой и обечайкой ЦФР.

Установлено, что форма зависимости скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР от угла  $\beta$  установки фрикционной накладкой имеет параболический вид с максимумом при  $\beta = 90^\circ$ , а минимальная скорость достигается при расположении накладкой в крайних положениях на тормозной колодке. Выбор углов  $\beta$  определяется из условия отсутствия заклинивания ЦФР с учетом коэффициента трения  $f$  между фрикционной накладкой и обечайкой ЦФР, а также возможности установки фрикционной накладкой в крайние положения на тормозном рычаге (Рис. 4).

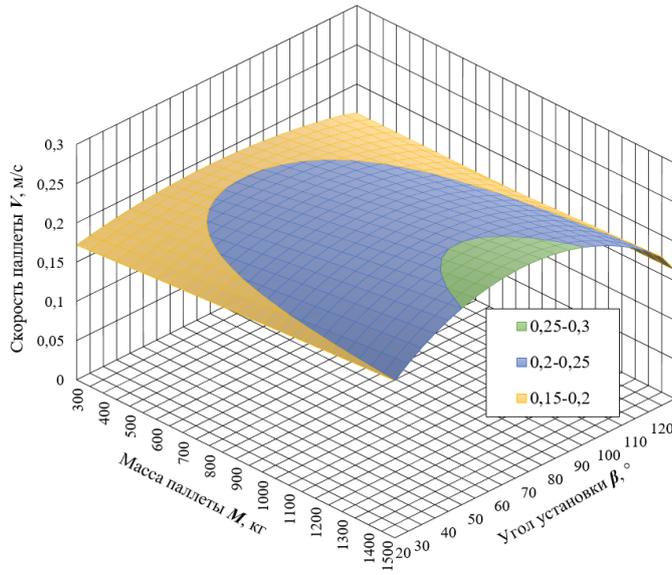


Рис. 4. Зависимость скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР от массы  $M$  паллеты при угле  $\beta$  установки фрикционной накладки

Для обеспечения допустимых скоростей  $[v]$  движения паллет необходимо, чтобы мультипликатор ЦФР имел передаточные отношения не менее 20, что на практике достигается использование планетарного мультипликатора с количеством ступеней не менее 2-х.

Расчеты показали, что сила  $N$  нормального давления при различных режимах работы фрикционной накладки ЦФР для опытного отечественного образца ЦФР с передаточным отношением мультипликатора  $u=24$  не превышает 25 Н.

Проведены теоретические исследования по оценке влияния износа фрикционной накладки на

скорость  $V$  движения паллеты по ЦФР. На основе построенной геометрической модели ЦФР получена обобщенная расчетная зависимость (7) скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР с учетом линейного износа  $\Delta h$  фрикционной накладки:

$$\left\{ \begin{aligned}
 V(\Delta h) &= \frac{D_{\text{ЦФР}}}{2u} \sqrt{\frac{1}{r'c'm_{\Gamma}} \left[ \frac{D_{\text{ЦФР}} \cdot M \cdot g \cdot (\tan \alpha - w)}{i_{\text{К}} \cdot D_{\text{ВН}} \cdot f \cdot (1 + u \cdot \eta_{\text{ЦФР}})} \cdot (a' - f \cdot b') + K' \cdot (k_1' + k_2') \right]}; \\
 a' &= l_0 \cdot \sin \beta'; \\
 b' &= \frac{D_{\text{ВН}}}{2} - l_0 \cdot \cos \beta'; \\
 \beta' &= \arccos \left[ \frac{\Delta h}{2 \cdot l_0} + \frac{R_{\text{ВН}} - \Delta h}{R_{\text{ВН}}} \cdot \left( \frac{\Delta h}{2 \cdot l_0} + \cos \beta \right) \right]; \\
 r' &= \sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}; \\
 c' &= c \cdot \frac{x_1' \cdot r}{x_1' \cdot r'}; \\
 K' &= k_{\Pi} \cdot (l'_{\Pi} - l_{\Pi 0}); \\
 k_1' &= \frac{[x_2' \cdot y_3' - x_3' \cdot y_2' + l_0 \cdot (x_2' + x_3')]}{l'_{\Pi}}; \\
 k_2' &= \frac{[y_2' \cdot x_3' - y_3' \cdot x_2' + l_0 \cdot (x_2' + x_3')]}{l'_{\Pi}}; \\
 x_i' &= x_i \cdot \cos \delta + (y_i - l_0) \cdot \sin \delta; \\
 y_i' &= (y_i - l_0) \cdot \cos \delta - x_i \cdot \sin \delta + l_0; \\
 \delta &\cong \sqrt{\frac{\Delta h^2 + R_{\text{ВН}}^2 \cdot (\beta - \beta')^2}{(R_{\text{ВН}} - \Delta h) \cdot (R_{\text{ВН}} - \Delta h - 2 \cdot l_0 \cdot \cos \alpha) + l_0^2}};
 \end{aligned} \right. \quad (7)$$

