

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И
ЭКОНОМИКИ ПРИ ГКПЭН КР, КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА,
ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕ**

Диссертационный совет Д. 05.19.590

На правах рукописи
УДК.: 62-503.5:62-135(043.3)

Келебаев Касымбек Кенешович

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТУРБОМЕХАНИЗМАМИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

05.14.02 – электростанции и электроэнергетические системы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

БИШКЕК – 2020

Работа выполнена на кафедре «Электроснабжение»
Жалал-Абадского государственного университета им. Б. Осмонова

- Научный руководитель:** **Бочкарев Игорь Викторович**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Электромеханика»
Кыргызского государственного технического универси-
тета им. И. Раззакова
- Официальные оппоненты:** **Паздерин Андрей Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
- Тохтамов Султан Сапарович**,
кандидат технических наук, доцент,
Кыргызского государственного технического универси-
тета им. И. Раззакова
- Ведущая организация:** Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.
Ельцина 720021. г. Бишкек ул.Киевская,44.

Защита состоится 22 января 2021 года в 17-00 на заседании диссертационного совета Д. 05.19.590 по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук при Научно-исследовательском институте энергетики и экономики при ГКПЭН КР, Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова, Ошском государственном университете по адресу: 720064, г. Бишкек, пр. Чынгыза Айтматова, 66, www.kstu.kg.
Zoom: Идентификатор конференции 737 215 2414 . Код доступа: 058288.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках: Научно-исследовательского института энергетики и экономики при ГКПЭН КР, 720055, г Бишкек, ул. Ахунбаева, 119, www.niiee.kg, Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, г Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, www.kstu.kg, Ошского государственного университета, 723500, г. Ош, ул. Ленина, 331, www.ohsu.kg.
E-mail ДС: ruslan.akparaliev@gmail.com.

Автореферат разослан « 17 » декабря 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 05.19.590,
к.т.н.

Акпаралиев Р.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Тепловые электростанции (ТЭС) являются одним из основных звеньев в электроэнергетике. Несмотря на то, что такие электростанции требуют использования природных ресурсов, запасы которых не восстанавливаются, и при работе загрязняют окружающую среду они имеют широкое распространение. Это объясняется тем, что ТЭС имеет свободу расположения, т.к. необходимое топливо может доставляться практически в любое место. Кроме того, ТЭС, наряду с выработкой электроэнергии, могут поставлять также горячую воду для отопления и непосредственного использования, что имеет важное значение в городском хозяйстве.

Для реализации термодинамических процессов, протекающих на ТЭС, в состав их основного оборудования входит большое число различных турбомеханизмов (питательных, сетевых, циркуляционных, подпиточных, бустерных и других насосов, а также дымососов, дутьевых, мельничных и др. вентиляторов), от качества работы которых зависит работа всех основных узлов ТЭС. Таким образом, надёжная безаварийная работа энергетических блоков ТЭС в значительной степени определяется качеством работы различных турбомеханизмов (ТМ). Система их электропривода обычно рассчитывается на обеспечение работы с максимальной производительностью оборудования. Но поскольку работа ТЭС регулируется с учетом суточных и сезонных графиков нагрузки, то режим максимальной производительности ТМ ТЭС составляет обычно не более 20-25 % от общего времени работы. В результате энергопотребление неуправляемых систем ТМ ТЭС значительно превышает величину, необходимую для обеспечения требуемого технологического процесса. Исходя из этого, на ТЭС необходимо применение энергосберегающих автоматизированных систем управления (ЭАСУ) практически для всех ТМ. Применение ЭАСУ обеспечивает не только экономию электроэнергии, но и улучшение технологических параметров работы ТМ, повышая тем самым эффективности выработки электроэнергии на ТЭС. Очень эффективно применение ЭАСУ ТМ и в системах водо- и теплоснабжения коммунальных хозяйств.

Сегодня проблема энергосбережения в КР становится особенно актуальной, т.к. значительное увеличение потребления электроэнергии осложняет прохождение осенне-зимнего максимума тепловой и электрической нагрузки.

На практике регулирование давления и расхода воды или воздуха в трубопроводе обычно осуществляется с помощью дроссельной задвижки, что решает технологические задачи, но не учитывает энергетику ТМ ТЭС. Применение ЭАСУ позволяет исключить потери энергии, связанные с преодолением сопротивлений гидроаэродинамических регуляторов и снизить потребляемую мощность приводного двигателя ТМ, которая изменяется в кубической зависимости

от частоты вращения. Таким образом, перевод ТМ на ЭАСУ является эффективным путем энергосбережения на ТЭС.

Проведенный анализ показал, что ЭАСУ центробежных механизмов наиболее целесообразно строить на базе асинхронных двигателей двухстороннего питания (АДДП), для регулирования скорости которых используются преобразователи частоты (ПЧ), установленные в цепи роторной обмотки. Требуемая мощность этих преобразователей в 4÷5 раз меньше, чем в обычной системе «ПЧ – асинхронный двигатель», т.к. преобразованию подвергается только мощность роторной цепи. За счет того уменьшается величина потребляемой реактивной мощности ЭАСУ ТМ, причем АДДП может работать в качестве компенсатора реактивной мощности. При этом необходима разработка алгоритмов управления ТМ с АДДП, позволяющих минимизировать потери электроэнергии при регулировании их режимов работы, а также создание методики расчета энергетических показателей ЭАСУ ТМ в целом с учетом реальной формы напряжений и токов. Большое практическое значение имеют также вопросы, связанные с диагностикой технического состояния АДДП в процессе эксплуатации и обеспечения тем самым надежности ЭАСУ ТМ в целом.

Таким образом, комплексное решение вопросов улучшения технико-экономических показателей ЭАСУ ТМ ТЭС имеет важное научное и производственно-хозяйственное значение, что и определяет актуальность темы и поставленных в работе цели и задач.

Связь темы диссертации с государственными программами. Тематика работы определена Законом КР «Об энергосбережении» № 269 от 24.12.2008 г.

Цель работы – Разработка энергосберегающей автоматизированной системы управления турбомеханизмами тепловых электростанций на базе асинхронных двигателей двухстороннего питания, что позволит улучшить технико-экономические показатели технических систем ТЭС, содержащих рабочие органы с центробежной нагрузкой.

