

На правах рукописи



**Кахиев Руслан Нариманович**

**ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ ЛЕБЕДОК  
С ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Томск 2016

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Орлов Юрий Александрович**

Официальные оппоненты: **Семыкина Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», директор института энергетики

**Филипас Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент, Северский технологический институт – филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», доцент кафедры «Электроника и автоматика физических установок»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

Защита диссертации состоится 26 декабря в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.11 на базе ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск ул. Усова, д. 7, ауд. 217.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/2801/worklist>

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного  
совета Д 212.269.11  
к.т.н., доцент



Ю.Н. Дементьев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Грузоподъемные машины (ГПМ) широко используются в различных отраслях промышленности, а также в жилищном фонде и в коммерческих организациях. Безопасность на объектах, где эксплуатируются ГПМ, во многом зависит от технического состояния их узлов и механизмов. Основным механизмом ГПМ является грузоподъемная лебедка, которая в большинстве случаев имеет электрический привод.

По данным Государственной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ, начиная с 1991 года, число производственных объектов, на которых эксплуатируются ГПМ, имеет устойчивую тенденцию к увеличению. При этом количество аварий и несчастных случаев на ГПМ остаётся высоким.

Ситуация с аварийностью ГПМ в основном связана с несвоевременным техническим обслуживанием и недостаточным контролем технического состояния, особенно техники, отработавшей нормативный срок службы.

При эксплуатации ГПМ возникает потребность контроля эксплуатационных воздействий, интенсивность и величина которых влияют на изменение технического состояния. Зачастую скорость изменения технического состояния неконтролируема вследствие отсутствия или недостаточной информативности специальных технических средств (приборов и систем безопасности).

В большинстве случаев контроль и регистрация нагрузок, воспринимаемых ГПМ, таких как динамические колебания усилий и их величина, тормозной момент, можно проводить, используя в качестве источника информации приводной асинхронный двигатель (АД). При этом появляется возможность как отказаться от традиционных технических средств безопасности, где применяются тензометрические, контактные и др. датчики, так и использовать их совместно, что повышает надежность получаемой информации благодаря резервному каналу.

Проблемами надежности, безопасности, повышения удельных энергетических характеристик приводного двигателя и другого электрооборудования ГПМ

занимались и занимаются ученые из разных стран, среди них: Александров М.П., Брауде В.И., Ивашков Н.И., Каминский Л.С., Копылов И.П., Коровин К.В., Муравлев О.П. Певзнер Е.М., Сипайлов Г.А., Сушинский В.А., Таубер Б.А., Тун А.Я., Яуре А.Г., Holtz J., Matuse K., Marchesoni M.A., Vas P, Tung-Hai Chin и др.

Количество ежегодно увеличивающихся публикаций ученых, занимающихся решением задач безопасности эксплуатации электротехнических комплексов, свидетельствуют о том, что эта область исследований актуальна и представляет научный и практический интерес.

**Объект исследования:** процессы и закономерности влияния эксплуатационных воздействий на электроприводы грузоподъемных лебедок.

**Предмет исследования:** электроприводы грузоподъемных лебедок, методы контроля их технического состояния.

**Цель работы:** повышение безопасной и эффективной эксплуатации грузоподъемных лебедок с электроприводом.

**Методы исследования:** работа базируется на использовании основных теоретических положений в области дифференциального и интегрального исчисления, электротехники, механики, компьютерного моделирования в программе Matlab Simulink. Проверка теоретических результатов осуществлялась экспериментально на действующем объекте (мостовой кран МК-10) и на созданной физической модели лебедки с канатоведущим шкивом в лабораторных условиях.

**Достоверность результатов** подтверждается достаточной сходимостью полученных данных в результате теоретических и экспериментальных исследований, а также соответствием полученных результатов положениям теории электрических машин и электропривода.

**Тематика работы** соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы:

1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитаци-

онное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем.

2. Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления.

3. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях.

4. Разработка безопасной и эффективной эксплуатации, утилизации и ликвидации электротехнических комплексов и систем после выработки ими положенного ресурса.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая трехмассовая модель грузоподъемной лебёдки с канатоведущим шкивом, учитывающая жесткость, демпфирование каната, трение между канатом и шкивом, позволяющая исследовать динамические режимы работы и обладающая повышенной информативностью о величине и характере эксплуатационных воздействий.

2. Предложен и запатентован способ контроля тормозного момента механизма подъема с электроприводом.

3. Разработаны алгоритмы работы устройств расчета коэффициента нагружения односкоростной грузоподъемной лебедки барабанного типа и контроля технического состояния тормоза грузоподъемных лебедок, отличающиеся от известных использованием электромеханических переменных, зависящих от величины и характера эксплуатационных воздействий.

**Практическая ценность** работы:

1. Разработана компьютерная модель в среде Matlab Simulink для исследования динамических процессов, протекающих в электроприводах, механизмах грузоподъемных лебедок при эксплуатационных воздействиях.

2. Предложен способ расчета коэффициента нагружения односкоростной грузоподъемной лебедки барабанного типа и регистрации наработки по

величине потребляемой активной мощности электроприводом для расчета остаточного ресурса.

3. Разработаны блок-схемы устройств для расчета коэффициента нагружения, регистрации наработки и контроля величины тормозного момента грузоподъемных лебедок, работоспособность которых проверена путем компьютерного моделирования.

4. Создана экспериментальная установка грузоподъемной лебедки с канатом ведущим шкивом, используемая для оценки результатов теоретических исследований и в учебном процессе ТГАСУ при подготовке специалистов по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

**На защиту выносятся:**

1. Математическая трехмассовая модель грузоподъемной лебедки с канатом ведущим шкивом, учитывающая жесткость демпфирования каната, трение между канатом и шкивом, позволяющая исследовать динамические режимы работы, обладающая повышенной информативностью о величине и характере эксплуатационных воздействий.

2. Способы расчета коэффициента нагружения, регистрации наработки односкоростной грузоподъемной лебедки барабанного типа и контроля тормозного момента грузоподъемных лебедок по величине потребляемой активной мощности электроприводом.