где  $\Delta h$  – линейный износ фрикционной накладки;  $r'$  – радиус действия центробежной силы в изношенном состоянии фрикционной накладки ЦФР;  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ ,  $k_1'$ ,  $k_2'$  – плечи действия соответственно сил нормального давления  $N$  фрикционной накладки на обечайку ЦФР, трения  $N_f$ , центробежной силы  $P_{\text{ЦБ}}$  и сил  $K'$  размыкающих пружин в изношенном состоянии ЦФР;  $l_0$  – расстояние между

осями установки тормозной колодки и вращения ЦФР;  $\beta'$  - угол установки фрикционной накладки ЦФР в изношенном состоянии;  $R_{вн}$  - внутренний радиус обечайки ЦФР;  $k_{п}$  - жесткость пружины;  $l'_{п}$  - длина размыкающей пружины в изношенном состоянии фрикционной накладки ЦФР;  $l_{п0}$  - длина размыкающей пружины в недеформированном состоянии;  $x'_i, y'_i$  - координаты  $i$ -ой точки фрикционной накладки в системе координат  $OXY$ , связанной с осью ЦФР (где 1 - точка центра тяжести фрикционной накладки, 2 и 3 - точки крепления размыкающих пружин);  $\delta$  - угол дополнительного поворота тормозной колодки в процессе износа.

Расчеты, проведенные по обобщенной расчетной зависимости (7) для паллеты массой  $M = 1400$  кг (Рис. 5) позволяют для различных значений линейного износа  $\Delta h$  и углов установки  $\beta$  фрикционной накладки, получить зоны скоростей движения паллеты по ЦФР (Рис. 5): 1 - зона рабочих скоростей; 2 - зона превышения допустимой скорости  $[v]$  движения паллет на ГРК; 3 - зона аварийных значений скорости. Например, для угла установки  $\beta = 60^\circ$ : при  $\Delta h \leq 3$  мм скорость движения паллеты по ЦФР  $V \leq [v]$ ; при  $3 \leq \Delta h \leq 5,5$  мм скорость движения паллеты по ЦФР  $V > [v]$ ; при износе  $\Delta h \geq 5,5$  мм наступает аварийная ситуация, т.к. отсутствует контакт фрикционной накладки и обечайки ЦФР.

На основе созданной ММ процесса движения паллеты по ЦФР разработана методика расчета параметров ЦФР, обеспечивающих безопасность и эффективность работы ГРК.

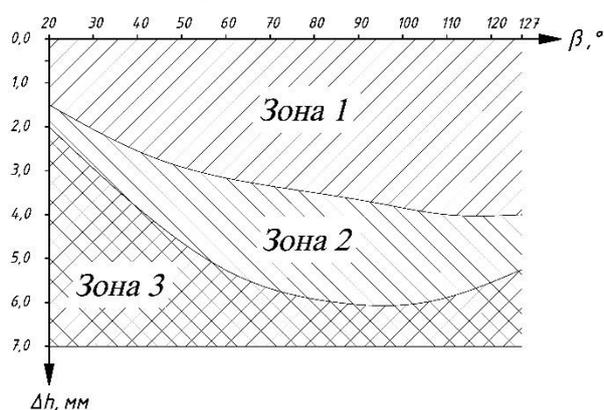


Рис. 5. Пример расчета скорости по обобщенной расчетной зависимости (7) для массы паллеты  $M = 1400$  кг и угла установки накладки: 1 - зона рабочих скоростей; 2 - зона превышения допустимой скорости  $[v]$  движения паллет на ГРК; 3 - зона аварийных значений скорости

**В четвертой главе** проведены: фрикционно-износные испытания и экспериментальная оценка температурного режима работы материалов фрикционной накладке опытного отечественного образца ЦФР; верификация ММ процесса движения паллеты по ЦФР.