Задачи исследования:

1. Провести анализ эксплуатационных режимов работы системы “электро-двигатель – ТМ – трубопровод” и обосновать наиболее перспективный вариант выполнения ЭАСУ ТМ ТЭС.

2. Разработать математические модели основных элементов ЭАСУ ТМ ТЭС, а также математическую модель электромагнитных процессов и методику расчета энергетических параметров ЭАСУ ТМ.

3. Разработать программы расчета функций регулирования АДДП для различных законов управления, предложить и обосновать закон управления АДДП, оптимальный по энергетическим показателям.

4. Провести исследования электромагнитных процессов и энергетических параметров ЭАСУ ТМ при различных законах управления реактивной мощно-

стью и различных способах модуляции выходного напряжения ПЧ с учетом реальных режимов работы ТМ ТЭС.

5. Разработать способы диагностики ЭАСУ ТМ ТЭС, позволяющие производить технический контроль без снятия нагрузки, разработать аппаратную реализацию этих способов и их математические модели, провести экспериментальные исследования этих устройств.

Научная новизна полученных результатов:

– разработаны математические модели основных элементов ЭАСУ ТМ ТЭС и универсальная математическая модель АДДП с использованием спирально – векторной теории электрических машин переменного тока;

– разработаны математические модели электромагнитных процессов, протекающих в ЭАСУ ТМ на базе АДДП, и методики расчета ее энергетических параметров при различных способах модуляции выходного напряжения ПЧ;

– разработаны аналитические соотношения в системах «обмотка ротора АДДП – выпрямитель» и «инвертор – вторичная обмотка разделительного трансформатора» при различных режимах коммутации вентилей выпрямителя и инвертора;

– получено уравнение, связывающее основные параметры системы «обмотка ротора – выпрямитель – инвертор – вторичная обмотка трансформатора», на базе которого предложены аналитические зависимости для расчета механических и регулировочных характеристик ЭАСУ ТМ с учетом параметров АДДП, выпрямителя и инвертора;

– предложен и обоснован способ управления, с точки зрения энергосбережения в рабочем диапазоне ТМ, суть которого заключается в регулировании действующего значения и фазы напряжения, подводимого к ротору АДДП от ПЧ, таким образом, чтобы во всем диапазоне регулирования ток ротора был равен номинальному значению;

– получены аналитические выражения для расчета электромагнитных и энергетических параметров ЭАСУ ТМ на базе АДДП с учетом реальной формы кривой выходного напряжения ПЧ в роторной цепи;

– предложены способы и устройства для технической диагностики АДДП непосредственно в процессе работы без отключения питания. При этом впервые предложена и обоснована идея совместного применения структурных методов и метода функциональных связей между измеряемыми величинами.

Практическая значимость полученных результатов:

– разработаны методики расчета электромагнитных процессов и энергетических показателей ЭАСУ ТМ на базе АДДП;

– разработаны алгоритмы расчета функций регулирования ЭАСУ ТМ при различных законах управления реактивной мощностью;

- выявлено влияние коэффициента трансформации согласующего трансформатора на энергетические характеристики НПЧ в ЭАСУ ТМ на базе АДДП;
- проведены исследования энергетических показателей и пульсации электромагнитного момента при различных способах модуляции выходного напряжения НПЧ и процессах коммутации вентилях на кривую тока ротора;
- разработаны принципиально новые конструкции устройств диагностики приводных электродвигателей ЭАСУ ТМ по их электрическим параметрам.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- математическая модель АДДП с использованием спирально – векторной теории электрических машин переменного тока, которая позволяет провести расчет и анализ статических и динамических электромагнитных процессов при регулировании по цепи ротора;
- математические модели, методики расчета и результаты исследования электромагнитных процессов и энергетических характеристик АДДП при различных законах управления реактивной мощностью и способах модуляции выходного напряжения ПЧ;
- методика и алгоритм расчета функций регулирования закона управления ЭАСУ ТМ, оптимального по энергозатратам;
- методики расчета выходных характеристик ЭАСУ ТМ;
- способы, схемы и конструкции устройств диагностики технического состояния электрооборудования ЭАСУ ТМ ТЭС.

Личный вклад соискателя в получение научных результатов. Все научно-технические результаты получены лично автором под руководством научного руководителя.

Реализация результатов.

1. Результаты диссертационной работы использованы в филиале ОАО «Электрические станции» на ТЭЦ г. Бишкек при разработке системы теплового контроля приводного электродвигателя сетевого насоса типа СЭ-1000.
2. Разработанные вопросы теории, расчета и методов построения ЭАСУ ТМ ТЭС используются в учебном процессе кафедры «Электромеханика» КГТУ в курсе «Автоматизированный электропривод производственных механизмов»

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы обсуждены и доложены на восьми научно-технических конференциях:

- Международная научно-практическая конференция «Университетское образование: состояние и перспективы» (Жалал-Абад, 2003 г.);
- Всероссийская НТК «Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования», (Томск, 25-28 мая, 2010 г.);
- Международная НТК «Проблемы управления и информационных технологий» (Институт автоматики и информационных технологий НАН КР, Бишкек, 21-26 июня 2010 г.);

- шестая Всероссийская НТК с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (Амурский государственный университет, Благовещенск, 25-27 мая, 2011 г.);
- Международная НТК «Энергобезопасность и энергоэффективность: состояние и проблемы» (КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, 22-23 сентября, 2011 г.);
- седьмая Всероссийская НТК с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (Амурский государственный университет, Благовещенск, 29-31 мая, 2013 г.);
- 14 –я Международная НТК «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (Бишкек, КРСУ, 2015 г.);
- Международная НТК «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы» (КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, 23 ноября, 2017 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По результатам выполненных исследований опубликовано 21 печатная работа, в том числе 15 в изданиях, рекомендованных ВАК КР, 6 в иностранных изданиях и 4 в личном авторстве.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и трех приложений, содержит 150 страниц основного текста и 100 рисунков. Список литературы включает 142 наименований на 15 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и научные задачи. Представлены научная новизна и практическая ценность работы. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Отражен уровень апробации работы и объем публикаций полученных результатов.