3. Алгоритмы работы устройства расчета коэффициента нагружения односкоростной грузоподъемной лебедки барабанного типа и контроля технического состояния тормоза грузоподъемных лебедок по электромеханическим переменным приводного двигателя.

4. Результаты исследований влияния динамических эксплуатационных воздействий на электромеханические переменные приводного электродвигателя грузоподъемной лебедки, позволившие предложить новые способы: расчета коэффициента нагружения; регистрации наработки; контроля технического состояния тормоза.

**Апробация работы.** Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на конференциях и семинарах: 56-ая (57-ая, 58-ая, 59-ая) научно-технической конференция студентов и молодых ученых, Томск, 2010–2013 гг.; Томск; Международная научно-техническая конференция «Интерстроймех-2011», Могилев, 2011 г.; Региональная научно-практическая конференция «Проблемы ремонта, обслуживания и безопасной эксплуатации грузоподъемных машин в условиях Западной Сибири», Томск, 2012 г.; X (XI) Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 2013, 2014 гг.; VI Международная научно-техническая конференция «Электромеханические преобразователи энергии», Томск 2013 г.; III Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», Томск 2013 г.; Международная заочная научно-практическая конференция «Современные тенденции в науке и образовании», Москва, 2014 г.; 60-ая (61-ая) Университетская научно-технической конференция студентов и молодых ученых, Томск, 2014, 2015 гг.; 18-й научно-практический семинар по приборам и системам безопасности грузоподъемных машин, Сочи, 2014 г.; Международная научно-техническая конференция «Интерстроймех-2015», Казань, 2015 г.

**Публикации.** Всего по данной тематике опубликовано 9 печатных работ, в том числе две публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, получен один патент на изобретение.

**Реализация работы.** Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях: ООО «Сибирская электротехническая компания» – г. Томск; ООО «Азбука Окон плюс» – г. Томск, а так же в учебный процесс кафедрами общей электротехники и автоматики и строительных и дорожных машин механико-технологического факультета Томского государственного архитектурно-строительного университета.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 123 страниц, 64 рисунка, 7 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели проводимых исследований, показаны научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, структура и объем работы.

**В первой главе** рассмотрена классификация грузоподъемных лебедок как основных механизмов в составе ГПМ. Выяснено, что принципиальное отличие среди грузоподъемных лебедок заключается в органе, который служит для преобразования вращательного движения выходного вала редуктора (двигателя) в поступательное движение грузозахватного органа, – это барабан или шкив трения.

Проведен обзор электрических приводов грузоподъемных лебедок, в ходе которого выяснено, что на практике используются преимущественно асинхронные двигатели (АД) как с фазным ротором (более возрастные ГПМ), так и с короткозамкнутым ротором.

Проведенный обзор существующих устройств и систем безопасности ГПМ показал, что в основном для ограничителей грузоподъемности и регистраторов параметров предназначенных для определения режима нагружения и расчета остаточного ресурса используются датчики усилия, являющиеся единственным каналом информации о величине эксплуатационных воздействий. При этом динамические нагрузки, вызывающие дополнительные деформации металлических конструкций, не учитываются. Вместе с тем датчики усилия подвержены атмосферным воздействиям, знакопеременным вынужденным колебаниям при перемещении груза, погрешности результатов в зависимости от места их установки.

Обзор нормативных документов по ГПМ показал, что тормоз механизма подъема груза (лебедки) в большинстве случаев должен обеспечивать тормозной момент с коэффициентом запаса не менее 1,5, однако анализ существующих си-

стем безопасности показал полное отсутствие контроля величины тормозного момента при эксплуатации.

Следует отметить, что наличие технических решений, реализующих косвенные методы определения нагрузок по электромеханическим переменным приводного электродвигателя, открывает новые возможности повышения безопасности и эффективности эксплуатации ГПМ за счет использования резервного канала информации.

На основании проведенного обзора были поставлены следующие задачи:

– разработать математические модели электрических грузоподъемных лебедок БТ и с КВШ для изучения динамических процессов, протекающих в электроприводах, механизмах при эксплуатационных воздействиях;

– провести исследования влияния эксплуатационных воздействий на электромеханические переменные электропривода грузоподъемной лебедки для использования результатов при расчете коэффициента нагружения, регистрации наработки и контроля тормозного момента;

– разработать алгоритмы работы устройств расчета коэффициента нагружения односкоростной грузоподъемной лебедки барабанного типа и контроля технического состояния тормоза грузоподъемных лебедок по величине потребляемой активной мощности электроприводом;

– провести оценку достоверности результатов теоретических исследований путем сравнения с результатами экспериментов: на лебедке БТ крана мостового типа и разработанной экспериментальной модели лебедки с КВШ;

– разработать блок-схемы устройств расчета коэффициента нагружения, регистрации наработки односкоростной грузоподъемной электрической лебедки барабанного типа и контроля величины тормозного момента грузоподъемных электрических лебедок.

**Во второй главе** разработаны математические модели грузоподъемных лебедок БТ и с КВШ как сложные электромеханические системы, в которых электрические части и многомассовые механические части с упругими связями влияют друг на друга. Процессы, протекающие в АД, описываются уравнениями элек-

трехмеханического преобразования энергии, уравнениями равновесия моментов и уравнениями равновесия для напряжений контуров.

Для описания процессов, происходящих в АД, в данной работе использована модель в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta, \gamma$  (см. рисунок 3).

