

На правах рукописи

УДК 621.867.61

Шарифуллин Ильдар Азатович

**МЕТОД РАСЧЕТА И ВЫБОРА ТОРМОЗНЫХ РОЛИКОВ  
МАГНИТНОГО ТИПА ДЛЯ ПАЛЛЕТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ  
СТЕЛЛАЖЕЙ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» на кафедре подъемно-транспортных систем.

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

Официальные оппоненты: **Анцев Виталий Юрьевич**  
доктор технических наук, профессор.  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», заведующий кафедрой подъемно-транспортных машин и оборудования.

**Лускань Олег Александрович**  
доктор технических наук, доцент.  
Вольский военный институт материального обеспечения – филиал ФГКВБОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева», профессор кафедры экономики, менеджмента и права.

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».

Защита состоится « 01 » июля 2022 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, к. 1.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, к. 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 «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н.

 Б.Б. Косицын

## 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, является создание системы современных логистических парков, как основы формирования единого транспортного пространства страны.

Логистические парки представляют собой комплекс складов со стеллажами паллетного (поддон с грузом) хранения. Одним из решений, обеспечивающих максимальную плотность хранения (экономия складской площади до 60%), высокую производительность отгрузки (до 90 паллет/час), сокращение обслуживающего персонала и быструю окупаемость затрат, является использование гравитационных стеллажей, состоящих из стеллажной конструкции и паллетных гравитационных роликовых конвейеров (ГРК).

Как показывает опыт эксплуатации основными источниками повышенной опасности гравитационного стеллажа являются высокая скорость движения паллет по ГРК и давление на первую паллету со стороны следующих за ней при выгрузке с конвейера. Для обеспечения безопасной и эффективной работы ГРК используются два основных элемента – тормозной ролик (ТР) и устройство остановки и разделения паллет (УОРП), которые необходимо рассматривать как взаимосвязанную функциональную систему безаварийной работы гравитационного стеллажа.

Широкое распространение для ограничения скорости движения паллет на ГРК и снижения ударных нагрузок на УОРП получили зарубежные ТР фрикционного типа. Вместе с тем, как показывает практика, одним из наиболее перспективных ТР, применяемых в зарубежных паллетных ГРК, являются ТР магнитного типа (МР), основными преимуществами которых являются: бесконтактное (не фрикционное) торможение, что позволяет получить стабильность тормозных характеристик ролика в процессе эксплуатации; отсутствие необходимости постоянного технического обслуживания (регулировок), а также продуктов износа – тормозной пыли, которая при попадании в атмосферу оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека.

Однако, анализ литературы указывает на отсутствие технической информации о МР. Это не позволяет оценить безопасность и эффективность работы паллетных ГРК и требует проведения теоретических и экспериментальных исследований включающих: разработку метода расчета и выбора МР, создание опытных отечественных образцов МР, их экспериментальные испытания.

Поэтому разработка метода расчета и выбора МР для обеспечения безопасности и эффективности работы паллетных ГРК является актуальной научной задачей подъемно-транспортного машиностроения.

**Цель и задачи.** Целью исследования является обеспечение безопасности и эффективности работы паллетных ГРК путем разработки метода расчета и выбора МР.

Для достижения цели работы поставлены и решены следующие задачи:

- проведен анализ зарубежных конструкций МР, обоснована целесообразность разработки отечественных дисковых (ДМР) и центробежных (ЦМР) МР паллетных ГРК;

- разработаны математические модели (ММ) процесса движения паллеты по ДМР и ЦМР;

- создан узел вихретокового торможения и проведены экспериментальные

исследования по определению коэффициента магнитной вязкости  $\beta$  для ДМР и ЦМР;

- создан стенд и проведены экспериментальные исследования опытных отечественных образцов МР паллетных ГРК;
- проведен сравнительный анализ работы ДМР и ЦМР паллетных ГРК;
- разработаны методики расчета ДМР и ЦМР для паллетных ГРК.

**Научная новизна:**

1. Разработаны ММ движения паллеты по ДМР и ЦМР с учетом их конструктивных параметров (диаметра ролика, передаточного отношения мультипликатора), уклона ГРК, массы паллеты и коэффициента магнитной вязкости. Получены расчетные зависимости: скорости движения паллеты по МР; диапазона значений передаточного отношения мультипликатора в зависимости от коэффициента магнитной вязкости, допустимой скорости движения паллеты на ГРК, массы паллеты и предельной угловой скорости проводящего тела (эффективности вихретокового тормоза).

2. Разработана ММ движения паллеты по ГРК с учетом сопротивления, вызванного неровностью роликового полотна. Получена расчетная зависимость минимальной скорости движения паллеты для преодоления сопротивления неровности роликового полотна, вызванного перепадом высот между опорными (несущими и тормозными) роликами.

3. Получены для ДМР и ЦМР экспериментальные зависимости коэффициента магнитной вязкости от количества магнитов и их расположения относительно проводящего тела, величины воздушного зазора между магнитом и проводящим телом, частоты вращения проводящего тела, радиуса вращения и краевого эффекта.

**Практическая значимость работы** заключается в:

- разработке методик расчета ДМР и ЦМР паллетных ГРК;
- создании узла вихретокового торможения для экспериментальных исследований коэффициента магнитной вязкости для ДМР и ЦМР в зависимости от воздушного зазора между постоянными магнитами и проводящим телом, частоты вращения проводящего тела, радиуса вращения и краевого эффекта;
- создании опытного отечественного образца ДМР;
- разработке методики испытаний ДМР и ЦМР;
- создании стенда для экспериментальных исследований различных типов ТР;
- разработке отечественной конструкции ЦМР, на которую получен патент №198420 на полезную модель;
- разработке отечественной конструкции УОРП, на которую получен патент №171994 на полезную модель.

**Методология исследования** заключалась в теоретических и экспериментальных исследованиях с использованием методов геометрического моделирования, теории магнитного поля, сопротивления материалов, теоретической механики, теории вероятностей и математической статистики.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и результатов подтверждается применением апробированных законов механики, математики, теории механизмов и машин, электродинамики, сопоставлением результатов расчетных и экспериментальных исследований (погрешность не превышает 8%).

**Реализация результатов работы.** Результаты работы внедрены на отраслевом предприятии 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 XI Международной конференции «Научные тенденции: вопросы точных и технических наук». Санкт-Петербург, 2017; на Международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем», Севастопольский государственный университет. Севастополь, 2018-2021; на XXII-XXIV Московской международной межвузовской научно-технической конференции «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы». Москва, 2018-2021; на XII Европейской конференции по трибологии (7-th European Conference on Tribology), Белостокский технический университет. Белосток, 2019; на Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники», Брянский государственный технический университет. Брянск, 2020; на Международной научно-технической конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» (ICMTMTE 2021), Севастопольский государственный университет. Севастополь, 2021; на заседаниях кафедры подъемно-транспортных систем МГТУ им. Н. Э. Баумана. Москва, 2018-2022.

**Личный вклад автора** состоит в постановке цели и задач исследования; анализе зарубежных конструкций МР; разработке математических моделей движения паллеты по ДМР и ЦМР; разработке отечественных конструкций МР; личном участии в апробации результатов; выполнении теоретических и экспериментальных исследований; получении основных результатов и выводов по работе.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Метод расчета и выбора ДМР и ЦМР, включающий методики расчета, экспериментальные исследования, математические модели движения паллеты по МР паллетных ГРК.

2. Экспериментальные зависимости коэффициента магнитной вязкости от конструктивных параметров ДМР и ЦМР, воздушного зазора между постоянными магнитами и проводящим телом, частоты вращения проводящего тела, радиуса вращения и краевого эффекта.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в числе которых 1 монография, 7 статей в журналах из перечня ВАК РФ, 2 статьи в журналах, индексируемых в Scopus, получено 2 патента на полезную модель. Общий объем публикаций 5,14 п.л.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков, 21 таблицу, список литературы из 106 наименований.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **Введении** обоснована актуальность темы и приведено краткое содержание выполненных исследований, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** проведен анализ конструкций ТР паллетных ГРК, обоснована целесообразность разработки нерегулируемых дисковых и центробежных МР осевого действия с постоянными магнитами. Сформулированы цель и задачи работы.