Экспериментальные исследования опытного отечественного образца ЦФР (Рис. 6,а) проводились на разработанном экспериментальном стенде (Рис. 6,б), позволяющем имитировать реальные режимы нагружения ЦФР.

Испытания опытного отечественного образца ЦФР проводились для 4-х положений фрикционной накладки на тормозной колодке, соответствующих углам  $\beta = 46; 66; 86; 106^\circ$  при массах контрольного груза от 5 до 30 кг (соответствует массе  $M$  паллеты от 250 до 1500 кг) и передаточном отношении мультипликатор ЦФР  $u = 24$ . В качестве материалов пары трения были выбраны вальцованные ФПМ на каучуковом связующем типов ЭМ-1 и ЭМ-2 и Сталь 3.

В качестве измеряемых параметров выбраны: расстояние  $H$ , пройденное контрольным грузом при опускании под действием силы тяжести; время  $t$  прохождения контрольным грузом расстояния  $H$ ; температура  $T$  фрикционной накладки.

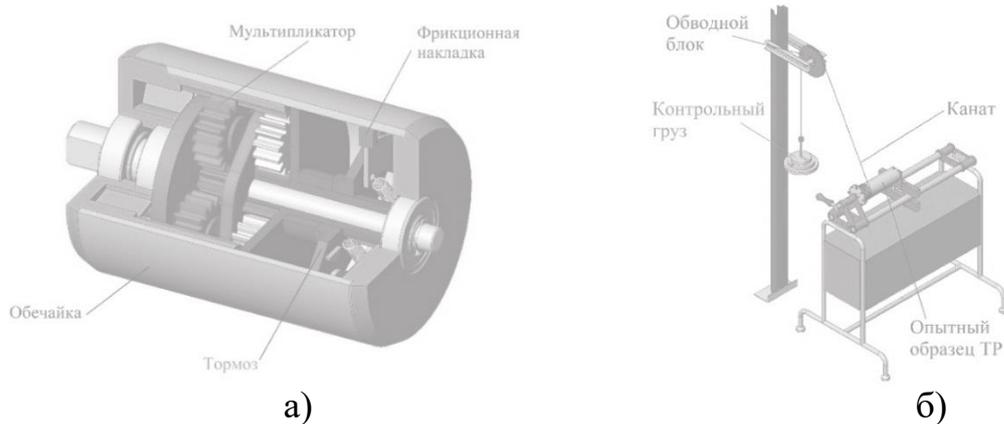


Рис. 6. Общий вид опытного отечественного образца ЦФР (а) и экспериментального стенда для испытаний ТР различных конструктивных исполнений (б)

Экспериментальная оценка температурного режима работы материалов фрикционной накладки опытного отечественного образца ЦФР проводилась для самого тяжелого режима работы ГРК (масса контрольного груза  $m = 30$  кг, что соответствует массе паллеты  $M = 1500$  кг; производительность  $\Pi = 90$  торм/час) с использованием автономного измерительного блока, позволяющего передавать показания термопары посредством радиопередачи.

В качестве примера на Рис. 7 представлен сравнительный анализ результатов расчетных (по формуле 6) и экспериментальных исследований скорости  $V$  движения паллеты по опытному отечественному образцу ЦФР при  $\beta = 106^\circ$  для ФПМ типов ЭМ-1 и ЭМ-2.