В первой главе рассмотрена технологическая схема ТЭС и взаимосвязь ее основных узлов, показывающая последовательность протекающих на ТЭС технологических процессов (рис.1). Показано, что в состав основного оборудования ТЭС входит большое число различных вентиляторных и насосных ТМ, от качества работы которых зависит работа всей ТЭС.

Обоснована целесообразность использования для ТМ ТЭС энергосберегающей автоматизированной системы управления. Для этого рассмотрены энергетические соотношения в ЭАСУ ТМ, проведена оценка составляющих баланса мощностей системы “электродвигатель – ТМ – трубопровод”. Получены зависимости и проведены сравнительные исследования потерь мощности при регулировании расхода Q и напора H ТМ путем дросселирования и изменения скорости приводного электродвигателя. Рассмотрены различные варианты ЭАСУ ТМ. Показано, что наиболее адаптированными к центробежной нагрузке являются системы с регулированием мощности скольжения электродвигателей.

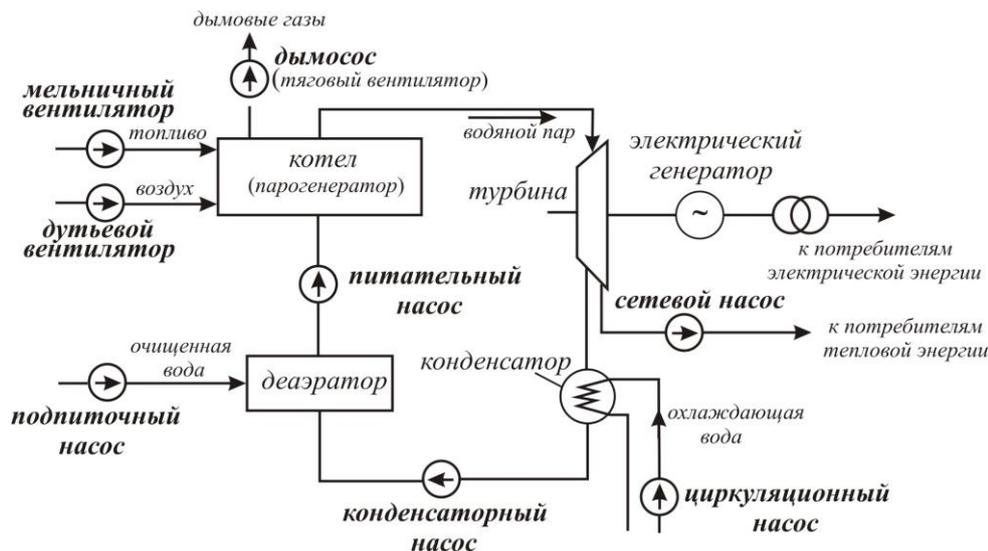


Рис. 1.1. Технологическая схема ТЭС и взаимосвязь ее основных узлов

Установлено, что для мощных нереверсивных ТМ ТЭС наиболее перспективным является вариант ЭАСУ на базе АДДП, что обусловлено высоким КПД, связанным с однократным преобразованием энергии скольжения, уменьшенной мощностью вентиляющего преобразователя, возможностью регулирования реактивной мощности статора. Структурная схема ЭАСУ ТМ на базе АДДП показана на рис. 2.

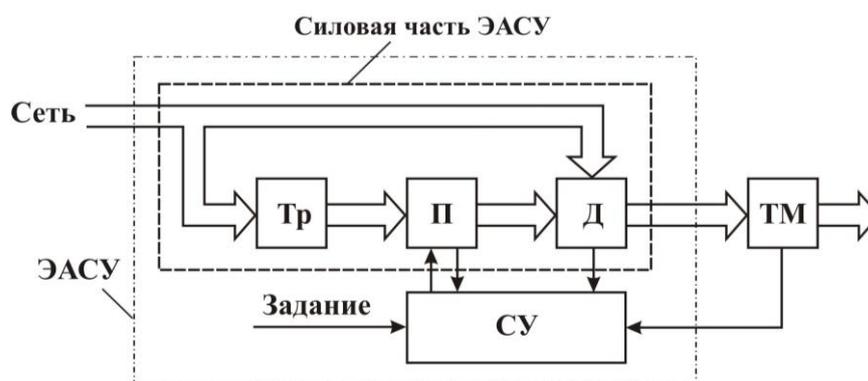


Рис. 2. Структурная схема ЭАСУ ТМ:

П – силовой преобразователь частоты; ТМ – турбомеханизм;
 Д – приводной двигатель; СУ – система управления; ТР – согласующий трансформатор; \rightleftarrows – силовой канал; \longrightarrow – управляющий канал

Получены аналитические выражения для расчета момента на валу АДДП и его мощности скольжения P_s с учетом эксплуатационных параметров ТМ. Показано, что мощность P_s уменьшается с увеличением напора H_c и в рабочем диапазоне регулирования ТМ не превышает 20% номинальной мощности АДДП. Это приводит к снижению искажения токов и напряжений и позволяет использовать для преобразователей в АДДП низковольтные силовые ключи.

Во второй главе разработаны математические модели электромагнитных процессов и методики расчета энергетических параметров ЭАСУ ТМ, выполненной на базе АДДП. Получены аналитические выражения для расчета токов и моментов АДДП в стационарных режимах работы ТМ при *синусоидальном питании ротора*. Показано, что, изменяя по определенному закону амплитуду и фазу напряжения, подводимого к ротору, можно регулировать реактивную мощность статора и ротора при заданном моменте. Предложены аналитические выражения для расчета энергетических параметров преобразователя, питающего роторную цепь АДДП. Показано, что коэффициент трансформации K_T трансформатора ТР влияет на потери и $\cos\varphi$ АДДП и его выбор необходимо осуществлять с учетом этого. Получено оптимальное значение K_T .