Анализ литературы в области складской интралогистики показал, что

гравитационные стеллажи, состоящие из стеллажной конструкции и паллетных ГРК, являются одним из наиболее востребованных в РФ и за рубежом видом современного складского оборудования, обеспечивающим максимальную плотность хранения, высокую производительность отгрузки, сокращение обслуживающего персонала и быструю окупаемостью затрат. При этом, для обеспечения безопасной и эффективной работы ГРК в настоящее время используются ТР, предназначенные для ограничения скорости движения паллет на ГРК и снижения ударных нагрузок на УОРП. Одной из конструкций ТР, наиболее широко применяемой в настоящее время за рубежом, является центробежные фрикционные ролики (ЦФР).

Однако ЦФР имеет ряд недостатков, среди которых основными являются: износ фрикционной накладки тормоза, и как следствие, нестабильность тормозных характеристик ролика в процессе эксплуатации и необходимость постоянного технического обслуживания (регулировок); попадание в атмосферу продуктов износа – тормозной пыли, которая оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека.

На основании проведенного анализа работ в области в паллетных ГРК обосновано, что наиболее перспективными ТР являются ролики магнитного типа (МР), основные преимущества которых – бесконтактное (не фрикционное) торможение и стабильность тормозных характеристик в процессе эксплуатации.

Вместе с тем, как показывает опыт эксплуатации, на отечественном рынке складского гравитационного стеллажного оборудования для паллет МР не нашли широкого применения ввиду высокой стоимости зарубежных конструкций МР, а также отсутствия отечественных конструкций и производителей таких роликов. Кроме того, отсутствие технической информации о МР не позволяет оценить безопасность и эффективность работы паллетных ГРК и требует разработки математических моделей, методик расчета и испытаний МР, создания опытных отечественных образцов МР, проведения их экспериментальных испытаний.

Анализ исследований конструкций вихретоковых устройств торможения показал, что применительно к МР паллетных ГРК наиболее перспективными для практического применения являются нерегулируемые дисковые (ДМР) и центробежные (ЦМР) МР осевого действия с постоянными магнитами. На основании проведенного анализа зарубежных конструкций МР разработана их классификация.

Обосновано, что при разработке математических моделей, методик расчета отечественных конструкций ДМР и ЦМР наиболее целесообразным является применение результатов работ Озолина А.Ю., Ободовского Ю.В. (Россия), E.Simeu, D.Georges (Франция); T. Hollowell, J. Kahl (Англия); Wang Yizhou (Китай); Andrew H. C. Gosline, V. Hayward (Канада); P. Kachroo, M. Thomson (США), в которых рассматривается совместное решение электродинамической и механической (уравнений Лагранжа-Максвелла) задач, где вихретоковый тормоз представлен как элемент линейного вязкого трения и вводится коэффициент магнитной вязкости  $\beta$ , составляющие которого можно получить экспериментально.

Поэтому для решения актуальной научной задачи подъемно-транспортного машиностроения - разработки метода расчета и выбора МР для обеспечения безопасности и эффективности работы паллетных ГРК были сформулированы цель и задачи работы.

В **Главе 2** разработана ММ движения паллеты по ДМР, определен диапазон

необходимых значений передаточного отношения мультипликатора, создан узел вихретокового торможения, проведены экспериментальные исследования коэффициента магнитной вязкости МР паллетных ГРК.

Разработана ММ движения паллеты по ДМР ГРК, расчетная схема которого представлена на Рис.1. Отличительной особенностью предлагаемой ММ является отсутствие необходимости учета направления вращения тормозной вставки 3, запрессованной внутрь обечайки 2 ДМР, и жестко связанной посредством переходника с постоянными магнитами 6, и ступицы 1 с проводящим телом в виде диска 5. Применение планетарного мультипликатора в конструкции тормозной вставки 3 обеспечивает вращение обечайки 2 ролика и ступицы 1 в противоположных направлениях относительно оси 4. Это приводит к тому, что в отличие от центробежных тормозов грузоподъемных машин, тормозной момент создается как на обечайке 2 ДМР, так и на ступице 1 вихретокового тормоза.

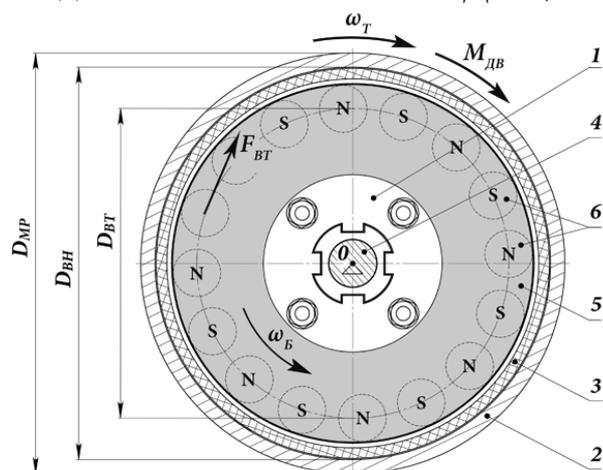


Рис. 1. Расчетная схема ДМР:

$D_{MP}$  – диаметр ДМР;  $D_{ВН}$  – внутренний диаметр обечайки ДМР;  $D_{ВТ}/2$  – расстояние от оси вращения ДМР (т.О) до центра постоянных магнитов;  $\omega_T$  – угловая скорость обечайки ДМР;  $\omega_Б$  – угловая скорость ступицы вихретокового тормоза;  $M_{ДВ}$  – движущий момент, действующий на обечайку ДМР;  $F_{ВТ}$  – сила торможения вихретокового тормоза

При разработке ММ движения паллеты по ДМР ГРК приняты следующие допущения: скольжение паллеты по роликам отсутствует ввиду равенства их скоростей; силы инерции несущих роликов и паллеты не учитываются ввиду равномерного движения паллеты.

Подтверждено предположение о поведении вихретокового тормоза как элемента линейного вязкого трения, в котором сила торможения  $F_{ВТ}$  линейно зависит от угловой скорости проводящего тела.

Получена расчетная зависимость скорости  $V$  движения паллеты по ДМР в зависимости от конструктивных параметров ДМР (диаметра ролика  $D_{MP}$ , передаточного отношения мультипликатора  $u$ ), угла наклона ГРК  $\alpha$ , массы  $M$  паллеты, коэффициента магнитной вязкости  $\beta$ :

$$V = \frac{D_{MP}^2 \cdot g \cdot (\tan \alpha - w)}{D_{BT}^2 \cdot \beta_n \cdot n_M \cdot (1 + u \cdot \eta_{MP}) (1 + u)} M \quad (\text{для одностороннего ДМР}), \quad (1)$$

$$V = \frac{D_{MP}^2 \cdot g \cdot (\tan \alpha - w)}{D_{BT}^2 \cdot \beta_N \cdot N_M \cdot (1 + u \cdot \eta_{MP}) (1 + u)} M \quad (\text{для двустороннего ДМР}), \quad (2)$$

где  $V$  – скорость движения паллеты по ДМР;  $w$  – приведенный коэффициент сопротивления передвижению паллеты по роликовому полотну ГРК;  $\eta_{MP}$  – КПД МР;  $\beta_n$  – коэффициент магнитной вязкости одного постоянного магнита;  $\beta_N$  – коэффициент магнитной вязкости одной пары постоянных магнитов;  $n_M$  – количество постоянных магнитов при их одностороннем расположении по отношению к проводящему телу;  $N_M$  – количество пар постоянных магнитов при их двустороннем расположении по отношению к проводящему телу.

Анализ расчетных зависимостей (1) и (2) показал, что основными параметрами, определяющими тормозные свойства ДМР являются коэффициент магнитной вязкости  $\beta$  и передаточное отношение мультипликатора  $u$ .

