

На правах рукописи



Котеленко Светлана Владимировна

Повышение эффективности функционирования системы рекуперации
электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах

Специальность:

05.09.03. – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном общеобразовательном университете высшего профессионального образования «Тульский государственный университет» ТулГУ.

Научный руководитель	Степанов Владимир Михайлович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Бычков Михаил Григорьевич доктор технических наук, профессор кафедры Автоматизированного электропривода (АЭП) Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ») Фомин Андрей Васильевич кандидат технических наук, технический руководитель проектов ЗАО «Нидек АСИ ВЭИ»
Ведущее предприятие:	ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Защита диссертации состоится 30.01.2015 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.12 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, ауд.9-101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://tsu.tula.ru> Тульского государственного университета.

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.271.12,
д.т.н., профессор



Елагин Михаил Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Рекуперация электрической энергии в многодвигательных подъёмно-транспортных механизмах является перспективным направлением развития электротехнических систем, поскольку они позволяют, как дополнительно генерировать электрическую энергию, так и использовать ее для собственных нужд в условиях тенденции роста тарифов на электрическую энергию.

Работе электродвигателей в генераторном режиме в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах посвящены научные исследования В.И. Ключева, В.К. Калинина, А.Н. Анисова, Г.И. Криштафовича, В.Я.Пахомова, А.Ю. Портного, О.В. Мельниченко, С.Г. Шрамко, Г.П. Кузнецова, Л.А. Баранова, И.С. Мелешина, Л.М. Чинь, Г.Г. Рябцева, И.А. Ермакова, Н.А. Рубичева.

Однако в указанных работах системы рекуперации применяются либо для каждого электродвигателя в отдельности, либо охватывают два или три электродвигателя. В то же время электромеханические системы многодвигательных подъемно-транспортных механизмов включают число электродвигателей более трех. Причем имеют место конструктивные схемы с зависимым и независимым исполнением электромеханических систем многодвигательных подъемно-транспортных механизмов в зависимости от применяемой технологии их использования. При зависимых электромеханических системах многодвигательных подъемно-транспортных механизмов при рекуперации электрической энергии требуется синхронизация работы электродвигателей. Для каждой независимой электромеханической системы многодвигательных подъемно-транспортных механизмов применяется своя система рекуперации электрической энергии. Поэтому создание универсального электротехнического устройства накопления электрической энергии с последующим его резервированием ограничивает указанные недостатки, которые снижают эффективность функционирования электромеханических систем многодвигательных подъемно-транспортных механизмов и формирования в них рекуперации электрической энергии до 30%. Решение данной научно-технической задачи позволит уменьшить затраты на их конструктивное исполнение и эксплуатацию.

Дополнительно вырабатываемая электрическая энергия передается либо в электрическую сеть, либо используется для собственных нужд.

Учитывая тенденцию повышения тарифов на электрическую энергию, эффективным является использование дополнительно вырабатываемой электрической энергии для собственных нужд. В данном случае необходимо учитывать, как одновременную работу электродвигателей в генераторном режиме, так и попеременную их работу в зависимости от технологии использования многодвигательных подъемно-транспортных механизмов. Необходимо создать электротехническую систему дозированного питания в совокупности с системой рекуперации электрической энергии, поскольку они должны быть ориентированы на максимально возможную нагрузку собственных нужд, потребляющую дополнительно произведенную электрическую энергию.

Кроме того, динамические нагрузки на исполнительных органах электромеханических систем многодвигательных подъемно-транспортных механизмов за счет функциональных связей с валом электродвигателей приводят к снижению качества и увеличению потерь электрической энергии, а также ухудшению надежности их работы.

В связи с этим, актуальным является решение научной задачи, направленной на обоснование рациональных структуры и параметров электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, в комплексе учитывающих электромеханические и электромагнитные процессы на основе закономерностей формирования управляющих воздействий для управления их режимами работы.

Цель работы – повышение эффективности функционирования электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием путем обоснования их структуры и параметров, комплексно учитывающих электромеханические и электромагнитные процессы.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи исследования**:

1. Анализ конструктивных схем и режимов работы электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах, методов моделирования переходных процессов, расчетов их параметров и надежности, и, условий эксплуатации.

2. Разработка математической модели электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, в комплексе учитывающей характеристики электромеханических и электромагнитных процессов.

3. Исследование математической модели электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием для обоснования их рациональных структуры и параметров.

4. Определение закономерностей формирования переходных электромеханических и электромагнитных процессов в электротехнической системе рекуперации электрической энергии и управляющих воздействий для управления режимами работы универсальных электротехнических устройств накопления электрической энергии и дозированного питания в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах.