Уравнение моментов для лебедки БТ:

$$\begin{aligned} M_{c1} + M_{T1} + M_{П1} + J_1 \frac{d\omega_{2БТ}}{dt} = \\ = M_{Э1} = p \frac{\sqrt{3}}{2} M [(i_{s\alpha} i_{r\gamma} + i_{s\beta} i_{r\alpha} + i_{s\gamma} i_{r\beta}) - (i_{s\alpha} i_{r\beta} + i_{s\beta} i_{r\gamma} + i_{s\gamma} i_{r\alpha})]; \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнение моментов для лебедки с КВШ:

$$\begin{aligned} M_{c2} + M_{T2} + M_{П2} + J_2 \frac{d\omega_{2КВШ}}{dt} = \\ = M_{Э2} = p \frac{\sqrt{3}}{2} M [(i_{s\alpha} i_{r\gamma} + i_{s\beta} i_{r\alpha} + i_{s\gamma} i_{r\beta}) - (i_{s\alpha} i_{r\beta} + i_{s\beta} i_{r\gamma} + i_{s\gamma} i_{r\alpha})], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $J_1 \frac{d\omega_{2БТ}}{dt}$ ,  $J_2 \frac{d\omega_{2КВШ}}{dt}$  – динамические моменты лебедок БТ и с КВШ;  $M_{c1}$ ,  $M_{c2}$  – моменты созданные усилиями в канатах лебедок БТ и с КВШ;  $M_{T1}$ ,  $M_{T2}$  – тормозные моменты лебедок БТ и с КВШ, Н·м;  $M_{П1}$ ,  $M_{П2}$  – моменты потерь электромеханической энергии лебедок БТ и с КВШ;  $M_{Э1}$ ,  $M_{Э2}$  – электромагнитные моменты приводов лебедок БТ и с КВШ;  $M$  – взаимная индуктивность;  $i_s$ ,  $i_r$  – значение токов фаз статора и ротора.

Результаты моделирования потребляемой активной мощности, электромагнитного момента и угловой скорости представлены на рисунке 1.

Математическая модель лебедки с КВШ основана на трехмассовой расчётной схеме (рисунок 2). Масса клетки и противовеса обозначена как  $m_{21}$ ,  $m_{22}$  соответственно, кг; жесткость каната обозначена как  $c_{21}$ ; коэффициент демпфирования каната обозначено как  $b_{21}$ ;  $h_2$  – это высота шахты лебедки, м;  $x_{21}$  и  $x_{22}$  координаты перемещения масс –  $m_{21}$  и  $m_{22}$ , м;  $g$  – ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>. Сила трения между шкивом и канатом представлена через величину тяговой способности, которая зависит от отношения усилий  $F_{21}$ ,  $F_{22}$  (возникающих под действием масс  $m_{21}$  и  $m_{22}$ ) и особенностей трущейся пары.

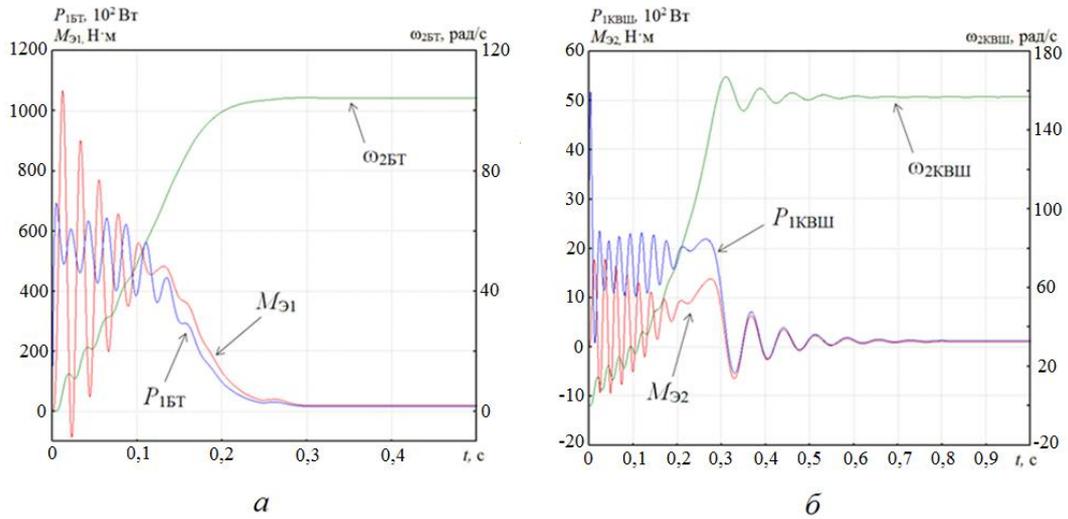


Рисунок 1 – Кривые переходных процессов и установившиеся режимы при пуске приводного двигателя (АД): *а* – лебедки БТ (МТФ 311-6), *б* – лебедки с КВШ (АИР80М4ЕУ3);  $P_{1БТ}$ ,  $P_{1КВШ}$  – потребляемая активная мощность АД лебедки БТ и с КВШ;  $\omega_{2БТ}$ ,  $\omega_{2КВШ}$  – угловая скорость ротора АД лебедки БТ и с КВШ;  $M_{Э1}$ ,  $M_{Э2}$  – электромагнитный момент АД лебедки БТ и с КВШ.

Математические модели лебедок БТ и с КВШ были реализованы в компьютерной программе Matlab Simulink (Рисунок 3,4).

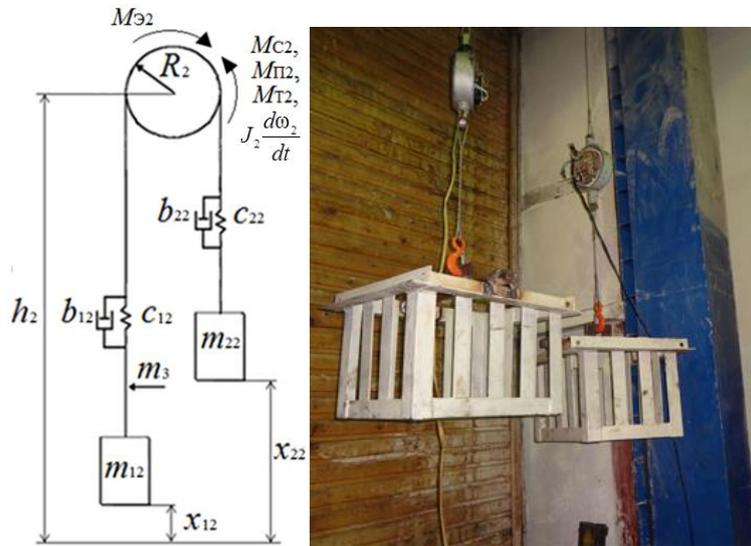


Рисунок 2 – Расчетная схема и лабораторная установка лебедки с КВШ

Уравнения движения трехмассовой лебедки с КВШ:

$$\begin{aligned} \frac{-((h - x_{21})m_3 + m_{21})g}{a_2 u_{m_2}} + F_{21} - b_{21} \frac{dx_{21}}{dt} &= \frac{((h - x_{21})m_3 + m_{21})dx_{21}^2}{dt^2}, \\ \frac{-((h - x_{22})m_3 + m_{22})g}{a_2 u_{m_2}} + F_{22} - b_{21} \frac{dx_{22}}{dt} &= \frac{((h - x_{22})m_3 + m_{22})dx_{22}^2}{dt^2}. \end{aligned} \tag{3}$$