На базе трибометра NANOVEA T50 (Рис. 2,а) проведены экспериментальные исследования коэффициента магнитной вязкости  $\beta$  в режимах эксплуатации ДМР паллетных ГРК. Впервые создан узел вихретокового торможения (Рис. 2,б), разработана методика испытаний для определения зависимостей коэффициента магнитной вязкости  $\beta$  МР паллетных ГРК от воздушного зазора между постоянными магнитами и проводящим телом (от 1 до 4 мм), частоты вращения проводящего тела (от 120 до 1200 об/мин), радиуса вращения (от 25 до 35 мм) и краевого эффекта.

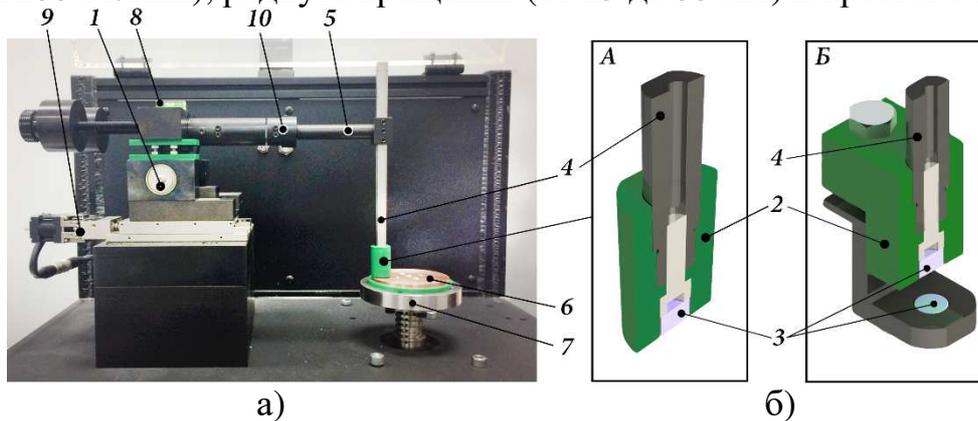


Рис. 2. Общий вид трибометра NANOVEA T50 (а) и узла вихретокового торможения (б) для экспериментального исследования коэффициента магнитной вязкости: 1 – подвижная опора; 2 – крепежный переходник; 3 – постоянные магниты; 4 – штанга вертикальная; 5 – рычаг; 6 – проводящее тело; 7 – вращающееся основание; 8 – пузырьковый уровень; 9 – электропривод радиального перемещения; 10 – пьезодатчик тангенциальной силы; А – переходник с одним постоянным магнитом  $n_M = 1$ ; Б – переходник с парой постоянных магнитов  $N_M = 1$

В результате проведенных испытаний и анализа полученных результатов установлено, что зависимость изменения  $\beta$  от воздушного зазора между проводящим телом и магнитами носит экспоненциальный характер и не зависит от изменения расстояния между их центрами. При этом коэффициент  $\beta$ : в 2,5-3 раза больше при двустороннем расположении магнитов, чем при одностороннем; уменьшается с увеличением воздушного зазора; уменьшается на 10...25% при увеличении частоты вращения проводящего тела выше  $480 \text{ мин}^{-1}$ ; крайовой эффект отсутствует при  $D_{\text{ВТ}}/2 < 35 \text{ мм}$ .

Получены выражения для определения максимального  $u_{\text{max}}$  и минимального  $u_{\text{min}}$  значений передаточного отношения мультипликатора ДМР в зависимости от коэффициента магнитной вязкости  $\beta$ , допустимой скорости движения паллеты на ГРК  $[V]$ , массы паллеты, предельной угловой скорости  $\omega_{\text{эф}}$  эффективности вихретокового тормоза:

$$u_{\text{max}} = \frac{D_{\text{МР}} \cdot M \cdot g \cdot (\tan \alpha - w) \cdot \mu \cdot \sigma \cdot d}{2 \cdot \beta \cdot D_{\text{ВТ}} \cdot \eta_{\text{МР}}} - \frac{1}{\eta_{\text{МР}}}, \quad (3)$$

$$C_2 \cdot u_{\text{min}}^2 + C_1 \cdot u_{\text{min}} + C_0 = 0, \text{ где } \begin{cases} C_0 = [V] \cdot D_{\text{ВТ}}^2 \cdot \beta - D_{\text{МР}}^2 \cdot g \cdot (\tan \alpha - w) \cdot M; \\ C_1 = [V] \cdot D_{\text{ВТ}}^2 \cdot \beta \cdot (1 + \eta_{\text{МР}}); \\ C_2 = [V] \cdot D_{\text{ВТ}}^2 \cdot \beta \cdot \eta_{\text{МР}}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $d$  – толщина проводящего тела (диска);  $\mu$  – магнитная проницаемость материала проводящего тела;  $\sigma$  – удельная проводимость материала проводящего тела.

Исходя из минимального и максимального значений  $\beta$  (0,113 и 0,583 Н·с/м), масс паллет (от 100 кг до 1300 кг),  $[V]=0,214$  м/с,  $\omega_{эф}=178$  с<sup>-1</sup>, из уравнений (3) и (4) определен диапазон необходимых значений передаточного отношения  $u$  мультипликатора ДМР:  $18 \leq u \leq 31$ . Под передаточным отношением  $u$  мультипликатора ДМР понимается отношение частоты вращения проводящего тела вихретокового тормоза (быстроходная ступень) к частоте вращения обечайки ролика (тихоходная ступень).

Для разработанной отечественной конструкции ДМР выбран двухступенчатый мультипликатор с передаточным отношением  $u = 24$ .

Разработанная ММ движения паллеты положена в основу методики расчета ДМР ГРК. С целью верификации ММ проведен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных результатов исследований ДМР.

В **Главе 3** разработаны стенд для экспериментальных исследований различных типов ТР в режимах эксплуатации ГРК, методика проведения эксперимента, представлены результаты сравнительного анализа расчетных и экспериментальных результатов.

Для проведения экспериментальных исследований ТР различных типов на кафедре подъемно-транспортных систем МГТУ им. Н.Э Баумана при участии автора создан стенд (Рис. 3), который состоит из трех основных частей – механической, электрической и измерительной, и работает в автоматическом режиме.

Измерительная система построена на аппаратной платформе Arduino, включает электромеханические реле, датчик Холла и дальномер HCSR04, и обеспечивает оперативный сбор, обработку и отображение информации (на экране ПК).

В качестве объекта исследования был выбран опытный отечественный образец ДМР (Рис. 4).

ДМР относится к скоростным тормозам (ограничителям скорости) магнитного типа, назначение которых не допускать увеличение скорости паллеты сверх заданного предела.

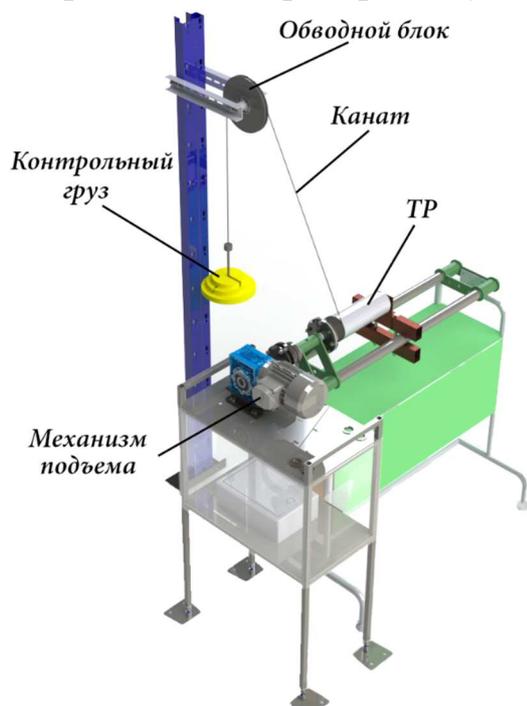


Рис. 3. Общий вид стенда для экспериментальных исследований ТР различных типов в режимах эксплуатации паллетных ГРК