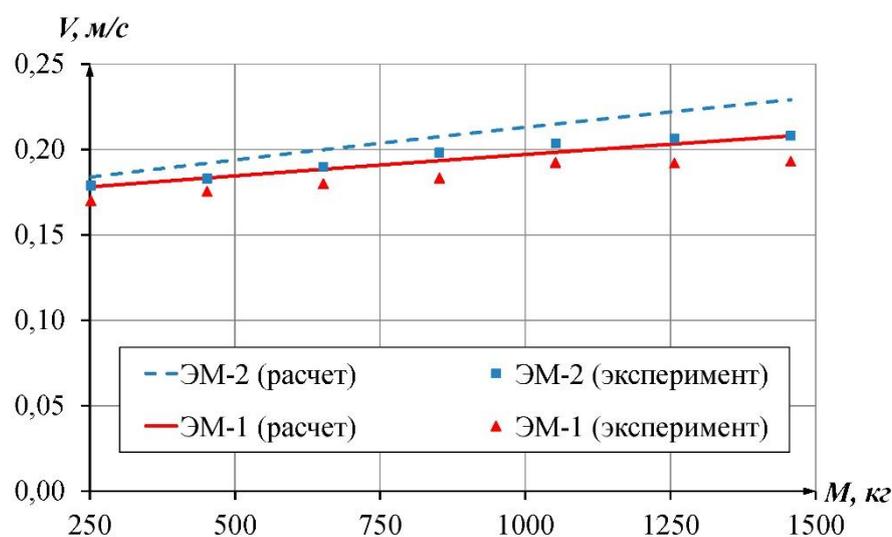


Рис. 7. Сравнительный анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР при  $\beta = 106^\circ$  для ФПМ типов ЭМ-1 и ЭМ-2

более 8,2% с доверительной вероятностью 0,95; температура  $T$  фрикционной накладки не превышает 45-50°C.

Для экспериментальных исследований фрикционно-износных характеристик пары трения опытного отечественного образца ЦФР использовался трибометр *Nanovea T50* и разработанный экспериментальный модуль (Рис. 8) на базе лабораторного стенда *Lucas-Nülle GmbH* (ФРГ).

На основе проведенных экспериментальных исследований скорости  $V$  движения паллеты по опытному отечественному образцу ЦФР установлено, что: скорость  $V$  движения паллеты увеличивается с увеличением ее массы, зависимость близка к линейной; максимальная погрешность ММ не превышает 15,8%; среднее значение погрешности ММ во всем диапазоне масс паллет составляет не

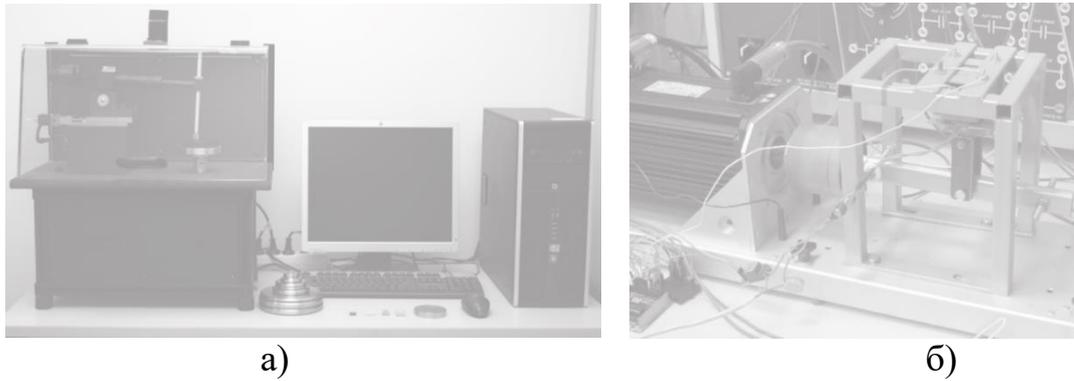


Рис. 8. Общий вид трибометра *NANOVEA T50* (а) и экспериментального модуля (б) для исследований фрикционно-износных характеристик пары трения ЦФР

Значения нагрузок на пару трения были выбраны на основании данных, полученных по разработанной в Главе 3 методике расчета ЦФР, и составили не более 0,2 МПа.

Стабильность работы фрикционной пары ЦФР оценивалась коэффициентами стабильности  $\alpha_{СТ}$  и колебания  $\gamma$  коэффициента трения. Результаты исследования приведены на Рис. 9.

Испытания на износ проводились в режиме стационарного трения. Время проведения каждого испытания выбиралось из условия износа фрикционной накладки не менее 0,05 г. В зависимости от параметров режима испытаний, продолжительность одного испытания составляла от 2 до 4 часов.

Износ фрикционной накладки определялся при силе нормального давления на фрикционную наладку  $N = 9; 15,65; 22,32$  Н и частоте вращения обечайки ЦФР  $n = 438; 628; 1108$  мин<sup>-1</sup>. Испытания проводились с постоянной мощностью трения (при постоянном значении  $p\nu$ , равном 0,1 Вт/мм<sup>2</sup>), характерной для режимов работы пар трения ЦФР ГРК.