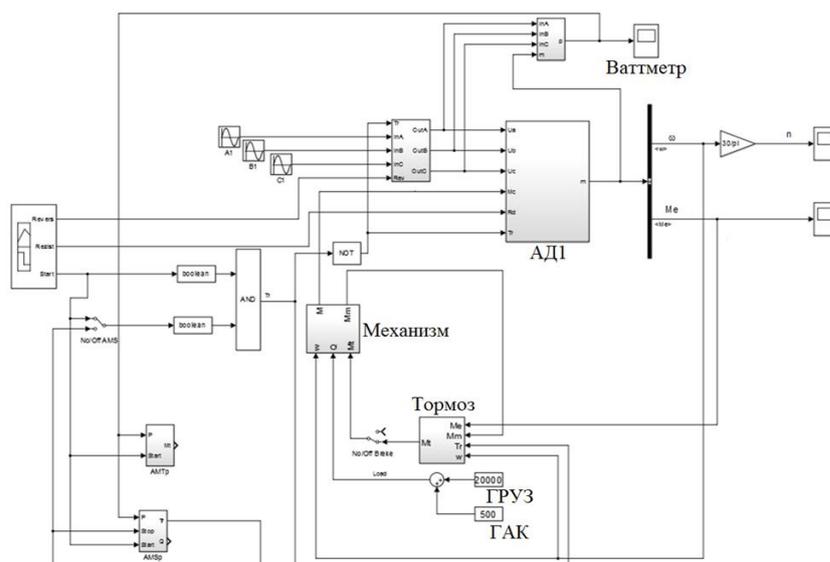


Рисунок 3 – Компьютерная модель лебедки БТ

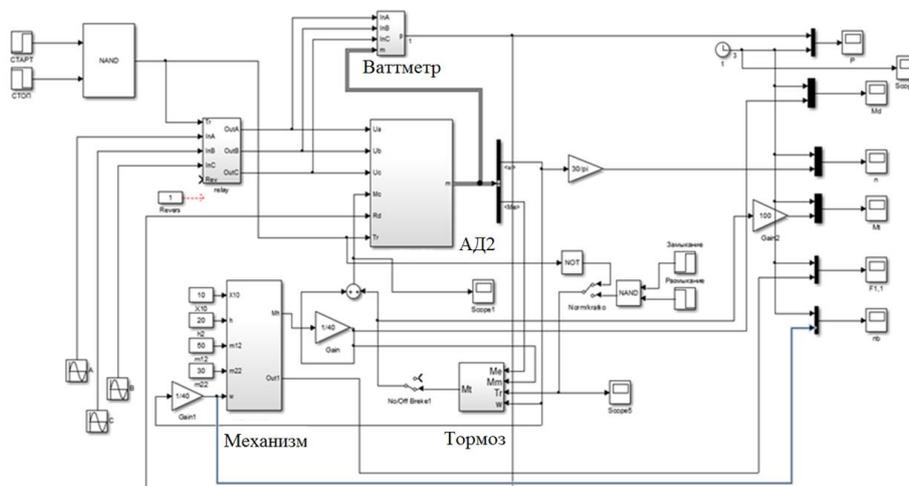


Рисунок 4 – Компьютерная модель лебедки с КВШ

**В третьей главе** проведены исследования влияния режима нагружения, наработки и тормозного момента грузоподъемной лебедки на электромеханические процессы, происходящие в электроприводе (рисунки 5, 6, 7).

Известно, что при определении режима нагружения механизма подъема ГПМ (лебедки) используют формулу расчета коэффициента нагружения:

$$k_m = \sum \left( \frac{Q_i}{Q_{\text{НОМ}}} \right)^m \frac{t_i}{\sum t_i}, \quad (4)$$

где  $Q_i$  – масса груза, действующая на механизм за период времени, кг;  $Q_{\text{НОМ}}$  – номинальная масса груза, кг;  $t_i$  – продолжительность времени действия нагрузки  $Q_i$ , ч;  $\sum t_i$  – суммарное время действия нагрузок на механизм, ч;  $m$  – показатель степени усталостной кривой.

Доказано, что потребляемая активная мощность масса  $P_1$  ( $P_{1БТ}$ ) электропривода лебедки БТ зависит от массы поднимаемого груза (рисунок 5). Отсюда следует вывод о том, что контролировать режим работы лебедки можно, используя датчик активной мощности. Формула (4) примет вид:

$$k_m = \sum \left( \frac{P_i}{P_{НОМ}} \right)^m \frac{t_i}{\sum t_i}, \quad (5)$$

где  $P_i$  – значение потребляемой активной мощности электропривода лебедки БТ при действии массы груза  $Q_i$ , Вт;  $P_{НОМ}$  – значение потребляемой активной мощности двигателя лебедки БТ при действии массы груза  $Q_{НОМ}$ , Вт. При условии:

$$P_i = P_{1БТ} - P_{xx}, \quad (6)$$

где  $P_{xx}$  – значение потребляемой активной мощности электропривода лебедки на холостом ходу при установившемся режиме.

Наработка ГПМ регистрируется счетчиком моточасов, который считает время, когда включено питание механизмов ГПМ. Проблема состоит в том, что счетчик моточасов не регистрирует характер действия нагрузки, которая влияет на металлоконструкцию ГПМ (рисунок 5).