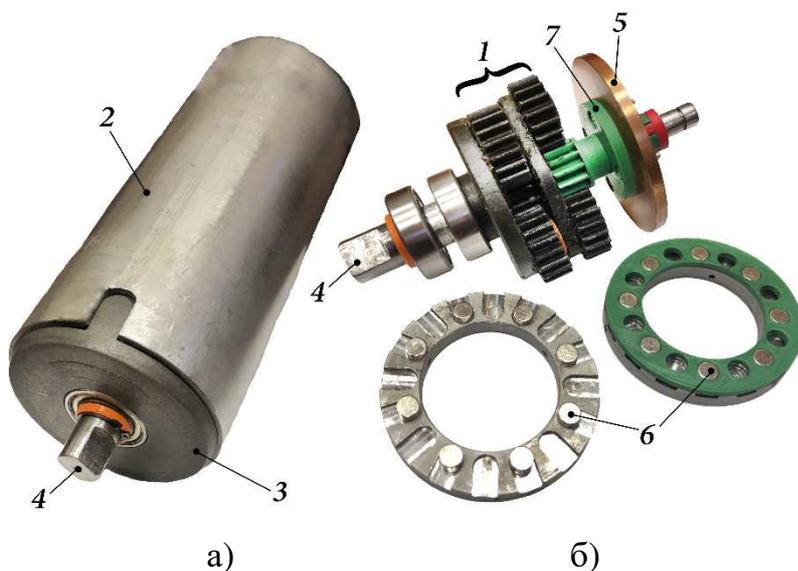
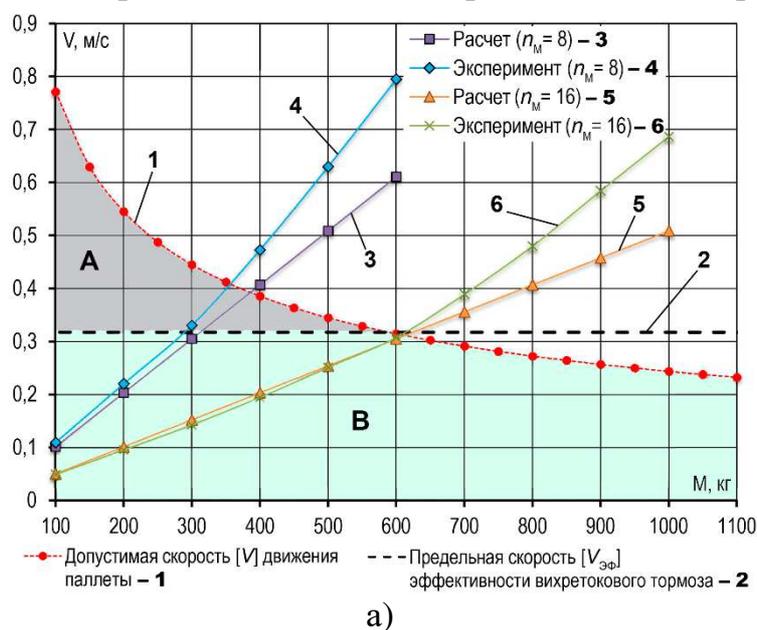


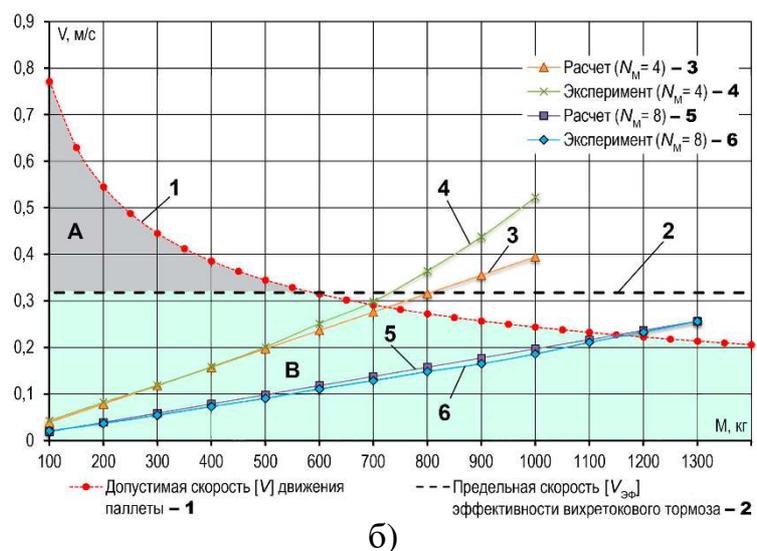
Рис. 4. Общий вид опытного отечественного образца ДМР (а) и узла тормозной вставки ДМР (б)

Процесс ограничения скорости паллеты вихретоковым тормозом (Рис. 4) начинается при действии на обечайку 2 ДМР крутящего момента, создаваемого паллетой при ее наезде на ролик, который через корпус 3 тормозной вставки передается на планетарный мультипликатор 1 и ступицу 7. Ступица 7 соединена с диском 5 (проводящим телом) и приводит его во вращение относительно оси 4 в магнитном поле, создаваемым постоянными магнитами 6, расположенными с чередующейся полярностью и жестко связанными с корпусом 3 тормозной вставки. При этом происходит снижение скорости вращения обечайки ролика, а, следовательно, и скорости паллеты. Тормозная система ДМР переходит в режим постоянного подтормаживания, а паллета переходит в режим движения с постоянной скоростью, не превышающей предельную. ДМР имеет два конструктивных исполнения: с односторонним и двусторонним расположением магнитов 6 относительно диска 5.

Разработана методика проведения эксперимента. При проведении испытаний



масса контрольного груза (Рис.3) выбиралась с помощью коэффициента имитации стенда в соответствии с массой паллеты (100...1300 кг), уклоном роликового полотна ГРК 4% (уклон ГРК в % равен  $\tan \alpha \cdot 100$ ) и приведенным коэффициентом сопротивления передвижению паллеты по роликовому полотну ГРК  $w=0,02$ . Экспериментальные исследования проводились для одностороннего ДМР с количеством постоянных магнитов  $n_M=8$  и 16; двустороннего ДМР с количеством пар постоянных магнитов  $N_M=4$  и 8. Общее количество проведенных испытаний – более 1500. На основании полученных результатов измерений проводился расчет (в программе Microsoft Excel) и строился график скорости установившегося движения паллеты в зависимости от ее массы.



С целью верификации ММ движения паллеты по ДМР ГРК проведен сравнительный анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований ДМР (Рис. 5).

Рис. 5. Результаты расчетных и экспериментальных исследований скорости  $V$  движения паллеты по ДМР:

а – одностороннему; б – двустороннему

Анализ полученных результатов показал:

- в области А для диапазона масс паллет от 100 до 600 кг скорость  $V$  движения паллеты не превышает допустимую скорость  $[V]$ , но выше предельной скорости  $[V_{эф}]$  эффективности вихретокового тормоза. Погрешность расчетных и экспериментальных результатов (Рис.5,а) составляет 12-25%, что обусловлено допущениями ММ;

- для области В, в которой обеспечивается поддержание скорости паллет в пределах, не превышающих допустимых скоростей  $[V]$  и находящихся ниже предельной скорости  $[V_{эф}]$  эффективности вихретокового тормоза диапазон масс паллет составляет от 100 кг до 1150 кг (Рис.5,б), погрешность не превышает 8%.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований положены в основу метода выбора ДМР паллетных ГРК.

В **Главе 4** разработана ММ движения паллеты по ГРК с учетом сопротивлений от неровности роликового полотна, определена минимальная скорость  $V_{min}$  движения паллеты по ГРК, разработан метод расчета и выбора ДМР с учетом допустимой  $[V]$  и минимальной  $V_{min}$  скоростей движения паллеты.