Предложен алгоритм расчета суммарных энергетических показателей ЭАСУ ТМ, выполненной на базе АДДП. Показано, что при изменении функций регулирования (амплитуды U_2 и фазы δ напряжения ротора) в АДДП происходит перераспределение токов в статорной и роторной цепях. Тем самым изменяются потери $\Delta P_{\text{пер}}$ и КПД η . Для корректной оценки энергетической эффективности ЭАСУ ТМ на базе АДДП целесообразно применять эквивалентный приведенный КПД, который учитывает соотношение активной мощности P_1 и потребляемой (или генерируемой) реактивной мощности Q_1

$$\eta_{np} = \frac{\eta}{1 + \kappa_3 (tg\varphi - tg\varphi_0)}, \quad (1)$$

где κ_3 – удельные потери, связанные с генерированием 1 квар реактивной мощности, кВт/квар; $tg\varphi_0$ – нормативное значение отношения Q_1/P_1 .

Разработана методика расчета высших гармоник токов, пульсаций электромагнитного момента АДДП и суммарных энергетических показателей с учетом *несинусоидальности напряжения питания ротора* для случаев прямоугольной и широтно-импульсной модуляции выходного напряжения НПЧ. Показано, что при прямоугольной модуляции искажения токов АДДП меньше, чем при частотном управлении, т.к. преобразованию подвергается лишь часть мощности двигателя $P_s = P_1 \cdot s$. Так как величина P_s изменяется в процессе регулирования подачи и напора на выходе ТМ, определять влияние способа модуляции выходного напряжения НПЧ и режима работы АДДП на степень искажения токов предложено при помощи интегральных характеристик – коэффициентов искажения тока статора k_{u1AD} и ротора k_{u2AD}

$$k_{u1AD} = \frac{I_{1(1)}}{\sqrt{I_{1(1)}^2 + \frac{1}{2} \left(k_s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{An}{r_2^2 + \omega_{2\nu}^2 L_r^2 \sigma^2} \right)^2}}; \quad k_{u2AD} = \frac{I_{2(1)}}{\sqrt{I_{2(1)}^2 + \frac{1}{2} \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{An}{r_2^2 + \omega_{2\nu}^2 L_r^2 \sigma^2} \right)^2}}, \quad (2)$$

где $I_{1(1)}$ и $I_{2(1)}$ – первые гармонические составляющие токов статора и ротора; $\omega_{2\nu} L_r$ – индуктивное сопротивление ротора для ν -ой гармонической тока;

$A_n = 4U_{2m}r/\pi(6n \pm 1)$ – для прямоугольной формы напряжения управления; U_{2m} – амплитуда анодного напряжения.

Выходное напряжение НПЧ при широтно – импульсной модуляции переключающих функций групп вентилях (ШИМП) равно

$$U_2 = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_{ex.m} \left[\frac{r}{2} \sin \omega_2 t + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{Pk} \frac{\cos[(Pk \pm 1) \arccos(\frac{r}{2})]}{Pk \pm 1} \sin[Pk\omega_1 + (Pk \pm 1)\omega_2] t \right] \quad (3)$$

где $U_{ex.m}$ – амплитуда входного напряжения; P – пульсность НПЧ; $r = 2\pi U_2 K_T / (3\sqrt{3} U_1)$ – относительный параметр регулирования напряжения; K_T – коэффициент трансформации трансформатора; ω_1, ω_2 – соответственно входная и выходная частота НПЧ.

Представив выходное напряжение НПЧ в виде обобщенного вектора в синхронной системе координат и выделив гармонические составляющие прямой (с частотой $Pk\omega_1 + (Pk + 1)\omega_2$) и обратной (с частотой $Pk\omega_1 + (Pk - 1)\omega_2$) последовательности, получены выражения для расчета токов АДДП при ШИМП.

При ШИМП гармонический состав и значения высших гармонических токов в значительной мере определяются величиной скольжения (частотой вращения рабочего колеса ТМ) и параметрами функций регулирования АДДП.

Для определения влияния несинусоидальности выходного напряжения НПЧ на энергетические показатели привода в целом, проведен расчет интегрального показателя – коэффициента искажения токов во всем диапазоне регулирования скольжения. При ШИМП искажения токов незначительны, значения K_u лежат в пределах $0,990 \div 0,998$ в рабочем диапазоне регулирования ТМ, их влияние на энергетику привода в целом пренебрежимо мало.

За счет несинусоидальности токов при прямоугольной модуляции напряжения u_2 происходит пульсация электромагнитного момента АДДП (рис. 3).

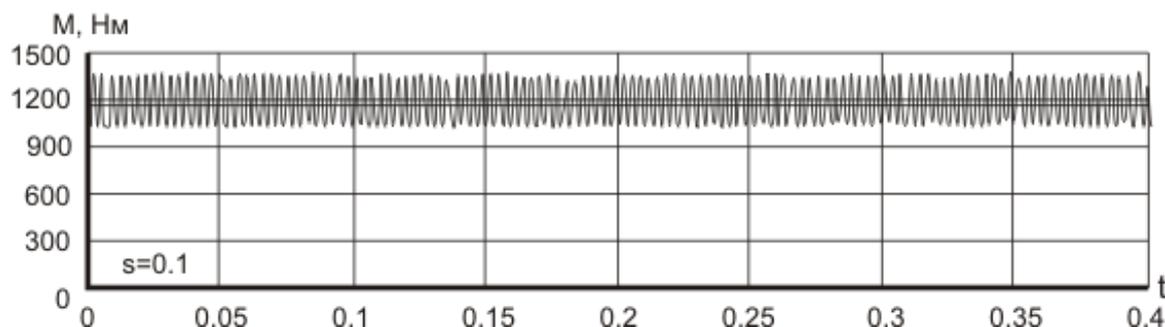


Рис. 3. Пульсации электромагнитного момента АДДП – привода ТМ при широтно - импульсной модуляции напряжения НПЧ

При этом пульсация электромагнитного момента происходит с частотой, значительно превышающей частоту тока ротора, причем с увеличением скольжения амплитуда пульсаций возрастает. Получено, что пульсации электромагнитного момента при ШИМ имеют более сложный гармонический состав, но их частота значительно выше, чем при прямоугольной модуляции.

Показано, что высокочастотные колебания момента компенсируются механической инерцией, создаваемой на валу АДДП рабочими органами ТМ.