5. Определение условий реализуемости математической модели и параметров электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах.

6. Разработка методики расчета рациональных режимных и конструктивных параметров электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-

транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием.

7. Численные и экспериментальные исследования при применении технических решений по системе рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированного питания.

Идея работы. Достижение требуемого уровня функционирования электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, путем обоснования их рациональных параметров и структуры, в комплексе учитывающей характеристики электромеханических и электромагнитных процессов.

Объектом исследования является электротехническая система рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием.

Предметом исследования являются переходные электромеханические и электромагнитные процессы, протекающие в электротехнической системе рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах и дозированного питания.

Методы исследования, используемые в работе, основаны на совокупности теории электрических цепей, методов математического моделирования, методов расчета параметров переходных процессов, теории автоматического управления, теории надежности технических систем, теории подобия, имитационного проведения вычислительных экспериментов и экспериментальных исследований с использованием современных компьютерных средств.

Автор защищает:

1. Математическую модель электротехнической системы рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервирования универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, в комплексе учитывающей характеристики электромеханических и электромагнитных процессов.

2. Закономерности формирования переходных электромеханических и электромагнитных процессов в электротехнической системе рекуперации электрической энергии с универсальным устройством накопления электрической энергии и дозированным питанием в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах.

3. Условия реализуемости математической модели электротехнических систем рекуперации электрической энергии и дозированного питания в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах.

4. Рациональные режимные и конструктивные параметры электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием.

Научная новизна заключается в определении рациональных структуры и параметров электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, закономерностей формирования переходных электромеханических и электромагнитных процессов и управляющих воздействий для управления их режимами работы.

Она представлена следующими результатами:

1. установлены закономерности формирования управляющих воздействий для управления режимами работы универсальных электротехнических устройств накопления электрической энергии и дозированного питания в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах;

2. получены зависимости для определения рациональных структуры и параметров электротехнических систем рекуперации электрической энергии, и, резервирования ее универсальных устройств накопления электрической энергии, учитывающие в комплексе переходные электромеханические и электромагнитные процессы;

3. разработана методика расчета рациональных параметров и параметрического ряда электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы обеспечены обоснованными допущениями, адекватностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, расхождения между которыми не превышают 14%, что допустимо в инженерных расчетах.

Практическое значение. Разработана методика определения рациональных структуры и параметров электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, в комплексе учитывающих характеристики электромеханических и электромагнитных процессов.

Реализация результатов работы. Основные научно-практические результаты диссертационной работы использованы ОАО «Конструкторское бюро приборостроения» в Программе повышения энергоэффективности и экономической эффект от внедрения на предприятии ОАО «МРСК Центра и Приволжья» электротехнической системы рекуперации электрической энергии в электромеханической системе козлового крана составляет 2896713 рублей в год.

Результаты работы использованы в учебных курсах «Переходные процессы в электроэнергетических системах», «Переходные процессы в электроприводах», «Электромеханика», «Электрический привод», «Средства коммутации электрической энергии» на кафедре «Электроэнергетика» Тульского государственного университета.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных молодежных научно-технических конференциях.

ТулГУ (г. Тула, 2009 - 2014 гг.) и V, VI научно-практических конференциях ТулГУ «Молодежные инновации» (г. Тула, 2011 г.), VI Международной (XVII Всероссийская) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП) (г. Тула, 2010 г.), Пятой международной Школе-семинаре молодых ученых и специалистов «Энергосбережение – теория и практика» (г. Москва, 2010 г.), 9-й Всероссийской научной конференции, (г. Вологда, 2011 г.), Международной научно-технической конференции «Энергосбережение - 2012» в рамках X Московского международного энергетического форума «ТЭК России в XXI веке» (г. Москва, 2012 г.), Международной научно-технической конференции «Энергоэффективность - 2012» в рамках I Международного электроэнергетического форума «Электросетевой комплекс. Инновации. Развитие» (г. Москва, 2012 г.), Международной научно-технической конференции «Энергосбережение - 2013» в рамках XI Московского международного энергетического форума «ТЭК России в XXI веке» (г. Москва, 2013 г.), Международной научно-технической конференции «Энергосбережение - 2014» в рамках XII Московского международного энергетического форума «ТЭК России в XXI веке», VII Международной конференции по автоматизированному электроприводу «АЭП-2012» (г. Иваново, 2012 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 21 статье, из них 8 в изданиях, рекомендованных ВАК, 4 патентах РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников из 130 наименования, содержит 36 рисунков и 3 таблицы. Общий объем – 109 страниц.