Предложен метод выбора ДМР, включающий два способа – табличный и графический. Основу метода составляет разработанная ММ движения паллеты по ГРК с учетом сопротивлений от неровности роликового полотна, а также тормозного усилия ДМР, действующего на паллету при любой скорости её движения, и оказывающих существенное влияние на выбор параметров ДМР и ГРК.

Рассматривается два этапа движения паллеты: 1-й этап (Рис. 6,А) – движение паллеты по роликовому полотну и ее наезд на искусственную неровность  $\Delta h$  от установки ДМР; 2-й этап (Рис.6,Б) – движение паллеты по ДМР и ее наезд на технологическую неровность  $\Delta b$  роликового полотна.

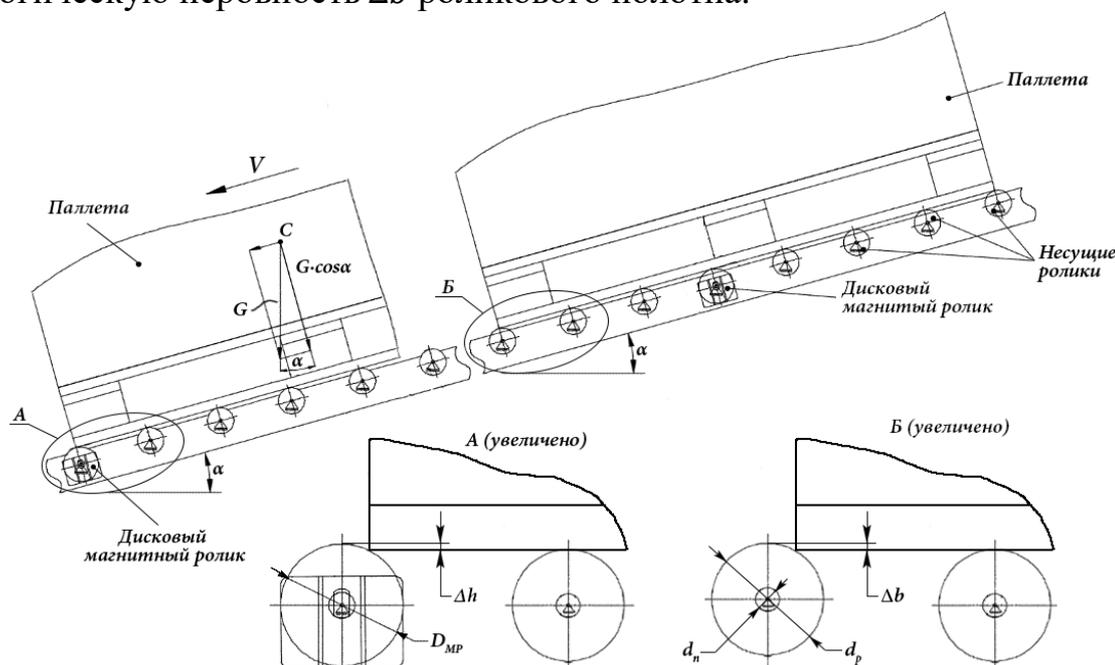


Рис. 6. Расчетная схема ГРК при наезде паллеты на: А –  $\Delta h$ ; Б –  $\Delta b$

Приведены расчетные зависимости соотношения суммы сопротивлений  $\sum W = W_1 + W_2$  передвижению паллеты на ГРК и тормозной силы  $F_T$  ДМР с одной стороны, движущей силы  $F_{ДВ}$ , действующей на паллету, вызванной силой тяжести паллеты  $G$  и уклоном ГРК с другой стороны, а также  $W_3$  – сопротивление движению паллеты от технологической неровности роликового полотна, вызванного перепадом высот  $\Delta b$  между соседними несущими роликами:

$$W_1 = (G + G_0 i) \cdot f_0 \frac{d_n}{d_p}, \quad W_2 = G \frac{2 \cdot K_T}{d_p} \cos \alpha, \quad W_3 = \frac{2 \cdot G}{i} \sqrt{\frac{\Delta b}{d_p}} \cdot \cos \alpha,$$

$$F_T = \beta_N \cdot N_M \cdot V \cdot \frac{D_{BT}^2}{D_{MP}^2} (1 + u)(1 + u \cdot \eta_{MP}), \quad F_{ДВ} = G \cdot \tan \alpha,$$

где  $W_1, W_2$  – силы сопротивления от трения скольжения в опорах несущих роликов и качения паллеты по несущим роликам ГРК, соответственно;  $G_0$  – вес вращающихся частей одного несущего ролика;  $i$  – число опорных роликов на которых в данный момент находится паллета, включая несущие и тормозные ролики;  $f_0$  – коэффициент трения скольжения в опорах несущего ролика в движении;  $d_n$  – диаметр оси несущего ролика;  $d_p$  – диаметр обечайки несущего ролика;  $K_T$  – коэффициент трения качения дерева по стали.

Получена расчетная зависимость минимальной скорости  $V_{\min}$  движения паллеты для преодоления искусственной неровности  $\Delta h$ , вызванной установкой ДМР выше уровня несущих роликов ГРК:  $V_{\min} = \sqrt{\Delta h \cdot g \cdot \cos \alpha}$ .

Определена минимальная скорость  $V_{\min}$  паллеты при наезде на искусственную неровность  $\Delta h$  от установки ДМР и движении без остановки в канале ГРК, обеспечивающая безопасность работы паллетных ГРК. При установке ДМР на максимальное значение величины  $\Delta h = 2$  мм и  $\cos \alpha \cong 1$  (с учетом малости угла наклона ГРК), расчетная минимальная скорость паллеты составляет  $V_{\min} = 0,14$  м/с.

Расчетами установлено, что для ДМР с количеством пар магнитов  $N_M = 4$  при уклоне ГРК 4%:

- сопротивление от неровности роликового полотна уменьшает в 1,7 - 2,4 раза рабочий диапазон масс паллет в пределах между минимальной  $V_{\min}$  и допустимой  $[V]$  скоростями движения паллеты на ГРК;
- уменьшение в 2 раза искусственной неровности  $\Delta h$  и технологической неровности  $\Delta b$  расширяет рабочий диапазон масс паллет на 27%.

Разработанная ММ движения паллеты по ГРК с учетом сопротивлений от неровности роликового полотна, положена в основу метода выбора ДМР ГРК, позволяющего табличным (предварительный) и графическим (уточненный) способами обеспечивать безопасную и эффективную работу ГРК в рабочем диапазоне масс и скоростей паллет.

Табличный (предварительный) способ выбора ДМР предполагает определение рабочего диапазона масс  $M$  паллет и областей значений скоростей  $V$  паллет в пределах между минимальной  $V_{\min}$  и допустимой  $[V]$  скоростями движения паллеты на ГРК, а также проверку выполнения условий движения паллеты без остановок и не превышения допустимых  $[V]$  скоростей. Графический способ позволяет более точно определить рабочий диапазон масс паллет при известной конструкции ДМР и уклоне ГРК и подобрать конструкцию ДМР и уклон ГРК для паллеты соответствующей массы (описание представлено в Главе 5).

Применение метода показало, что для ДМР при уклоне ГРК 4% с количеством магнитов 8, 16, 24 рабочий диапазон масс паллет составляет 365...1160 кг, а для паллет массой от 100 кг до 365 кг рекомендовано увеличение уклона ГРК, например, до 8%.

С целью повышения эффективности работы ГРК в широком диапазоне масс паллет разработана конструкция ЦМР, в которой тормозной момент начинает действовать на паллету при достижении ею минимальной  $V_{\min}$  скорости.

В **Главе 5** разработаны: конструкция отечественного образца ЦМР (получен патент №198420 на полезную модель); ММ движения паллеты по ЦМР; метод расчета и выбора ЦМР; практические рекомендации по применимости ДМР и ЦМР.