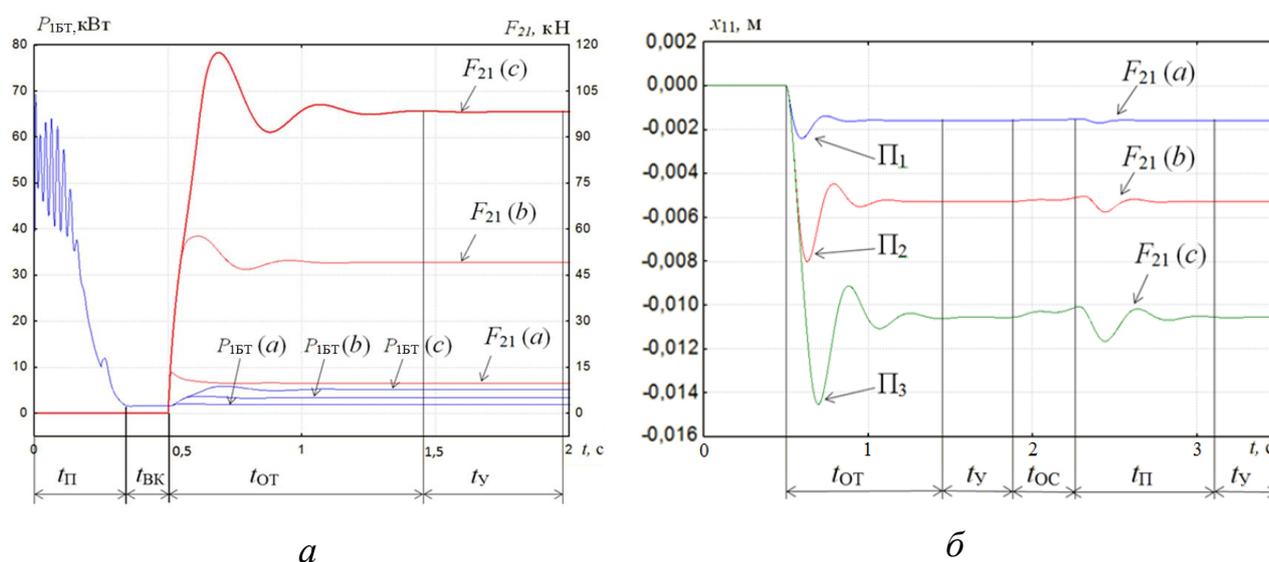


Рисунок 5 – Значения потребляемой активной мощности и величины прогиба опоры лебедки БТ под действием усилия в полиспасте крана МК-10 от времени при пуске и в установившемся режиме работы

где  $x_{11}$  – перемещение и колебания кранового моста;  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$  – пики колебаний в металлоконструкции ГПМ во время отрыва груза;  $(a), (b), (c)$  – груз массой 1000, 5000, 10000 соответственно, кг;  $t_{\Pi}$  – время пуска электропривода;  $t_{BK}$  – продолжительность выбора слабины каната, с;  $t_{OT}$  – отрыв груза и продолжительность колебаний груза, с;  $t_y$  – установившейся режим подъема, с;  $t_{OC}$  – остановка механизма и продолжительность колебаний груза, с

Наработку лебедки БТ как основного механизма ГПМ с учетом переходных процессов можно регистрировать по объему потребленной энергии ее приводным электродвигателем:

$$W_{\Pi} = \int_{t_0}^{t_i} P_{1БТ} dt, \quad (8)$$

где  $W_{\Pi}$  – потреблённая энергия приводного двигателя лебедки, Вт.

Выяснено, что потребляемая активная мощность приводных двигателей лебедок  $P_{1БТ}$  и  $P_{1КВШ}$  зависит от момента, создаваемого тормозом при его кратковременном замыкании (рисунки 6, 7). Для того чтобы выделить мощность, потребляемую на преодоление тормозного момента (для оценки технического состояния тормоза), из всей потребляемой мощности лебедки необходимо:

1. Измерить  $P_1$  – активную мощность двигателя, Вт, потребляемую в установившемся режиме на холостом ходу, при этом тормоз разомкнут.

2. Измерить  $P_2$  – активную мощность двигателя, Вт, потребляемую при кратковременном замыкании тормоза на холостом ходу.

3. Измерить  $P_3$  – активную мощность двигателя, Вт, потребляемую после размыкания тормоза на холостом ходу.

Затем проверить условие:  $P_1 = P_3$  – это значит, что условия работы лебедки не изменились. Далее выделяем мощность, потребленную на преодоление тормозного момента  $P_2 - P_1 = P_t = \Delta P$ , Вт.

На основании полученных выводов были разработаны алгоритмы обучения и работы устройств:  $a$  – расчета коэффициента нагружения односко-

ростной лебедки БТ;  $\bar{b}$  – контроля технического состояния тормоза грузоподъемной лебедки (рисунок 8).