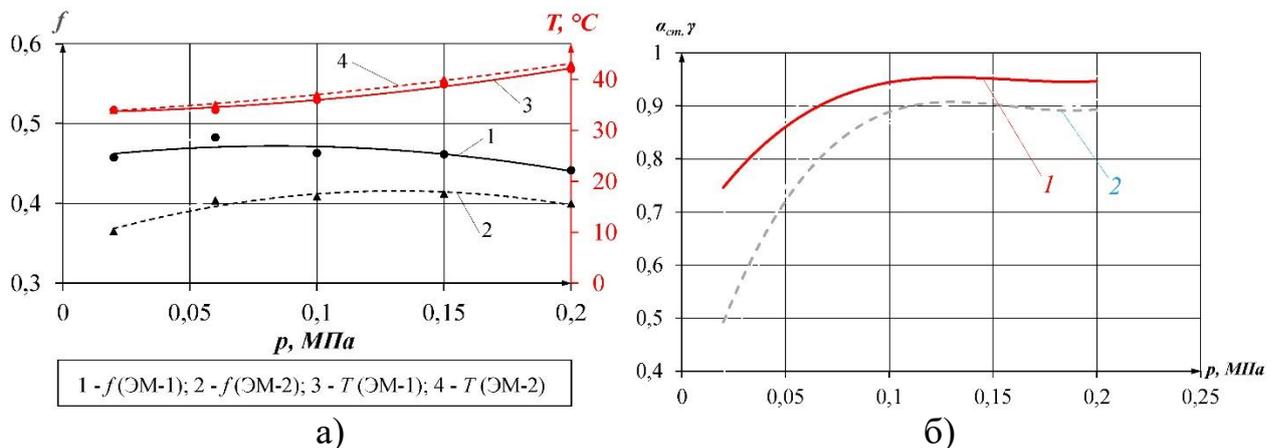


Рис.9. Зависимости: а - коэффициента  $f$  трения от температуры  $T$  и давления  $p$ ; б - коэффициентов стабильности  $\alpha_{СТ}$  (1) и колебания  $\gamma$  (2) коэффициента трения от давления  $p$

Анализ результатов экспериментальных исследований фрикционно-износных характеристик пары трения ЦФР показал:

- температура в зоне трения не превышает 45-50°C, что существенно ниже предельной температуры для исследуемых ФПМ;

- коэффициент трения для ФПМ типа ЭМ-1 имеет средние значения, которые находятся в диапазоне 0,44...0,48. Средние значения коэффициента трения для ФПМ типа ЭМ-2 на 15...20% ниже и находятся в диапазоне 0,38...0,41;

- коэффициенты стабильности  $\alpha_{СТ}$  и колебания  $\gamma$  коэффициента трения у обоих типов ФПМ во всем диапазоне давлений практически одинаковы, с ростом давления до 0,1 МПа коэффициенты резко возрастают, а при давлениях выше 0,1 МПа стабилизируются и близки к значениям 0,9-0,95;

- средний массовый износ ФПМ типа ЭМ-1 составляет 0,91 мкг/с, а типа ЭМ-2 – 1,27 мкг/с;

- верификация ММ процесса движения паллеты по ЦФР показала, что максимальная погрешность ММ не превышает 15,8%; среднее значение погрешности ММ во всем диапазоне масс паллет составляет не более 8,2% с доверительной вероятностью 0,95.

Проведенные экспериментальные исследования, а также верификация ММ (Глава 2 и 3), позволяют провести сравнительный анализ эффективности работы и оценку срока службы опытного отечественного образца ЦФР с его зарубежными аналогами.

**В пятой главе** представлены результаты сравнительного анализа эффективности работы и оценки срока службы опытного отечественного образца ЦФР с зарубежными аналогами производства Китай и ФРГ.

Эффективность работы ЦФР оценивалась по следующим показателям:

- значениям рабочего диапазона масс паллет  $[M_{мин}, M_{макс}]$ , где  $M_{мин}$  – минимальная масса паллеты ( $M_{мин} = 250$  кг);  $M_{макс}$  – максимальная масса паллеты, при которой ЦФР способен обеспечивать скорость  $V$  движение паллеты по ЦФР, не превышающую допустимых значений скорости  $[v]$  движения паллет на ГРК;

- значениям отклонений скоростей  $\Delta V_{\%}$  движения паллет различной массы по ЦФР:

$$\Delta V_{\%} = \frac{V_{макс} - V_{мин}}{V_{макс}}$$

где  $V_{макс}$  и  $V_{мин}$  – максимальная и минимальная скорости движения паллет по ЦФР, определяемые для  $M_{макс}$  и  $M_{мин}$  соответственно;

- сроку службы  $P$ .