На кафедре подъемно-транспортных систем МГТУ им. Н.Э Баумана при участии автора разработана конструкция ЦМР, в которой проводящее тело центробежного вихретокового тормоза выполнено в виде рычагов, а тормозной момент начинает действовать на паллету только при достижении ею минимальной скорости  $V_{\min}$  движения. Тормозная вставка (Рис.7,а) устанавливается (запрессовывается) в обечайку ЦМР с возможностью передачи крутящего момента, состоит из планетарного мультипликатора 1 и центробежного вихретокового тормоза 2, размещаемых на неподвижной оси 5 с подшипниковым фланцем 3 корпуса 4 тормозной вставки.

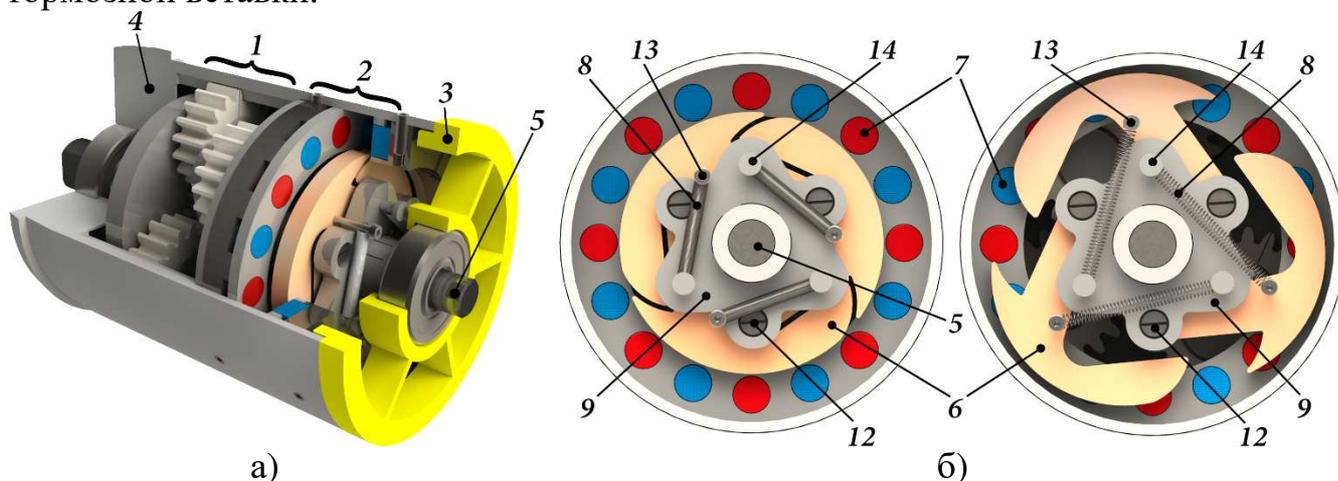


Рис. 7. Общий вид тормозной вставки ЦМР (а) (обечайка не показана); центробежный вихретоковый тормоз (б): слева - рычаги сомкнуты (закрыты); справа – рычаги разомкнуты (раскрыты)

На выходной шестерне мультипликатора 1, имеющей возможность вращения относительно неподвижной оси 5, размещается ступица 9 (Рис.7,б) центробежного вихретокового тормоза 2, в отверстиях которой установлены оси 12 проводящего тела, выполненного в виде рычагов 6. В рычагах 6 имеются резьбовые отверстия, в которые вкручиваются винты 13, связанные с пальцами 14 ступицы 9 пружинами 8.

Процессы, происходящие в ЦМР при движении по нему паллеты, можно разделить на два этапа (Рис.7,б): процесс разгона, при котором рычаги 6 расходятся в радиальном направлении до их полного раскрытия в магнитном поле; процесс установившегося движения, при котором рычаги 6 полностью раскрыты, создается тормозной момент, равный движущему моменту, и паллета переходит в режим движения с постоянной скоростью.

Проведены на базе трибометра NANOVEA T50 (Рис.2,а) экспериментальные исследования коэффициента магнитной вязкости  $\beta$  в режимах эксплуатации ЦМР паллетных ГРК (Рис. 8).

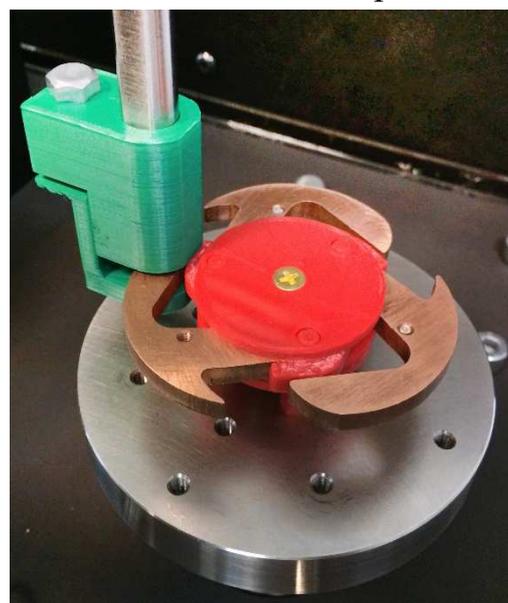


Рис. 8. Экспериментальный образец проводящего тела ЦФР (медные рычаги) в полностью раскрытом положении

Форма и размеры проводящего тела были подобраны применительно к конструкции ЦМР в виде рычагов толщиной  $S = 5$  мм, которые в полностью раскрытом положении представляют собой диск диаметром 75 мм.

При разработке ММ движения паллеты по ЦМР ГРК приняты следующие допущения: изменением тормозного момента в процессе разгона до полного раскрытия рычагов можно пренебречь ввиду его кратковременности; началом действия тормозного момента считать достижение паллетой ее минимальной скорости  $V_{\min}$  движения (Глава 4), при которой рычаги полностью раскрыты.

Получены расчетные зависимости скорости  $V$  движения паллеты по одностороннему (5) и двустороннему (6) ЦМР в зависимости от конструктивных параметров ЦМР (диаметра ролика  $D_{\text{МР}}$ , передаточного отношения мультипликатора  $u$ ), угла наклона ГРК  $\alpha$ , искусственной неровности  $\Delta h$  роликового полотна, вызванной установкой ЦМР, массы  $M$  паллеты, коэффициента магнитной вязкости  $\beta$ :

$$V = \sqrt{\Delta h \cdot g} + \frac{D_{\text{МР}}^2 \cdot g \cdot (\tan \alpha - w)}{D_{\text{БТ}}^2 \cdot \beta_n \cdot n_M \cdot (1 + u \cdot \eta_{\text{МР}})(1 + u)} M \quad (\text{для одностороннего ЦМР}), \quad (5)$$

$$V = \sqrt{\Delta h \cdot g} + \frac{D_{\text{МР}}^2 \cdot g \cdot (\tan \alpha - w)}{D_{\text{БТ}}^2 \cdot \beta_N \cdot N_M \cdot (1 + u \cdot \eta_{\text{МР}})(1 + u)} M \quad (\text{для двустороннего ЦМР}). \quad (6)$$

По результатам расчетов установлено, что скорость  $V$  движения паллеты по ЦМР представляет собой практически линейную зависимость, а максимальный тормозной момент, действующий на паллету со стороны ЦМР, возникает при достижении паллетой минимальной скорости  $V_{\min}$  движения.

Разработанная ММ движения паллеты с учетом сопротивлений от неровности роликового полотна, положена в основу метода выбора ЦМР ГРК, который позволяет табличным (предварительный) и графическим (уточненный) способами обеспечивать безопасную и эффективную работу ГРК в рабочем диапазоне масс  $M$  и скоростей  $V$  паллет в пределах между минимальной  $V_{\min}$  и допустимой  $[V]$  скоростями движения паллеты.

Алгоритм применения графического способа метода выбора ЦМР для движения паллеты массой  $M = 800$  кг по ГРК с уклоном 4% представлен на Рис. 9.