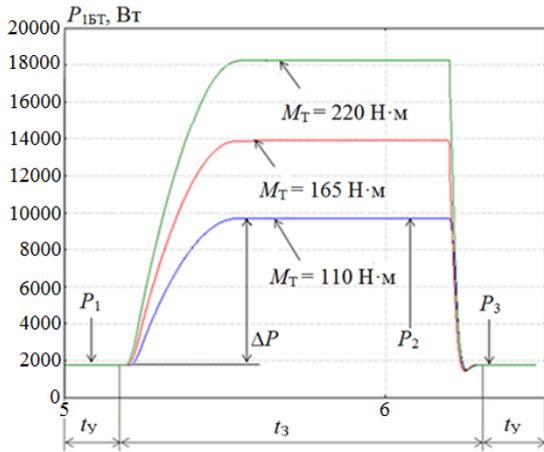


Рисунок 6 – зависимости  $P_{1BT} = f(t)$  лебедки БТ

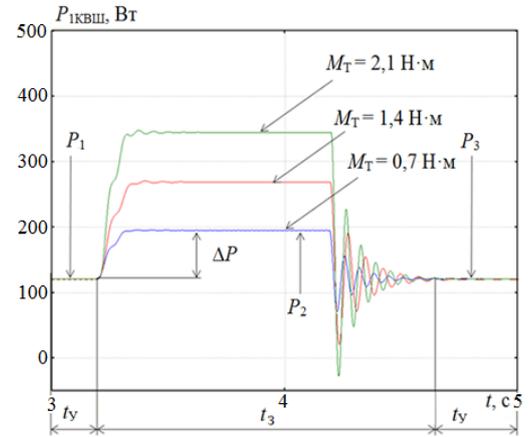


Рисунок 7 – зависимости  $P_{1KVШ} = f(t)$  лебедки с КВШ

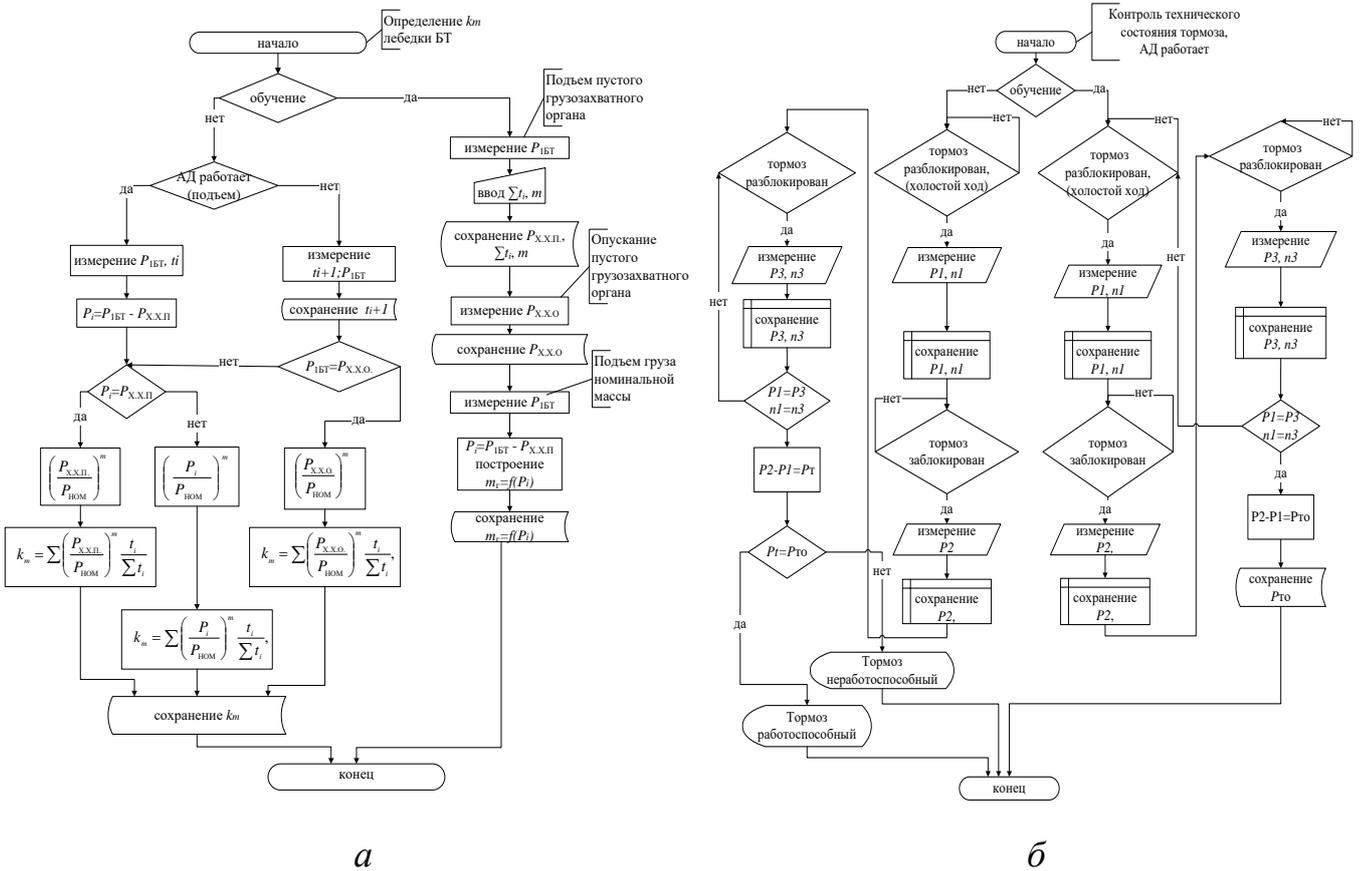


Рисунок 8 – Алгоритм обучения и работы устройства: *а* – расчета коэффициента нагружения односкоростной лебедки БТ; *б* – контроля технического состояния тормоза грузоподъемной лебедки

В четвертой главе сравнивались результаты исследований, полученных путем компьютерного моделирования, с результатами, полученными в ходе экспериментов, сходимость составила 9 % (рисунки 9,10,11,12,13,14).