Автор выражает благодарность заведующему кафедрой «Электроэнергетика» Тульского государственного университета, доктору технических наук, профессору Степанову Владимиру Михайловичу за научные консультации, поддержку и помощь при работе над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, отмечаются научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен анализ научно-практической литературы, конструктивных схем, условий их эксплуатации, методов моделирования переходных процессов, расчета параметров и их надежности систем рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов.

Работе электродвигателей в генераторном режиме в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах посвящены научные исследования В.И. Ключева, В.К. Калинина, А.Н. Анисова, Г.И. Криштафовича, В.Я.Пахомова, А.Ю. Портного, О.В. Мельниченко, С.Г. Шрамко, Г.П. Кузнецова, Л.А. Баранова, И.С. Мелешина, Л.М. Чинь, Г.Г. Рябцева, И.А. Ермакова, Н.А. Рубичева.

Однако в указанных работах системы рекуперации применяются либо для каждого электродвигателя в отдельности, либо охватывают два или три электродвигателя, что усложняет конструктивное исполнение и эксплуатацию, несет большие затраты, а также снижают эффективность функционирования электромеханических систем рекуперации электроэнергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах и формирования в них рекуперации электрической энергии до 30%.

Создание универсального электротехнического устройства накопления электрической энергии с последующим его резервированием ограничивает указанные недостатки.

Учитывая тенденцию повышения тарифов на электрическую энергию, эффективным является использование дополнительно вырабатываемой электрической энергии для собственных нужд. Необходимо создать электротехническую систему дозированного питания в совокупности с системой рекуперации электрической энергии, ориентированными на максимально возможную нагрузку собственных нужд, потребляющую дополнительно произведенную электрическую энергию, используемой как для одновременной работы электродвигателей в генераторном режиме, так и попеременной их работы в зависимости от технологии использования многодвигательных подъемно-транспортных механизмов.

Кроме того, динамические нагрузки на исполнительных органах электромеханических систем многодвигательных подъемно-транспортных механизмов за счет функциональных связей с валом электродвигателей приводят к снижению качества и увеличению потерь электрической энергии, а также ухудшению надежности их работы.

Выполненный анализ позволил сформулировать цель и задачи исследования.

Во второй главе рассматриваются вопросы, связанные с определением уровня и показателей надежности, условий реализуемости конструкционной и функциональной надежности.

Вероятность отказа определяется по формуле

$$q_H = \frac{q_C}{k_y},$$

где k_y – коэффициент технического уровня, q_C – вероятность отказа существующего технического уровня.

Новый технический уровень системы рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов

$$k_y = \frac{1}{4} \left(\frac{tg\varphi_c}{tg\varphi_n} + \frac{Q_c}{Q_n} + \frac{n_{ген.с}}{n_{ген.н}} + \frac{V_{ген.с}}{V_{ген.н}} \right)$$

где $tg\varphi_c, tg\varphi_n$ – отношение активного и реактивного токов для существующего и нового технического уровня; $n_{ген.с}, n_{ген.н}$ – количество работающих генераторов существующего и нового технического уровня; Q_c, Q_n – потери электрической энергии при ее преобразовании в системе рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов существующего и нового технического уровня; V_c, V_n – величина мощности рекуперированной электрической энергией, вырабатываемой двигателями в генераторном режиме работы при торможении.

Условия реализуемости для электромеханических систем механической части конструкционной и функциональной надежности системы

$$\frac{k_{II}^2}{k_M^2 k_0} F_\partial^2 \leq F_H; \frac{t_{дп} T_{Oc}}{T_{онм}} \leq q_{нм};$$

где F_∂ – действующее усилие на элементы системы; F_H – нормативное значение усилия; T_{Oc} – среднее время наработки на отказ существующих систем.

Исходя из структуры взаимосвязанных элементов и устройств системы рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов и равной вероятности отказов по общеизвестным зависимостям структурной надёжности устанавливается требуемая их вероятность отказов $q_{нм} = q_n(\Phi_i)$ и уровень ее показателей (табл.1).