На Рис. 9 представлен четырехосный график, в 1-ом секторе которого изображена кривая допустимой скорости  $[V]$  движения паллеты, во 2-ом секторе – зависимости тормозной силы  $F_T$  ЦМР от скорости движения паллеты по ЦМР с количеством пар магнитов  $N_M = 8; 16; 32$ , в 3-ем секторе – разность между движущей силой  $F_{\text{ДВ}}$  (при уклоне ГРК 3%; 4%; 5%; 6%; 8%) и суммой сопротивлений  $W_1$  и  $W_2$  в зависимости от массы паллеты  $M$ .

Моментом начала действия тормозного усилия  $F_T$  является скорость паллеты  $V_{\min} = 0,14$  м/с (пунктирная прямая линия на графике в 1-ом и 2-ом секторах), при которой рычаги ЦМР полностью раскрыты. Эта линия не пересекает в секторе 2 прямые  $F_T(V)$ , т.к. на всем диапазоне масс паллет их скорости движения по ЦМР больше  $V_{\min}$ .

Установим в секторе 4 графика точку А, соответствующую массе паллеты  $M = 800$  кг, и проведем из нее вертикальную линию до пересечения с кривой допустимой скорости  $[V]$  движения паллеты (сектор 1 точка С) и горизонтальную линию до пересечения с прямой  $F_{\text{ДВ}}(4\%) - (W_1 + W_2)$  (сектор 3 точка В). Далее из точек В и С проводятся вертикальная и горизонтальная линии соответственно в

сектор 2 до их пересечения в точке D.

ЦМР с количеством пар магнитов  $N_M = 8; 16$ , прямые тормозной силы  $F_T(V)$  которых находятся ниже отрезка OD, не обеспечивают движение паллеты массой  $M = 800$  кг по ГРК с уклоном 4% в пределах не превышающих допустимых скоростей [V], а ЦМР с количеством пар магнитов  $N_M = 32$ , прямая  $F_T(V)$  которого выше отрезка OD, обеспечивает.

Для паллет массой  $M = 500$  кг при уклоне ГРК 3% поддержание их скорости в диапазоне между [V] и  $V_{min}$  будут обеспечивать ЦМР с количеством пар магнитов  $N_M = 8; 16; 32$  (Рис. 9).

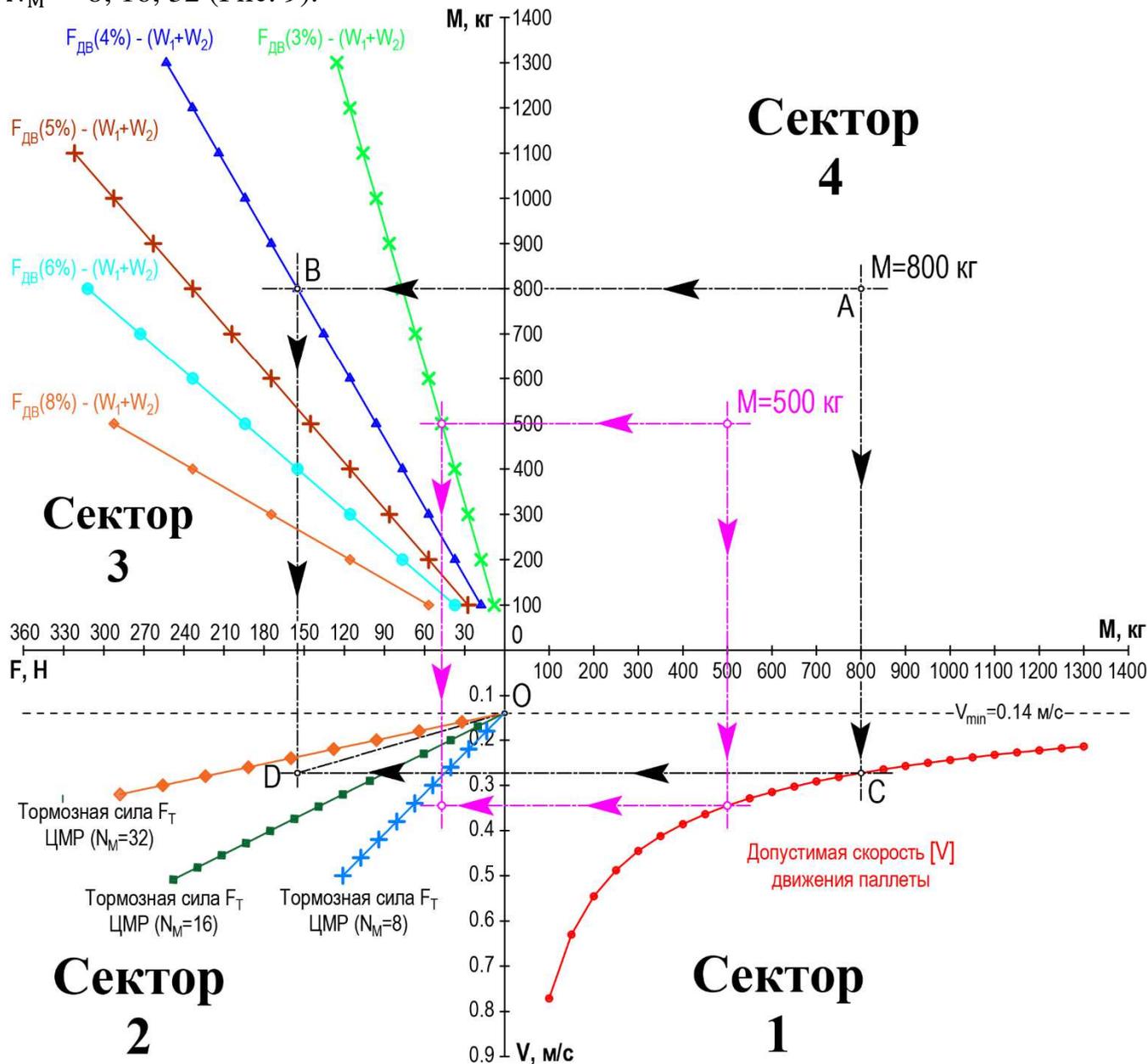


Рис. 9. Графический способ выбора ЦМР

На основании использования метода расчета и выбора ДМР и ЦМР разработаны практические рекомендации по их применению:

- Вариант №1. Применение только ДМР (диаметром 89 мм): в одном канале гравитационного роликового стеллажа с уклоном в 4% могут размещаться ДМР с количеством пар магнитов  $N_M = 12$  и перемещаться паллеты массой от 1100 кг до 1300 кг. В другом канале с уклоном в 4% – ДМР с количеством пар магнитов  $N_M = 8$

и паллеты массой от 720 кг до 1160 кг. В третьем канале с уклоном в 4% – ДМР с количеством пар магнитов  $N_M = 4$  и паллеты массой от 365 кг до 730 кг. В четвертом канале с уклоном в 8% – ДМР с количеством пар магнитов  $N_M = 4$  и паллеты массой от 120 кг до 350 кг, однако в этом случае, необходимо учитывать высоту перекрытия складского помещения, чтобы избежать уменьшения количества паллетомест на складе.

- Вариант №2. Применение только ЦМР (диаметром 89 мм и 120 мм): во всех каналах гравитационного роликового стеллажа с уклоном в 4% могут размещаться ЦМР диаметром 89 мм с количеством пар магнитов  $N_M = 16$  и перемещаться паллеты массой от 100 кг до 610 кг. Однако для паллет массой свыше 610 кг требуется увеличение диаметра ЦМР до 120 мм и размещении в нем 32 пар магнитов. В таком случае, при размещении во всех каналах гравитационного роликового стеллажа с уклоном в 4% ЦМР с количеством пар магнитов  $N_M = 32$  могут перемещаться паллеты массой от 100 кг до 930 кг.