Получены аналитические соотношения в системах «обмотка ротора АДДП – неуправляемый выпрямитель» и «обмотка ротора АДДП – управляемый выпрямитель», на базе которых выполнены исследования влияния параметров АДДП и процессов коммутации вентиля на кривую тока ротора.

В работе получено прямое аналитическое соотношение между выпрямленным током ротора I_d и активной составляющей тока обмотки ротора I_{2a} АДДП

$$I_d = I_{2a} \frac{2\pi / \sqrt{6}}{1 \pm \sqrt{1 - \frac{2\pi}{3} x_{k2*} \cdot I_{2a*}}}, \quad (4)$$

где I_{2a*} и x_{k2*} – относительные значения тока ротора и индуктивного сопротивления короткого замыкания, приведенного к обмотке ротора.

Выражение (4) позволяет оценить влияние выпрямленного тока I_{2a} на электромагнитный момент M , т.к. при условии постоянства магнитного потока имеем $M_* = I_{2a*}$, где M_* – момент в относительных единицах.

Проведены аналитические исследования системы «инвертор – вторичная обмотка разделительного трансформатора». В режиме искусственной коммутации вентиля инвертора в номинальном режиме работы двигателя вторичная обмотка трансформатора работает в режиме генератора реактивной мощности. Мощность скольжения непосредственно с этой обмотки передается на ротор, разгружая обмотку статора двигателя от реактивной мощности и от части активной части мощности.

На базе полученного уравнения, связывающего основные параметры системы «обмотка ротора – выпрямитель – инвертор – вторичная обмотка трансформатора», предложены аналитические зависимости для расчета механических и регулировочных характеристик ЭАСУ ТМ с учетом параметров АДДП, выпрямителя и инвертора. Разработаны методики расчета механических и регулировочных характеристик АДДП. Регулировочная характеристика для насосной нагрузки $M_* = \Omega_* \sqrt{\Omega_*}$, связывающая частоту вращения ω , момент, углы открывания вентиля выпрямителя α и инвертора β , представлено уравнением

$$[1 - \Omega_*(1 - S_H)] \cos \alpha - k_{32} \cos \beta - \left[\frac{(1 - \Omega_*(1 - S_H)) x_{k2*}}{\sqrt{6}} + \frac{x_{k3*}}{\sqrt{6}} + \frac{\pi}{3\sqrt{6}} R_{d*} \right] \cdot C_{d\Omega} \cdot \Omega_* \sqrt{\Omega_*} = 0. \quad (5)$$

Как следует из (5), путем изменения углов α и β , может быть получен целый спектр регулировочных характеристик с широким диапазоном регулирования частоты вращения АДДП. На рис. 4 приведены регулировочные характеристики АДДП с неуправляемым и управляемым выпрямителем для предельных значений индуктивного сопротивления короткого замыкания X_{k2*} .

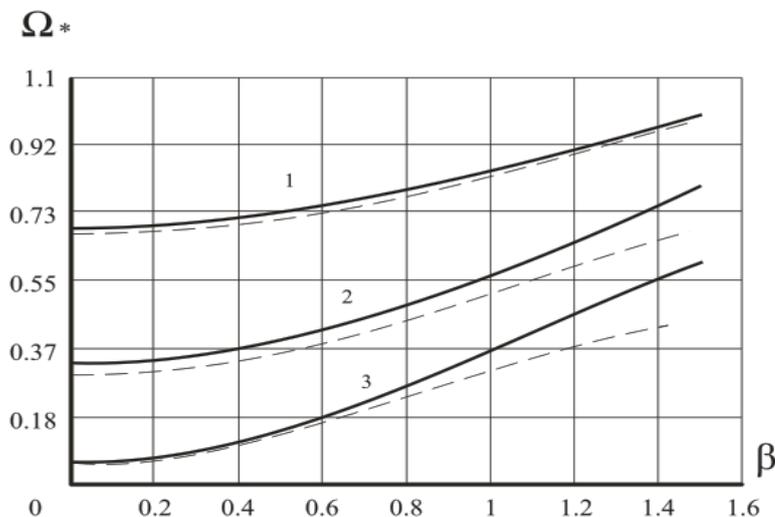


Рис. 4. Регулировочные характеристики привода:

1 - $\alpha = 0$; 2 - $\alpha = \pi/3$; 3 - $\alpha = 1,25$
 ——— - $X_{k2*} = 0,1$; - - - - - - $X_{k2*} = 0,2$

Получено, что параметры обмоток мало влияют на диапазон регулирования частоты вращения, который определяется в основном углами открывания вентилей выпрямителя α и инвертора β , а также коэффициентом отношения ЭДС вторичной обмотки разделительного трансформатора и ЭДС в обмотке неподвижного ротора. АДДП принципиально может работать в различных режимах управления выпрямителем и инвертором. При этом, как показал анализ, по энергетическим показателям наиболее лучшими являются режимы «неуправляемый выпрямитель – инвертор с искусственной коммутацией» и «выпрямитель и инвертор с искусственной коммутацией».

На базе полученных аналитических соотношений выполнена оценка баланса мощностей и возможности регулирования реактивной мощности АДДП.

Предложена универсальная математическая модель АДДП с использованием спирально – векторной теории электрических машин переменного тока, которая позволяет провести расчет и анализ статических и динамических электромагнитных процессов при регулировании АД по цепи ротора. В частности, результаты расчета моментов АДДП при центробежной нагрузке на валу для случаев прямого и плавного пуска показаны на рис. 5.