Таблица 1

Показатели надежности	k_y	$q_{нм}$	$P_{нм}$	$\lambda_{нм}, 1/ч$	$t_{нм}, ч$	$T_{онм}, ч$	$t_{дп}, ч$
Механические элементы	2,6	0,0059	0,9941	0,002	2,95	500	1,48
Электрические элементы	2,3	0,0052	0,9948	0,0016	3,25	625	1,36

Показатель надежности	$K_{гнм}$	$k_{ти_{нм}}$	$k_{п}$	k_0	$K_{н}$	k_m
Механические элементы	0,67	0,5	1,38-1,62	0,67	1,54-1,88	0,996
Электрические элементы	0,71	0,6	1,7-1,87	0,69	1,64-1,95	0,996

где k_y – коэффициент технического уровня; $P_{нм}$ – вероятность безотказной работы; $t_{нм}$ – требуемое время безотказной работы; $\lambda_{нм}$ – допустимая интенсивность отказов; $T_{онм}$ – требуемое среднее время наработки на отказ; $t_{дп}$ – допустимое время простоя; $K_{гнм}$ – коэффициент готовности; $k_{ти_{нм}}$ – требуемое значение коэффициента технического использования; $k_{п}$ – коэффициент перегрузки, учитывающий изменение нагрузки от номинальной; $K_{н}$ – коэффициент надежности (запаса) по конструкционному материалу; k_m – коэффициент условий работы, учитывающий изменение нагрузки; k_0 – коэффициент однородности конструкционных материалов электромеханических систем, учитывающий изменение ее механических свойств. Поэтому необходимо установить функциональную зависимость уровня показателей надежности с рациональными параметрами системы рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов.

В третьей главе разработаны электротехнические устройства для повышения эффективности систем рекуперации электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах, математическая модель и параметрический ряд для определения ее рациональных параметров с учетом резервирования универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированного питания.

Разработаны технические решения, в которых рассматривается отдельная задача повышения эффективности, в частности независимой и автономной работы каждой группы приводов, обеспечивающие возврат электроэнергии обратно в сеть, повышение надежности обеспечения рекуперации электрической энергии для индивидуального двигателя, работающего в генераторном режиме работы в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с возможностью питания собственных нужд, коммутация резервированных универсальных накопителей электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с возможностью рекуперации электрической энергии, в комплексе повышение эффективности функционирования обеспечивает электромеханическая система рекуперации электрической энергии с дозированным питанием собственных нужд и резервированием универсальных накопителей электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах (рис.1).

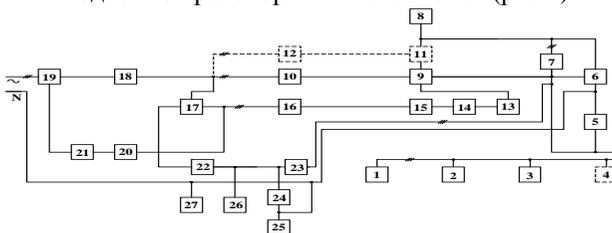


Рис. 1. Электромеханическая система рекуперации электрической энергии с дозированным питанием собственных нужд и резервированием универсальных накопителей электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах

Где 1, 2, 3, 4 – блоки, содержащие исполнительный механизм, редуктор, двигатель, переключающие контакторы, блок максимального реле тока; 5 – блок, содержащий группу автоматических выключателей, группу плавких предохранителей; 6 – блок, содержащий программируемый логический контроллер ПЛК и разъемы; 7 – блок, содержащий группу автоматических выключателей; 8 – блок, включающий группу автоматических выключателей и накопительную установку; 9, 11 – блоки, содержащие коммутирующий дроссель, преобразователь частоты без функции рекуперации электроэнергии, коммутирующий дроссель, группа плавких предохранителей, группа автоматических выключателей; 10 – блок, содержащий группу плавких предохранителей, рубильник; 12, 16 – блоки, содержащий группу плавких предохранителей, группу автоматических выключателей; 13 – блок сглаживающего фильтра; 14 – блок рекуператора электроэнергии; 15 – блок, содержащий коммутирующий дроссель, группу плавких предохранителей, группу автоматических выключателей; 17 – блок задающего устройства; 18 – блок, содержащий фильтр высокочастотных помех, устройство грозозащиты, группу

плавких предохранителей; 19 – блок рубильника; 20 – блок датчика напряжения; 21 – блок контактора; 22 – блок вводного ящика с рубильником и предохранителями; 23 – блок, содержащий группу автоматических выключателей; 24 – блок, содержащий группу плавких предохранителей; 25 – блок управления освещения БУО с разъемами; 26 – блок понижающего трансформатора; 27 – блок заземляющего устройства.

Уравнение механической характеристики электропривода, управляемого по системе генератор-двигатель можно получить с помощью уравнения электрического равновесия для якорной цепи машин

$$e_z - e = i_{я} R_{я\Sigma} + L_{я\Sigma} \frac{di_{я}}{dt},$$

где $R_{я\Sigma} = R_{я\Sigma\partial\partial} + R_{я\Sigma z}$ – суммарное сопротивление якорной цепи в системе генератор-двигатель.