Срок службы  $P$  опытного отечественного образца ЦФР оценивался по экспериментальным

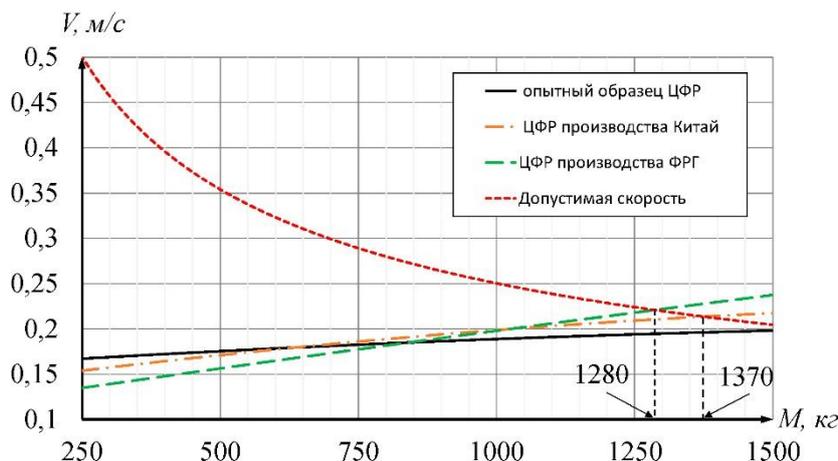


Рис. 10. Сравнительный анализ рабочего диапазона масс и скоростей паллет отечественного опытного образца ЦФР с зарубежными аналогами

данным износа фрикционной накладке для следующих режимов работы ГРК: количество часов работы в смену  $t_{см} = 8$ ; количество смен в день  $z_{см} = 1$ ; количество рабочих дней в году  $n_{раб} = 250$ ; производительность  $\Pi = 20$  паллет/час.

Результаты

сравнительного анализа эффективности работы ЦФР различных производителей с

одинаковыми габаритными размерами (диаметр ЦФР) представлены на Рис. 10, 11. При этом установлено: рабочий диапазон масс  $M$  паллет (при  $V \leq [v]$ ) для

опытного отечественного образца ЦФР составляет 250...1500 кг; для ЦФР производства Китай - 250...1370 кг, для ЦФР производства ФРГ – 250...1280 кг; разброс скоростей  $\Delta V_{\%}$  движения паллет различной массы по ЦФР составляет: 19% для опытного образца ЦФР, 28% для ЦФР производства Китай; 36% для ЦФР производства ФРГ; срок службы опытного отечественного образца ЦФР превышает срок службы зарубежных аналогов в 1,5...3 раза и сопоставим со сроком эксплуатации стеллажных конструкций (без их технического обслуживания).

Наименование ЦФР	Срок службы, год	Гистограмма
ЦФР с одним тормозом (Китай)	0,82	
ЦФР с двумя тормозами (Китай)	1,64	
Опытный образец ЦФР (ЭМ-1 толщиной $h_n=6$ мм)	2,83	
Опытный образец ЦФР (ЭМ-1 толщиной $h_n=8$ мм)	6,52	
Опытный образец ЦФР (ЭМ-2 толщиной $h_n=6$ мм)	2,03	
Опытный образец ЦФР (ЭМ-2 толщиной $h_n=8$ мм)	4,67	

Рис. 11. Сравнительный анализ срока службы  $P$  опытного отечественного образца ЦФР с его зарубежными аналогами

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведен анализ конструкций гравитационных стеллажей для паллет и ГРК, определены основные элементы безопасности ГРК – ТР и УОРП, разработана классификация конструкций ТР.

2. Разработана ММ процесса ударного взаимодействия паллеты с упором УОРП, позволяющая рассчитать допустимую скорость  $[v]$  движения паллет на ГРК. Установлено, что для наиболее часто используемой конструкцией упора УОРП и деревянных *EUR*- и *FIN*-поддонов допустимая скорость движения паллет на ГРК находится в пределах 0,2-0,3 м/с. На основе ММ предложена методика расчета допустимых скоростей движения паллет на ГРК, обеспечивающих безопасную работу ГРК при транспортировке и разгрузке паллет.