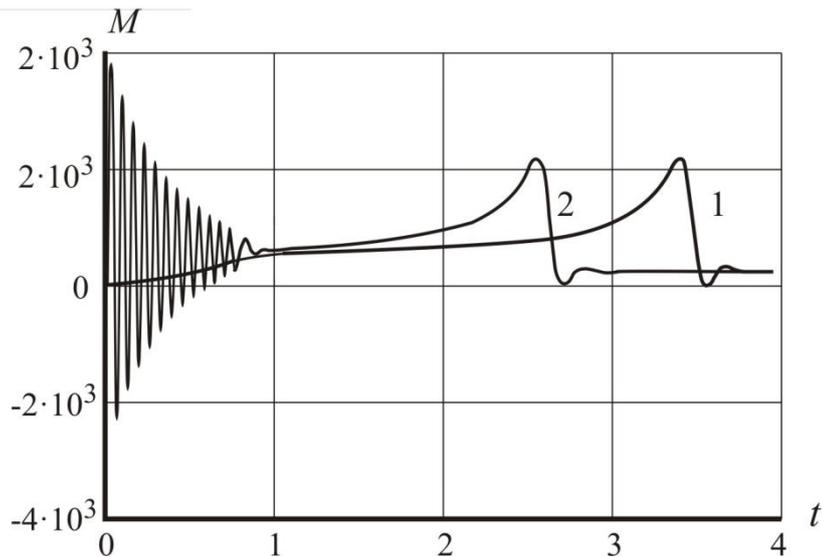


Рис. 5. Моменты АДПП при плавном (1) и прямом (2) пуске

В третьей главе на базе основных уравнений АДПП проведен расчет и анализ различных законов регулирования реактивной мощности ЭАСУ ТМ на базе АДПП. Разработана программа расчета функций регулирования АДПП для трех базовых законов управления, при которых, соответственно, $Q_1 = 0$; $Q_2 = 0$; $\Delta P = \min$, где Q_1 и Q_2 - реактивные мощности, потребляемые со стороны статора и ротора; ΔP - суммарные электрические потери. Предложен новый закон регулирования - при поддержании номинального значения тока ротора $I_2 = I_{2H}$ во всем диапазоне регулирования частоты вращения ТМ. Показано, что при таком регулировании в режиме пониженной производительности, когда АДПП недогружен по моменту, он может работать в режиме компенсатора реактивной мощности. Суть способа заключается в регулировании действующего значения U_2 и фазы δ напряжения, подводимого к ротору двигателя от НПЧ, для обеспечения величины реактивного тока ротора I_{2y} во всем диапазоне регулирования частоты вращения из условия $I_{2y} = \sqrt{I_{2H}^2 - I_{2x}^2}$ (здесь I_{2x} - активная составляющая тока ротора, изменяющаяся при изменении нагрузки). Тогда реактивный ток статора из уравнений электрического равновесия

$$I_{1y} = \frac{r_1 I_{1x} - \omega L_m I_{2y} - U_1}{\omega L_m} \quad (6)$$

где U_1 - напряжение статора; r_1 - активное сопротивление фазы статора; L_m - индуктивность цепи намагничивания; I_{1x} - активный ток статора; ω - угловая скорость вращения ротора.

На рис. 6 и 7 представлены алгоритм расчета функций регулирования и значения токов АДПП при регулировании реактивной мощности привода ЦН по номинальному току ротора. Расчет проведен для двигателя мощностью 200 кВт

и $H_c=0$ в рабочем диапазоне регулирования скольжения ($0,025 < s < 0,4$, что соответствует относительной подаче насоса $1 < Q_{нас} < 0,615$). Видно, что в значительном диапазоне регулирования скорости рабочего колеса насоса, когда двигатель недогружен по моменту, $Q_l > 0$, т.е. статор АДДП выдает реактивную мощность в сеть.

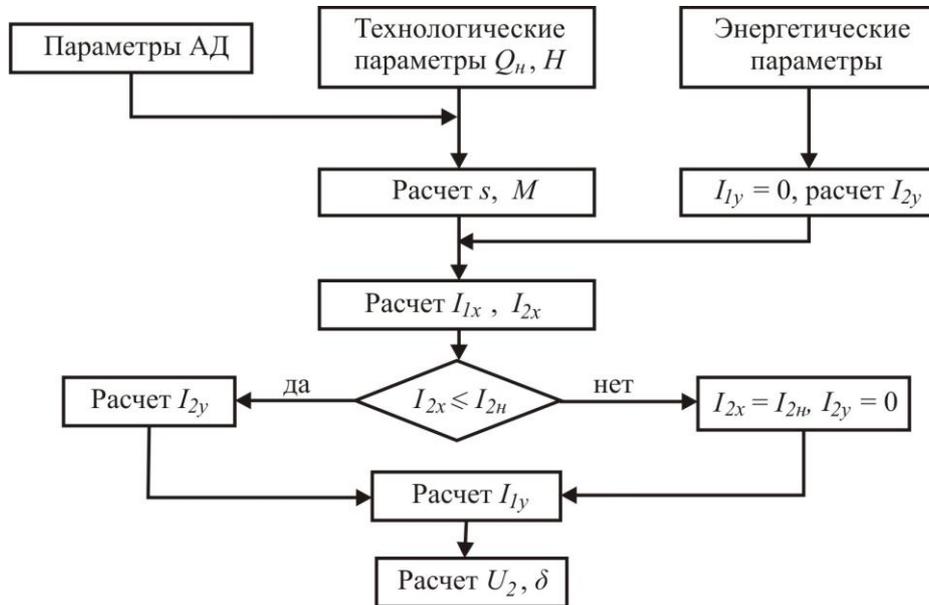


Рис. 6. Алгоритм расчета функций регулирования по закону $I_2 = I_{2n}$

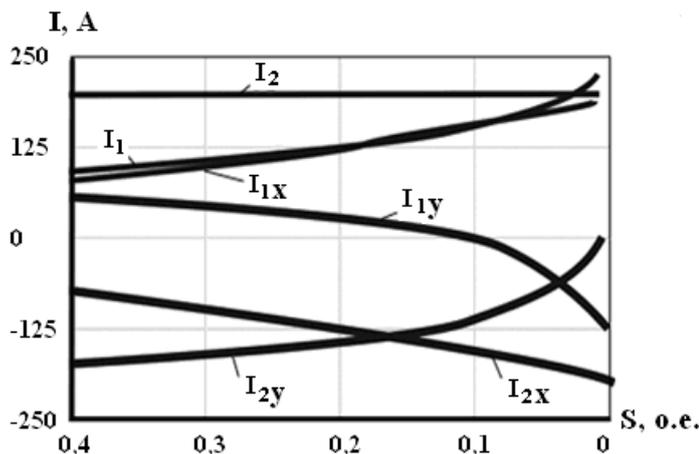


Рис. 7. Токи АДДП - привода ТМ при регулировании по закону $I_2 = I_{2n}$

В главе также произведены расчет и оценка величины реактивной мощности, потребляемой непосредственным преобразователем частоты (НПЧ) в цепи ротора во всех режимах работы ТМ при различных законах управления АДДП. Этот показатель в значительной мере зависит от глубины регулирования величины напряжения r и, следовательно, от степени согласования напряжений сети и НПЧ, которое обеспечивается трансформатором, установленным на входе

НПЧ. Показано влияние коэффициента трансформации трансформатора K_T на энергетические характеристики НПЧ в ЭСАУ ТМ, выполненной на базе АДДП.