Уравнение механической характеристики в системе генератор-двигатель позволяет рассмотреть взаимосвязь параметров при установившихся режимах работы двигателя в определенных условиях работы

$$(1 + T_{я}p)M = \beta_c(\omega_0 - \omega),$$

где $\beta_c = c^2/R_{я\Sigma}$ – модуль статической жесткости механической характеристики в системе генератор-двигатель.

Для выявления основных динамических свойств системы генератор-двигатель гистерезисом можно пренебречь и для линейного участка $E_z = f(U_{г.з})$ при $\omega_z = const$ линейной на основной части при ненасыщенной магнитной цепи записать следующее

$$k_z \cdot U_{г.з} = (1 + T_z p)e_z$$

где $k_z = E_z/U_{г.з}$ при $\omega_z = const$; T_z – постоянная времени генератора.

Уравнения движения электропривода при $c_{12} = \infty$ запишется в виде

$$i_{я} - \frac{M_c}{c} = \frac{cT_m}{R_{я\Sigma}} p\omega$$

Формирование управляющего воздействия определяется двумя инерционными звеньями с постоянными $T_{м.в.}$ и T_z . Постоянная времени $T_{м.в.}$ очень мала $T_{м.в.} = 0,01 c$, в то время как постоянная времени цепи возбуждения генератора T_z , наоборот очень велика $T_z = 1 \div 3 c$. Поэтому постоянную $T_{м.в.}$ не учитывают, обозначая $k'_z = k_{м.в.} \cdot k_z/c$. Однако, учет постоянной времени $T_{м.в.}$ позволит учесть резервирование универсальных устройств накопления электрической энергии в системе рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмах.

Колебательность электропривода определяется соотношением постоянных времени $m = T_m/T_{я}$, а характер изменения скорости в переходных процессах задается законом изменения $e_z = f(t)$.

Система управления электротехнической системы рекуперации электромеханических подъемно-транспортных механизмов является замкнутой автоматической системой, динамические качества и устойчивость которых рассмотрены с использованием методов теории автоматического управления. С целью упрощения нелинейной системы учитывают только области малых отклонений – линеаризация

На рис.2 приведена функциональная схема системы рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах



Рис.2. Функциональная схема системы рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах

На основе функциональной схемы, разработаны структурные схемы систем рекуперации электроэнергии электромеханических систем с зависимым и независимым исполнением кинематики многодвигательных подъемно-транспортных механизмов (рис. 3, 4).

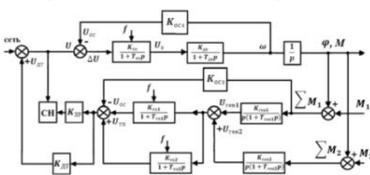


Рис. 3. Структурная схема для системы рекуперации электроэнергии электромеханические система с зависимым исполнением кинематики многодвигательных подъемно-транспортных механизмов

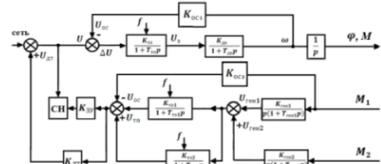


Рис. 4. Структурная схема для системы рекуперации электроэнергии электромеханические система с независимым исполнением кинематики многодвигательных подъемно-транспортных механизмов

Для проведения численного эксперимента разработаны имитационные модели, позволяющие анализировать переходные процессы, протекающие в электромеханической системе и определять ее рациональные параметры (рис.5).

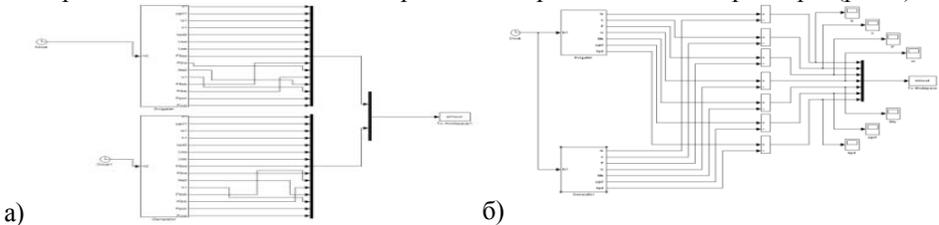


Рис.5. Имитационная модель: а) зависимой и б) независимой электромеханической систем рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов

Разработан параметрический ряд электротехнических устройств систем рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов на основе уровней генерируемой мощности и генерируемого тока, где для каждого ряда определяются их рациональные параметры (табл.2).