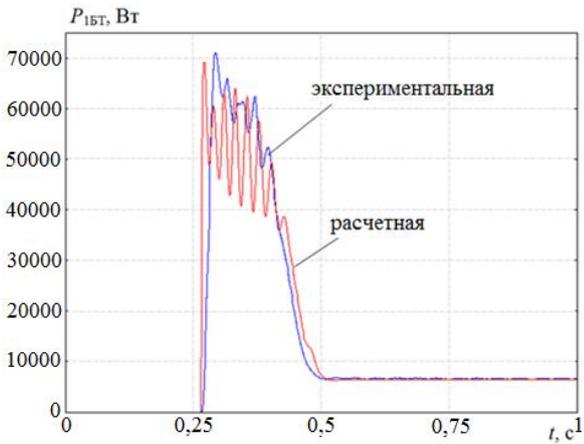


Рисунок 9 –  $P_{1БТ} = f(t)$

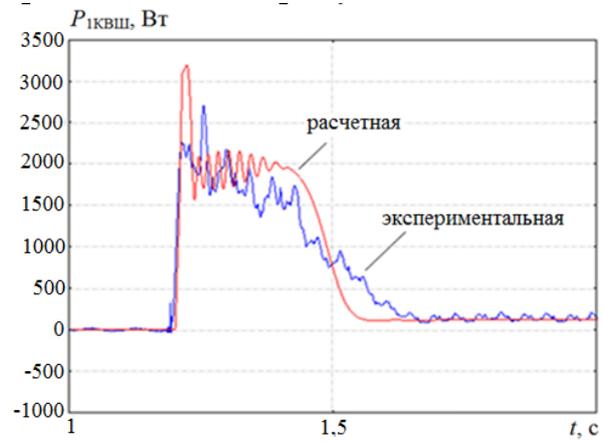


Рисунок 10 –  $P_{1КВШ} = f(t)$

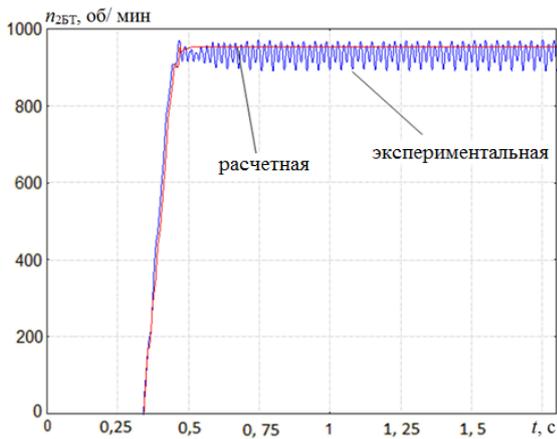


Рисунок 11 –  $n_{2БТ} = f(t)$

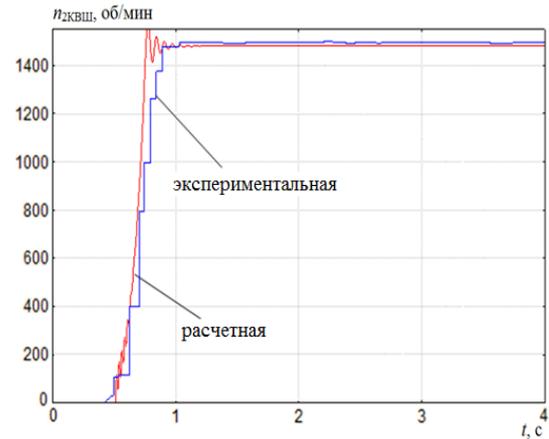


Рисунок 12 –  $n_{2КВШ} = f(t)$

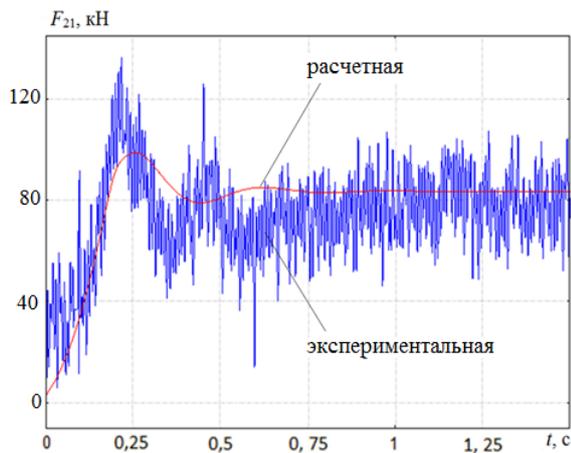


Рисунок 13 –  $F_{21} = f(t)$  лебедки БТ

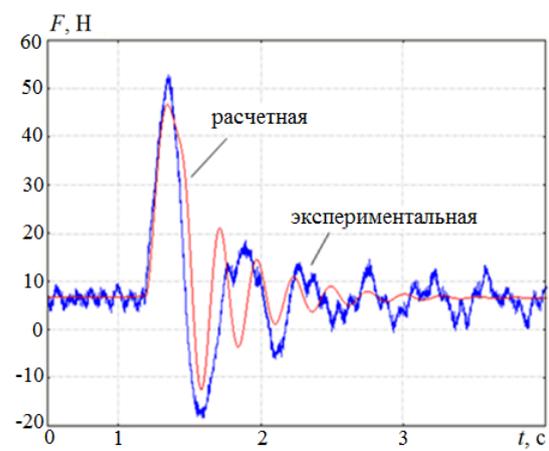


Рисунок 14 – Результирующее усилие  $F = f(t)$  лебедки с КВШ

По разработанным алгоритмам были предложены блок-схемы устройств (рисунок 15).

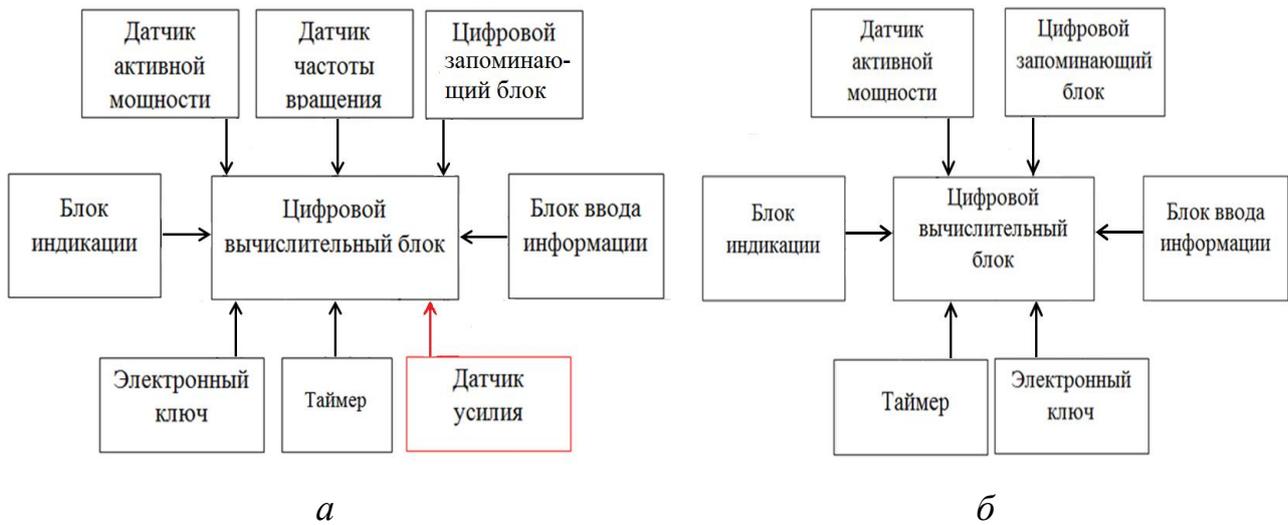


Рисунок 15 – Блок-схемы устройств: *а* – расчета коэффициента нагружения и регистрации наработки; *б* – контроля величины тормозного момента грузоподъемных лебедок