Разработана методика расчета энергетических показателей ЭАСУ ТМ, выполненной на базе АДДП. Рассмотренные варианты регулирования реактивной мощности можно подразделить на две группы. В первом случае минимизируется ток ротора с целью снижения потерь в обмотках АД ($\Delta P - min$) или установленной мощности преобразователя в цепи ротора ($Q_2 = 0$). При регулировании по вариантам $I_2 = I_{2н}$, $Q_1 = 0$ значительно (на 60...80%) уменьшается величина потребляемой приводом реактивной мощности. Уровень Q на входе НПЧ незначительно влияет на энергетику привода в целом, так как преобразуется только мощность скольжения двигателя.

Результаты расчета приведенного значения КПД, для различных законов управления ДДП – привода ЦН, показали значительное преимущество регулирования по номинальному значению тока ротора (рис. 4).

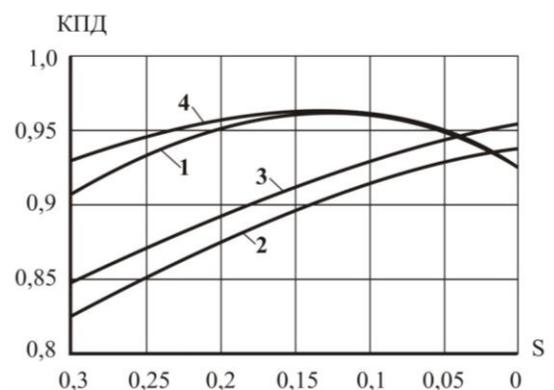


Рис. 4. Приведенный КПД системы АДДП-ТМ для различных законов управления:

- 1 – $Q_1 = 0$; 2 – $Q_2 = 0$;
- 3 – $\Delta P = min$; 4 – $I_2 = I_{2н}$

Проведены исследования энергетических характеристик ЭСАУ ТМ, выполненной на базе АДДП, с учетом несинусоидальности выходного напряжения НПЧ. Показано, что при прямоугольной модуляции $U_{НПЧ}$ и регулировании по $Q_1 = 0$ и $I_2 = I_{2н}$ коэффициент искажения тока статора $k_{u1АД}$ ниже, чем при регулировании по $Q_2 = 0$ и $\Delta P = min$, коэффициент искажения тока ротора $k_{u2АД}$, наоборот, снижается при минимизации реактивной мощности ротора. Потери мощности от высших гармоник тока в АДДП ниже, чем при частотном регулировании, так как преобразованию подвергается только часть мощности, пропорциональная глубине регулирования скорости.

Для определения коэффициента мощности ЭАСУ ТМ, выполненной на базе АДДП, при несинусоидальной модуляции напряжения НПЧ рассчитаны показатели активной, реактивной мощности и мощности искажения первичных цепей АДДП и НПЧ. Проведенные исследования показали, что коэффициент мощности определяется, в основном, законом управления реактивной мощности АДДП и, в меньшей степени, формой модуляции выходного напряжения преобразователя. Получено, что наивысшие значения приведенного КПД и коэф-

коэффициента мощности обеспечивает предложенное в работе регулирование по номинальному значению тока ротора при широтно - импульсной модуляции выходного напряжения НПЧ.

Предложена математическая модель системы "АДДП - ТМ", с помощью которой проведены аналитические исследования ЭАСУ ТМ при различных вариантах управления выпрямителем и инвертором. Получено, что наиболее оптимальным является режим искусственной коммутации и выпрямителя и инвертора, при котором при регулировании частоты вращения АДДП имеется большой выбор режимов управления выпрямителем и инвертором.

Для проверки полученных результатов были проведены экспериментальные исследования ЭАСУ, силовая часть которой выполнена на базе АД с фазным ротором типа АОК2-51-6У3 мощностью 4 кВт, с номинальной частотой вращения 950 об/мин, работающего в режиме двойного питания. Видно, что максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет не более 11 % (см. рис. 7), что позволяет рекомендовать полученные математические модели и рекомендации для практического использования.

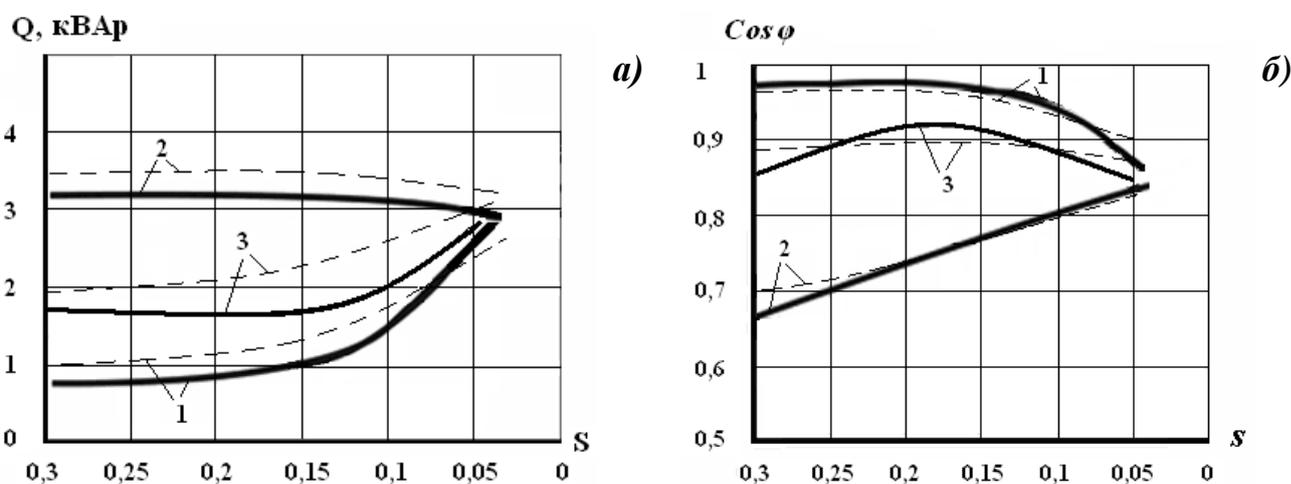


Рис.7. Реактивная потребляемая мощность (а) и коэффициент мощности (б):

$$1 - I_2 = I_{2н}; 2 - \Delta P = \min; 3 - Q_1 = 0;$$

— — — - расчетные кривые; - - - - опытные кривые

Четвертая глава посвящена вопросам диагностики технического состояния ЭАСУ ТМ.