$P_{ген}, \text{ кВт}$	$N_{ген}$	χ	$I_{шт}, \text{ А}$	$N_{ген}$	χ	$I_{шт}, \text{ А}$
315	3	0,997	3,38	4	0,998	4,5
250	3	0,996	2,68	4	0,997	3,57
160	3	0,991	1,7	4	0,993	2,29
90	3	0,989	0,96	4	0,991	1,29
45	3	0,985	0,43	4	0,988	0,64
30	3	0,984	0,32	4	0,985	0,43
15	3	0,981	0,16	4	0,982	0,21
3	3	0,975	0,032	4	0,98	0,043

Применение регуляторов P, PI, PID для установленных структурных схем определяют запас устойчивости и оценивают качество регулирования. На рис. 6, 7 представлены результаты моделирования на программе Matlab в пакете Simulink.

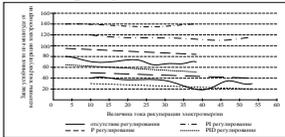


Рис. 6. Зависимость запаса устойчивости по амплитуде от величины тока рекуперации

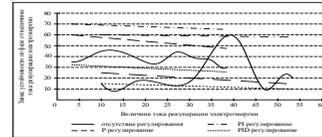


Рис. 7. Зависимость запаса устойчивости по фазе от величины тока рекуперации

Анализ полученных результатов показывает, что при использовании регуляторов P, PI, PID по закону регулирования рациональным является P регулятор.

В четвертой главе проведено планирование эксперимента, разработана физическая модель системы рекуперации электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах.

Планирование эксперимента и предлагаемая методика соответствуют проведению в лабораторных условиях. Проводимые испытания основаны на теории подобия физических процессов и составления критериев подобия, обеспечивающих получение требуемого уровня эффективности функционирования на основе обоснования необходимого объема экспериментальных исследований.

Определим следующие критерии с учетом резервирования универсальных накопителей электрической энергии и дозированного питания к безразмерному виду способом интегральных аналогов.

$$\pi_1 = \frac{i_{sa} \cdot R_s}{u_{sa}}; \pi_2 = \frac{\psi_{sa}}{t \cdot u_{sa}}; \pi_3 = \frac{i_{s\beta} \cdot R_s}{u_{s\beta}}; \pi_4 = \frac{\psi_{s\beta}}{t \cdot u_{s\beta}}; \pi_5 = \frac{-(i_{ra} \cdot R_r)}{\psi_{r\beta}};$$

$$\pi_6 = \frac{-(\psi_{ra})}{t \cdot \psi_{r\beta}}; \pi_7 = \frac{i_{r\beta} \cdot R_r}{\psi_{ra}}; \pi_8 = \frac{\psi_{r\beta}}{t \cdot \psi_{ra}}; \pi_9 = \frac{(-M_c)}{M}; \pi_{10} = \frac{J \cdot \omega}{t \cdot M}; \pi_{11} = \frac{K_{nc}}{K_{ин}}$$

где $i_{sa}, i_{s\beta}$ – составляющие тока статора двигателей, работающих в генераторном режиме; $i_{ra}, i_{r\beta}$ – составляющие тока ротора двигателей, работающих в генераторном режиме; $u_{sa}, u_{s\beta}$ – составляющие напряжения статора двигателей, работающих в генераторном режиме; $\psi_{sa}, \psi_{s\beta}$ – составляющие потокосцепления статора двигателей, работающих в генераторном режиме; $\psi_{ra}, \psi_{r\beta}$ – составляющие потокосцепления ротора двигателей, работающих в генераторном режиме; R_s, R_r – сопротивления в обмотках статора и ротора двигателей, работающих в

генераторном режиме; $\psi_{ra}, \psi_{r\beta}$ – составляющие потокосцепления ротора двигателей, работающих в генераторном режиме; t – составляющая критерия подобия; M – момент на валу генератора; M_c – момент сопротивления, приводящий двигатель в генераторный режим; $K_{ис}, K_{ни}$ – коэффициент надежности существующего и нового технического уровня.

Полученные критерии определяют динамику изменения критериев в зависимости от комбинации применяемых двигателей в генераторном режиме работы системы рекуперации электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах и выбрать рациональный, соответствующий максимальной эффективности и минимальным потерям электроэнергии. Подобная динамика определяет формирование топологии применения системы рекуперации электроэнергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах. Задачей обоснования критериев является определение наиболее оптимального его значения для определенной области применения многодвигательных подъемно-транспортных механизмов с учетом резервирования универсальных накопителей электрической энергии и дозированного питания, получая при этом зависимости параметров, характеризующие процесс работы.

Аппаратура измерительной системы по оценке режима работы системы рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов.