3. Разработана ММ процесса движения паллеты по ЦФР, получена расчетная зависимость скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР в зависимости от массы  $M$  паллеты, конструктивных параметров ЦФР и коэффициента трения  $f$  между фрикционной накладкой и обечайкой ЦФР. Установлено, что: выбор углов  $\beta$  установки фрикционной накладки определяется из условия отсутствия заклинивания ЦФР, а также возможности установки фрикционной накладки в крайние положения на тормозной колодке; сила  $N$  нормального давления при различных режимах работы фрикционной накладки ЦФР не зависит от угла  $\beta$  установки фрикционной накладки и для опытного отечественного образца ЦФР не превышает 25 Н; мультипликатор ЦФР должен иметь планетарное исполнение с передаточным отношением  $u$  не менее 20, с количество ступеней не менее 2-х. Верификация ММ показала, что погрешность ММ не превышает 15,8%; среднее значение погрешности ММ во всем диапазоне масс паллет составляет не более 8,2% с доверительной вероятностью 0,95. На основе ММ предложена методика расчета параметров ЦФР, обеспечивающих эффективную работу ГРК для паллет.

Получена обобщенная расчетная зависимость скорости  $V$  движения паллеты по ЦФР, учитывающая износ фрикционной накладки, ее положение на тормозной колодке, массу паллеты, конструктивные параметры ЦФР, такие как диаметр ЦФР, расстояние между осями ЦФР и тормозных колодок и др. Предложенная зависимость позволяет получить зоны рабочих скоростей, превышения

допустимой скорости движения паллет на ГРК и аварийных значений скорости движения паллеты по ЦФР.

4. Разработан и изготовлен опытный отечественный образец ЦФР; созданы отечественные конструкции ЦФР, ролика ГРК и УОРП, на которые получены 4 патента на полезную модель; разработана методика испытаний и изготовлен экспериментальный стенд для исследований ТР различных конструктивных исполнений, на который получен патент на полезную модель; разработан и изготовлен экспериментальный модуль на базе лабораторного стенда *Lucas-Nülle GmbH* (ФРГ) для проведения фрикционно-износных и ресурсных испытаний фрикционных пар ЦФР. Подобраны фрикционные материалы для опытного отечественного образца ЦФР.

5. Проведены экспериментальные исследования фрикционно-износных характеристик пары трения Сталь 3/валяцованные ФПМ типов ЭМ-1 и ЭМ-2 в режимах работы ЦФР. Установлено: температура в зоне трения не превышает 45-50°C, что существенно ниже предельной температуры для испытываемых ФПМ; коэффициенты трения для ФПМ типа ЭМ-1 имеет средние значения, которые находятся в диапазоне 0,44...0,48, для ФПМ типа ЭМ-2 - в диапазоне 0,38...0,41; коэффициенты стабильности  $\alpha_{ст}$  и колебания  $\gamma$  коэффициента трения у обоих типов ФПМ во всем диапазоне давлений практически одинаковы и с ростом давления до 0,1 МПа коэффициенты резко возрастают, а при давлениях выше 0,1 МПа стабилизируются и близки к значениям 0,9-0,95; средний массовый износ фрикционной накладки типа ЭМ-1 составляет 0,91 мкг/с, а типа ЭМ-2 – 1,27 мкг/с.

6. Проведен сравнительный анализ эффективности работы опытного отечественного образца ЦФР с его зарубежными аналогами, результаты которого показали, что: рабочий диапазон масс  $M$  паллет (при  $V \leq [v]$ ) для отечественного опытного образца ЦФР составляет 250...1500 кг; для ЦФР производства Китай - 250...1370 кг, для ЦФР производства ФРГ – 250...1280 кг; разброс скоростей  $\Delta V_{\%}$  движения паллет различной массы составляет: 19% для опытного отечественного образца ЦФР, 28% для ЦФР производства Китай; 36% для ЦФР производства ФРГ; срок службы опытного отечественного образца ЦФР превышает срок службы зарубежных аналогов в 1,5...3 раза и сопоставим со сроком эксплуатации стеллажных конструкций для паллет (без их технического обслуживания).