- Вариант №3. Совместное применение ДМР (диаметром 89 мм) и ЦМР (диаметром 120 мм): в одном канале гравитационного роликового стеллажа с уклоном в 4% могут размещаться ДМР с количеством пар магнитов  $N_M = 12$  и перемещаться паллеты массой от 1100 кг до 1300 кг. В другом канале с уклоном в 4% – ДМР с количеством пар магнитов  $N_M = 8$  и паллеты массой от 720 кг до 1160 кг. В третьем канале с уклоном в 4% – ЦМР диаметром 120 мм с количеством пар магнитов  $N_M = 32$  и паллеты массой от 100 кг до 930 кг.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведен анализ конструкций зарубежных МР. Показано, что наиболее перспективными ТР для применения в паллетных ГРК являются ТР магнитного типа; предложена классификация конструкций МР.

2. Разработана ММ движения паллеты по ДМР, получена расчетная зависимость скорости движения паллеты по ДМР в зависимости от конструктивных параметров ДМР, уклона ГРК, массы  $M$  паллеты, коэффициента магнитной вязкости  $\beta$ , а также сопротивлений от неровности роликового полотна, вызванного перепадом высот между опорными роликами. Определен диапазон необходимых значений передаточного отношения  $u$  мультипликатора ДМР  $18 \leq u \leq 31$ ; получена расчетная зависимость минимальной скорости  $V_{\min}$  движения паллеты для преодоления искусственной неровности  $\Delta h$  роликового полотна, вызванной установкой ТР выше роликового полотна. Установлено, что сопротивление от неровности роликового полотна в 1,4 - 4 раза уменьшает рабочий диапазон масс паллет ДМР с количеством пар магнитов от 2 до 12 в пределах между минимальной  $V_{\min}$  и допустимой  $[V]$  скоростями движения паллеты на ГРК.

3. Впервые создан узел вихретокового торможения для экспериментальных исследований коэффициента магнитной вязкости  $\beta$  ТР магнитного типа паллетных ГРК в зависимости от воздушного зазора между постоянными магнитами и проводящим телом (от 1 до 4 мм), частоты вращения проводящего тела (от 120 до 1200 об/мин), радиуса вращения (от 25 до 35 мм) и краевого эффекта.

4. Проведены экспериментальные исследования коэффициента магнитной вязкости  $\beta$  для ДМР и ЦМР. Установлено, что: зависимость изменения  $\beta$  от воздушного зазора между проводящим телом и магнитами носит экспоненциальный характер и не зависит от изменения расстояния между их центрами. При этом коэффициент  $\beta$ : уменьшается с увеличением воздушного зазора и в 2,5-3 раза больше

при двустороннем расположении магнитов, чем при одностороннем; уменьшается на 10...25% при увеличении частоты вращения проводящего тела выше 480 мин<sup>-1</sup>.

5. Создан стенд для экспериментальных исследований различных типов ТР в режимах эксплуатации паллетных ГРК, разработана методика проведения испытаний опытного отечественного образца ДМР. Верификация ММ процесса движения паллеты по ДМР показала, среднее значение погрешности ММ во всем расчетном диапазоне масс и скоростей паллет составляет не более 8%.

6. Разработана ММ движения паллеты по ЦМР, получены расчетные зависимости скорости движения паллеты по одностороннему и двустороннему ЦМР в зависимости от их конструктивных параметров, уклона ГРК, массы  $M$  паллеты, коэффициента магнитной вязкости  $\beta$ . Проведена экспериментальная оценка коэффициента магнитной вязкости  $\beta$  ЦМР. Установлено, что сопротивление от неровности роликового полотна не оказывает влияния на установившуюся скорость движения паллеты по ЦМР.

7. Разработан метод расчета и выбора ТР магнитного типа, позволяющий табличным (предварительный) и графическим (уточненный) способами проводить оценку безопасной и эффективной работы ГРК в рабочем диапазоне масс и скоростей паллет, определять рациональные параметры ДМР и ЦМР.

Показано, что:

- для одностороннего и двухстороннего ДМР при уклоне ГРК 4% с количеством магнитов 8, 16, 24 рабочий диапазон масс паллет составляет 365 ... 1160 кг;
- для ЦМР при уклоне ГРК 4% с количеством пар магнитов 16, 32 рабочий диапазон масс паллет составляет 100 ... 930 кг.

8. Проведен сравнительный анализ ДМР и ЦМР, разработаны практические рекомендации по их применению.

Для безопасной и эффективной работы гравитационных стеллажей для паллет, в рабочих диапазонах масс и скоростей их движения, рекомендовано совместное применение ДМР и ЦМР. При уклоне ГРК 4% (рекомендованный уклон зарубежных ГРК): для паллет массой от 100 кг до 930 кг целесообразно использовать ЦМР с количеством пар магнитов 32; для паллет массой от 720 кг до 1160 кг целесообразно использовать ДМР с количеством пар магнитов 8; для паллет массой от 1100 кг до 1300 кг целесообразно использовать ДМР с количеством пар магнитов 12.

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

1. Sharifullin I., Nosko A., Safronov E. Mathematical model of the pallet motion on a magnetic brake roller of a gravity flow rack // *Acta Mechanica et Automatica*. 2022. V.16, №1. P. 34-39. (0,69 п.л./0,35 п.л.).

2. Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных исследований скорости движения паллеты по тормозному ролику магнитного типа // *Вестник СибАДИ*. 2021. Т. 18, № 2(78). С. 148-159. (1,18 п.л./0,62 п.л.).

3. Sharifullin I., Nosko A., Safronov Y. Mathematical model of the process of pallet movement along the magnetic type centrifugal brake roller // *MATEC Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2021)*. 2021. V. 346. P. 1-9. (0,89 п.л./0,45 п.л.).

4. Исследование работы тормозных магнитных роликов гравитационных роликовых конвейеров / И.А. Шарифуллин [и др.] // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2021. № 4 (348). С. 134-143. (0,52 п.л./0,2 п.л.).

5. Tribotechnical and ecological evaluation of friction pairs of brake devices in lifting and transport machines / I.A. Sharifullin [et al.] // Journal of Friction and Wear. 2020. Vol. 41, №4. P. 347- 353. (0,95 п.л./0,22 п.л.).

6. Шарифуллин И.А. Обзор и анализ конструкций центробежных тормозных роликов гравитационных конвейеров для паллет // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 100-105. (0,24 п.л.).

7. Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В. Анализ исследований вихретоковых устройств применительно к тормозным роликам гравитационных роликовых конвейеров // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2020. № 2. С. 60-68. (0,85 п.л./0,41 п.л.).

8. Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В. Математическая модель процесса движения паллеты по тормозному ролику магнитного типа // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17, № 3 (73). С. 364-373. (0,95 п.л./0,41 п.л.).

9. Экспериментальное исследование вихретокового торможения применительно к гравитационным роликовым конвейерам / И.А. Шарифуллин [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 4 (342). С. 106-116. (0,53 п.л./0,26 п.л.).

10. Шарифуллин И.А., Сафронов Е.В., Носко А.Л. Разработка конструкции и оценка работоспособности тормозного ролика магнитного типа гравитационных конвейеров для поддонов с грузом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. №4. С. 47-51. (0,49 п.л./0,19 п.л.).

11. Стенд для ресурсных испытаний тормозных роликов гравитационных конвейеров / И.А. Шарифуллин [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 4-2. С. 161-167. (0,54 п.л./0,2 п.л.).

12. 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./0,21 п.л.).

13. 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./1,2 п.л.).

14. Шарифуллин И.А., Сафронов Е.В., Носко А.Л. Обзор и анализ конструкций магнитных тормозных роликов гравитационных конвейеров для паллет // Научный диалог: Вопросы точных и технических наук. Сборник научных трудов, по материалам XI международной научно-практической конференции. 2017. С. 56-62. (0,4 п.л./0,18 п.л.).

15. Пат. 198420 Российская Федерация, МПК В65G 13/075. Ролик тормозной магнитный для роликовых гравитационных конвейеров / Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А., Шарифуллин И.А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Инженерно-технический центр «КРОС» - № 2020106638; заявл. 12.02.2020; опублик. 06.07.2020. Бюл. № 02-2020.

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; опублик. 23.06.2017. Бюл. № 18-2017.