Разработана методика экспериментальных исследований соотношения мощностей электропривода, которая определяет критерии подобия его физической модели в реальной установке (рис. 8, 9), где результаты исследований представлены на рис. 10.

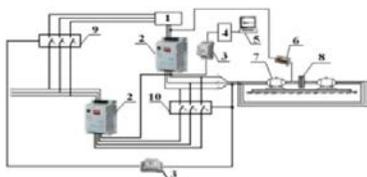


Рис.8. Стенд и аппаратура экспериментальных исследований для зависимых электромеханических систем рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов, 1 – объекты собственных нужд; 2 – преобразователь частоты, содержащий универсальный накопитель электрической энергии; 3 – датчик тока; 4 – обработка на ПК; 5 – ПК; 6 – датчик положения ротора; 7 – двигатель; 8 – муфта; 9 – ключи, срабатывающие на замыкание; 10 – ключи, срабатывающие на размыкание

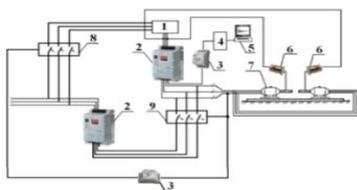


Рис.9. Стенд и аппаратура экспериментальных исследований для независимых электромеханических систем рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов, 1 – объекты собственных нужд; 2 – преобразователь частоты, содержащий универсальный накопитель электрической энергии; 3 – датчик тока; 4 – обработка на ПК; 5 – ПК; 6 – датчик положения ротора; 7 – двигатель; 8 – ключи, срабатывающие на замыкание; 9 – ключи, срабатывающие на размыкание

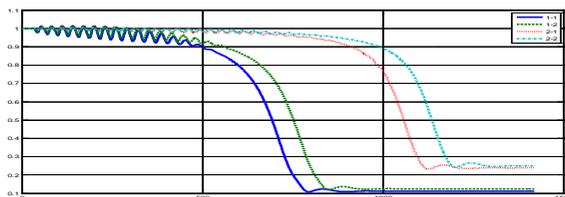


Рис.10. Результаты экспериментальных исследований, касающиеся изменения потерь для 1.1; 2.1 - зависимых электромеханических систем рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов; 1.2; 2.2 - независимых электромеханических систем рекуперации электрической энергии многодвигательных подъемно-транспортных механизмов

Расхождение между теоретическими и экспериментальными исследованиями не превышает 14%, что допустимо в инженерных расчетах.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили правильность результатов теоретических исследований и численного эксперимента показали, что разработанные технические решения повышают эффективность функционирования систем рекуперации электрической энергии электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмов до 25 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой поставлена и решена задача обоснования рациональных структуры и параметров системы рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах, учитывающих взаимное влияние коммутации резервированных преобразователей частоты, содержащих универсальные накопители электрической энергии с управлением системой дозированного питания по максимальной нагрузке с учетом попеременной работы двигателей в генераторном режиме.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

Проведен анализ конструктивных схем и режимов работы электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах, методов моделирования переходных процессов, расчетов их параметров и надежности, и, условий эксплуатации. Установлено, что конструктивное исполнение электромеханических систем многодвигательных подъемно-транспортных механизмов соответствует зависимому и независимому исполнению кинематики.

Разработана математическая модель электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, учитывающая в комплексе характеристики электромеханических и электромагнитных процессов, и, функциональные связи их параметров с уровнем надежности.

Разработана методика расчета рациональных режимных и конструктивных параметров электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием по критерию надежности.

Установлены структура управления режимами коммутации резервированных универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, и, условия реализуемости математической модели системы рекуперации электрической энергии электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмов.

Определены рациональные параметры электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием, и закономерности формирования управляющих воздействий их режимами работы на основе исследования их математической модели.

Разработана имитационная и физическая модель электротехнических систем рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированным питанием с учетом зависимого и независимого конструктивного исполнения их электромеханических систем и критериев подобия.

Проведены численные и экспериментальные исследования при применении технических решений по системе рекуперации электрической энергии в электромеханических многодвигательных подъемно-транспортных механизмах с резервированием универсальных устройств накопления электрической энергии и дозированного питания, в результате чего установлено уменьшение потерь электрической энергии на функционирование системы рекуперации электрической энергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах в среднем на 25%, что позволило повысить КПД до 97%. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований с результатами экспериментальных исследований показало, что расхождение между ними составляет 14 %.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

- 1. Степанов В.М, Кузьмина С.В. Система рекуперации многодвигательных подъемно-транспортных механизмов и машин. Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. ч.4. 262 с., стр. 175 – 177;**
- 2. Степанов В.М, Кузьмина С.В. Устройство рекуперации электроэнергии. Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. ч.5. 107 с. стр. 79 – 80;**

3. Степанов В.М, Котеленко С.В. Анализ технических решений по рекуперации электрической энергии. Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.6: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. ч.1. 292 с., стр.152-158.