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Сафронов Е.В., Шарифуллин И.А., Носко А.Л. Устройства безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров паллетного типа: Монография. М: Университетская книга, 2018. 72 с. (4,5 п.л./2,8 п.л.).

2. Nosko A.L., Safronov E.V., Soloviev V.A. Study of friction and wear characteristics of the friction pair of centrifugal brake rollers // Journal of Friction and Wear, 2018, V. 39, № 2. P. 145-151. (0,54 п.л./0,22 п.л.).

3. Шарифуллин И.А., Сафронов Е.В., Носко А.Л. Обзор и анализ конструкций устройств остановки и разделения паллет роликовых гравитационных конвейеров // Journal of advanced research in technical science. 2018. № 8. С. 18-29. (0,44 п.л./ 0,15 п.л.).

4. Сафронов Е.В., Носко А.Л. Методика определения максимально допустимой скорости движения поддона на гравитационном роликовом конвейере // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 8. С. 32-40. (0,48 п.л./0,32 п.л.).

5. Сафронов Е.В., Носко А.Л. Методика расчета тормозного ролика центробежного типа применительно к гравитационным роликовым конвейерам для паллет // Механизация строительства. 2017. Том 78, № 6. С. 26-31. (0,45 п.л./ 0,3 п.л.).

6. Сафронов Е.В. Анализ конструкций тормозных роликов гравитационных конвейеров для паллет // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация: Материалы I Всероссийской заочной научно-практической конференции, ответственный редактор С.П. Озорнин. Чита: Забайкальский государственный университет. 2016. С. 53-62. (0,28 п.л.).

7. Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А. Система паллетных модулей для складской интралогистики // Вестник машиностроения. 2016. № 8. С. 10-12. (0,3 п.л./0,1 п.л.).

8. Носко А., Сафронов Е. Преимущества использования типовых паллетных интралогистических решений при проектировании и эксплуатации складов // Логистика. 2016. № 5. С. 16-21. (0,32 п.л./0,16 п.л.).

9. Сафронов Е.В., Носко А.Л. Разработка испытательного оборудования для исследования работоспособности тормозных роликов гравитационных конвейеров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 4-2. 2017. С. 151-159. (0,4 п.л./0,3 п.л.).

10. Стенд для ресурсных испытаний тормозных роликов гравитационных конвейеров / Сафронов Е.В. и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 4-2. 2018. С. 161-167. (0,54 п.л./0,15 п.л.).

11. Сафронов Е.В., Носко А.Л. Выбор передаточного отношения мультипликатора фрикционного тормозного ролика // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 5. 2018. С.81-87. (0,44 п.л./0,3 п.л.).

12. Сафронов Е.В., Носко А.Л. Оценка неустойчивости коэффициента трения вальцованных ФПМ при низких давлениях // Трибология – Машиностроению: Труды XII Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН. Ижевск. Ижевский институт компьютерных исследований. 2018. С. 459-461. (0,1 п.л./0,05 п.л.).

13. Пат. 165148 Российская Федерация, МПК В65G39/09. Ролик конвейера / Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А., Козлов К.Г.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Инженерно-технический центр «КРОС» – № 2016108128/11; заявл. 09.03.2016; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28-2016.

14. Пат. 170875 Российская Федерация, МПК В65G 13/075. Ролик тормозной для роликовых гравитационных конвейеров / Носко А.Л., Сафронов Е.В.; заявитель и патентообладатель МГТУ им. Н.Э. Баумана – № 2017105276/11; заявл. 17.02.2017; опубл. 12.05.2017. Бюл. 14-2017.

15. Пат. 171513 Российская Федерация, МПК G01M 13/00. Устройство для имитации нагрузки в стенде для испытаний тормозных роликов центробежного типа гравитационных конвейеров и стеллажей / Носко А.Л., Сафронов Е.В.; заявитель и патентообладатель МГТУ им. Н.Э. Баумана - № 2016146752, заявл. 29.11.2016; опубл. 02.06.2017. Бюл. № 16-2017.

16. Пат. 171994 Российская Федерация, МПК В65G 1/08, В65G 47/88. Устройство для остановки и разделения паллет / Носко А.Л., Сафронов Е.В., Шарифуллин И. А.; заявитель и патентообладатель МГТУ им. Н.Э. Баумана - № 2017110891, заявл. 31.03.2017; опубл. 23.06.2017. Бюл. № 18-2017.