**В заключении** изложены основные выводы по результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

**В приложении** приведены акты внедрения результатов данной диссертационной работы и патент РФ на изобретение.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований влияния эксплуатационных воздействий на электромеханические процессы в приводах грузоподъемных лебедок в диссертационной работе решены задачи, позволяющие повысить уровень безопасности и эффективности эксплуатации грузоподъемных лебедок с электроприводом.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработаны математические модели электрических грузоподъемных лебёдок БТ и с КВШ, позволяющие исследовать статические и динамические режимы работы с учетом жесткости, демпфирования канатов при различных эксплуатационных воздействиях. Результаты исследований, полученных пу-

тем компьютерного моделирования, сравнивались с результатами, полученными в ходе экспериментов, сходимость составила 9 %.

2. Обоснована возможность использования зависимостей электромеханических переменных асинхронных приводных двигателей от величины и характера эксплуатационных воздействий для контроля технического состояния грузоподъемных лебедок в целях безопасности.

3. Выявлена возможность расчета коэффициента нагружения грузоподъемной лебедки по величине потребляемой активной мощности электроприводом для определения режима нагружения.

4. Предложено для регистрации наработки грузоподъемной лебедки вместо счетчика моточасов использовать количество потребленной электрической энергии за период эксплуатации с целью расчета остаточного ресурса.

5. Разработаны: алгоритм работы, блок-схема устройства расчета коэффициента нагружения и регистрации наработки для односкоростной электрической грузоподъемной лебедки БТ, повышающие безопасность эксплуатации ГПМ.

6. Доказано, что совместное использование традиционных технических средств контроля и регистрации нагрузок и информации о величине и характере эксплуатационных воздействий, получаемой от электропривода грузоподъемной лебедки, повышает надежность систем безопасности ГПМ благодаря резервному каналу.

7. Разработан способ контроля величины тормозного момента грузоподъемной лебедки как критерия работоспособного технического состояния, позволяющий судить о техническом состоянии тормоза и предупреждать аварии, связанные с его отказом. Получен патент РФ на изобретение № 2455223 «Способ контроля тормозного момента механизма подъема с электроприводом».

### **Основные результаты работы опубликованы**

#### **в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Способ контроля состояния тормоза лебедки с электроприводом / Ю.А. Орлов, Д.Ю. Орлов, Д.П. Столяров, **Р.Н. Кахиев** // Горное машиностроение: сборник материалов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического

бюллетеня (научно-технического журнала) Mining informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2011. – № OB2 – 488 с.

2. Регистратор параметров работы крана мостового типа / Ю.А. Орлов, Д.Ю. Орлов, Д.П. Столяров, **Р.Н. Кахиев** // Механизация строительства: Всероссийский ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2015/ – № 8 (854).

#### **Патенты и авторские свидетельства:**

3. Патент № 2455223 на изобретение, МПК В66D5/00. Способ контроля тормозного момента механизма подъема с электроприводом / Ю.А. Орлов, Д.Ю. Орлов, Д.П. Столяров, **Р.Н. Кахиев**.– № 2011101046/11; Заявл. 02.12.2011; Оpubл. 10.07.2012.

#### **Материалы конференций и сборников статей:**

4. Способ ограничения грузоподъемности крана мостового типа / Ю.А. Орлов, Д.Ю. Орлов, Д.П. Столяров, **Р.Н. Кахиев** // Сборник научных трудов Лесотехнического института / Томский государственный архитектурно-строительный университет, Лесотехнический институт; редкол.: Э.И. Удлер (гл. ред.) [и др.]. – Вып. 4. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. – 187 с.

5. Контроль тормозного момента в электрических лебедках / Ю.А. Орлов, Д.Ю. Орлов, Д.П. Столяров, **Р.Н. Кахиев** // Интерстроймех-2011: Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, Беларусь, 2011. – С. 302 – 306.

6. **Кахиев, Р.Н.** Проблемы безопасности при эксплуатации подъемных сооружений / **Р.Н. Кахиев**, Д.Ю. Орлов, Д.Е. Жарченко // III Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность, 27–31 мая 2013 г.» – ТПУ, 2013.

7. Оценка тормозного момента на основе потребляемой активной мощности приводного электродвигателя грузоподъемной лебедки / Ю.А. Орлов, В.Г. Букреев, Д.Ю. Орлов, Д.П. Столяров, **Р.Н. Кахиев** // VI Международная научно-техническая конференция «Электромеханические преобразователи энергии» – Томск, 2013.

8. **Кахиев, Р.Н.** Математическая модель грузоподъемной лебедки с канатопроводящим шкивом / Р.Н. Кахиев, Д.П. Столяров, Д.Ю. Орлов // X Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», 23–26 апреля 2013, – Томск.

9. Энергетический мониторинг электроприводов как средство повышения надежности и безопасности эксплуатации подъемных сооружений / Ю.А. Орлов, Д.Ю. Орлов, Д.П. Столяров, **Р.Н. Кахиев**, // Современные тенденции в науке и образовании: Сборник научных трудов по материалам научно–практической конференции 3 марта 2014 г. В 6 частях. Часть III. М.: «АР-Консалт», 2014 г. – 175 с.

#### **Личный вклад автора**

В публикациях [1, 3, 5, 6, 7, 8, 9] личный вклад составляет 70 %, в публикациях [2, 4] личный вклад составил 60 %.