4. Степанов В.М, Котеленко С.В. Моделирование режима рекуперации в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах. Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.6: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. ч.1. 292 с., стр.158-165.;

5. Котеленко С.В. Определение топологии структуры системы рекуперации с системой управления рекуперацией, управления дозированного питания электроэнергией и управления дозированного заряда/разряда накопительной установки. Известия ТулГУ. Серия. Технические науки. Вып. 12. Ч. 3. Тула: Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. - 298с., стр.202-207 с.;

6. Котеленко С.В. Определение формирования закона управления рекуперацией электроэнергии, учитывающего в комплексе управление системой дозированного питания и системой дозированного заряда/разряда накопительной установки. Известия ТулГУ. Серия. Технические науки. Вып. 12. Ч. 3. Тула: Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. - 298с., стр.208-217 с.;

7. Степанов В.М., Котеленко С.В. Планирование эксперимента, методика и аппаратура исследования электротехнической системы рекуперации электрической энергии Тула: Издательство ТулГУ, Вып. 12, ч. 2013. – 350 с.

8. Степанов В.М, Котеленко С.В. Моделирование режима рекуперации в подъемно-транспортных механизмах. Вестник ИГЭУ. Вып. №1, Иваново, 2013 г. 116 с., стр. 108-110.

Статьи в сборниках трудов и периодических изданиях

9. Степанов В.М, Кузьмина С.В. Устройство рекуперации электроэнергии: пат. 106236 Российская Федерация. 2011. 2 с, бюл. №19;

10. Степанов В.М, Котеленко С.В. Устройство рекуперации электроэнергии: пат. 120823 Российская Федерация. 2012. 2 с, бюл. №27;

11. Степанов В.М, Котеленко С.В. Устройство рекуперации электроэнергии: пат. 124089 Российская федерация. 2013. 4 с, бюл. №1;

12. Степанов В.М, Котеленко С.В. Устройство рекуперации электроэнергии: пат. 145043 Российская Федерация. 2014. 2с,бюл. №25;

13. Кузьмина С.В. Экономия электроэнергии при рекуперативном торможении. Энергосбережение – Теория и практика: труды Пятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов). М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 430 с. стр. 178-179;

14. Степанов В.М, Кузьмина С.В. Устройство для рекуперации электроэнергии системы электроснабжения при многодвигательных промышленных установках и технологических комплексах. Молодые исследователи – регионам: материалы всероссийской научной конференции. В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – Т.1. – 484 с. стр. 158-160;

15. Степанов В.М, Кузьмина С.В. Расчет режимных параметров регулируемого башенного крана. VI магистерская научно-техническая конференция: доклады статей, часть первая/ под научной редакцией д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 206с., стр. 183-184;
16. Степанов В.М, Котеленко С.В. Применение устройств рекуперации электроэнергии. VII магистерская научно-техническая конференция: доклады статей, часть первая/ под научной редакцией д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 218с, стр. 179-180;
17. Степанов В.М, Котеленко С.В. Анализ устройств энергосбережения. VII магистерская научно-техническая конференция: доклады статей, часть первая/ под научной редакцией д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 218с, стр. 178-179;
18. Степанов В.М, Котеленко С.В. Резервирование в системах рекуперации в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах. Вестник энергосбережения» №1 (01) ноябрь 2012;
19. Степанов В.М, Котеленко С.В. Анализ режима рекуперации в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах. Информационно-аналитический журнал для профессионалов Региональная энергетика и энергосбережение 3/2012;
20. Степанов В.М, Котеленко С.В. Техническое решение рекуперации электроэнергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах. VII региональная молодежная научно-практическая конференция Тульского государственного университета «Молодежные инновации»: сборник докладов / под общей ред. д-ра. техн. наук, проф. Е.А. Ядыкина: в 3 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. Ч. I. 248 с., стр. 154-156;
21. Степанов В.М, Котеленко С.В. Обоснование параметров зависимости величины значения рекуперированной электроэнергии в генераторном режиме в асинхронных двигателях от изменения параметров многодвигательной системы. VII региональная молодежная научно-практическая конференция Тульского государственного университета «Молодежные инновации»: сборник докладов / под общей ред. д-ра. техн. наук, проф. Е.А. Ядыкина: в 3 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. Ч. I. 248 с., стр.157-158.