Разработаны новый способ и устройства измерения температуры обмотки статора под нагрузкой без отключения питания и/или снятия нагрузки, которые реализуют метод определения температуры обмотки статора по её электрическому сопротивлению. При этом блок ввода измерительного постоянного тока разработан в двух вариантах – путем формирования измерительный тока из рабочего переменного тока, или при помощи дополнительного оперативного ис-

точника, включенного по специальной схеме. На рис. 8 показана принципиальная блок-схема первого из указанных вариантов.

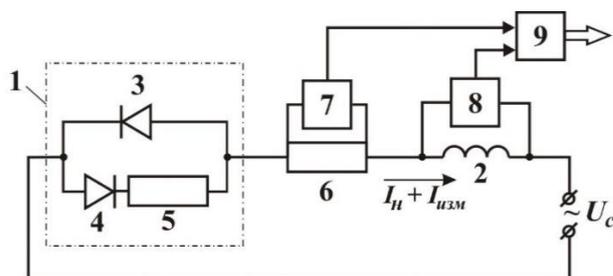


Рис. 8. Принципиальная блок-схема устройства с формированием измерительного постоянного тока из рабочего переменного тока

Предложена методика расчета параметров элементов, входящих в измерительную систему, позволяющая исключить влияние измерительного устройства на режим работы электрооборудования и обеспечить защиту источника постоянного тока от переменного рабочего тока. На базе этой блок-схемы разработано и изготовлено устройство для контроля температуры обмоток АДДП непосредственно в эксплуатационных режимах работы, общий вид которого показан на рис.9. Устройство имеет следующие параметры:

- диапазон измеряемых сопротивлений – от 1 до 20 Ом;
- максимальная погрешность измерений сопротивления – не более 1 %;
- время подготовки рабочего режима - не более 5 с ;
- габаритные размеры - 500 x 500 x 550 мм;
- масса - не более 60 кг.



Рис. 9. Общий вид устройства для измерения температуры

Испытания проводились при различных нагрузках на валу двигателя и, соответственно, при разных температурных режимах. При испытаниях блок измерения подключается к электродвигателю до его пуска, что защищает этот блок от пусковых токов электродвигателя. Проведенные экспериментальные исследования показали высокую точность диагностики температуры разработанного устройства, полностью удовлетворяющую требованиям ГОСТ.

Рассмотрены вопросы диагностики технического состояния приводных электродвигателей переменного тока по электрическим параметрам обмотки статора, а именно, по величине ее активного r_1 и индуктивного x_1 сопротивлений. Впервые предложена и обоснована оригинальная идея совместного применения структурных методов и метода функциональных связей между измеряемыми величинами. Такой подход позволил составить систему соответствующих математических уравнений, интерпретирующей реализуемый измерительный

процесс. Доказано, что разработанный способ позволяет обеспечить достоверность диагностических оценок, а также проводить цифровую обработку и анализ результатов измерений. На рис. 10 приведен схемный вариант аппаратной реализации предлагаемого способа диагностики. Здесь обозначено: 1 – формирователь опорных напряжений для СД 2 и 3; 4 – амплитудный детектор; 5, 6 и 7 – стробируемые АЦП; 8 – электронно-вычислительный блок.

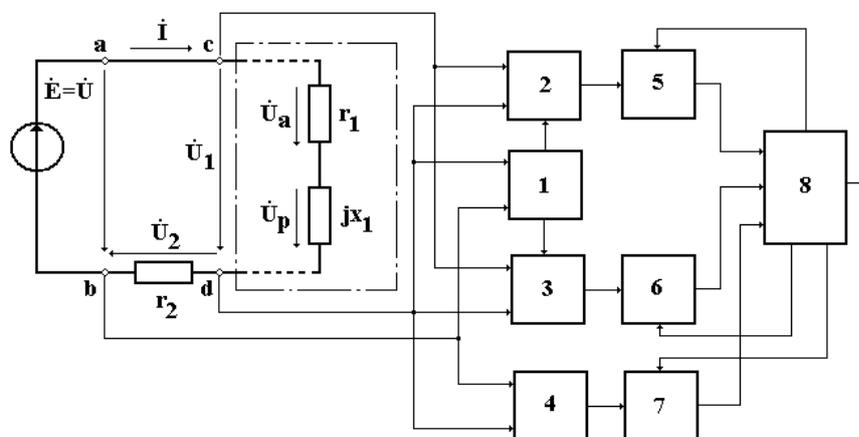


Рис. 10. Блок-схема аппаратной реализации способа диагностики

Проведённые экспериментальные исследования нового способа диагностики подтвердили эффективность предложенного подхода. Сравнение экспериментальных результатов при определении температурных режимов АДДП и результатов, полученных в соответствии с методиками по ГОСТ, показали повышение точности измерения на 12÷15% при существенном упрощении самой процедуры контроля и заметном повышении его оперативности.

В приложении 1 приведен анализ способов регулирования частоты вращения электродвигателей ТМ ТЭС. В приложении 2 предложены аналитические зависимости для расчета напорной характеристики $H(Q)$ и зависимости КПД ТМ $\eta_{TM}(Q)$ в виде полиномов второго и третьего порядка при регулировании расхода. Произведена оценка точности аппроксимации путем использования значения коэффициентов корреляции.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены энергетические соотношения в силовом канале ЭАСУ ТМ ТЭС «электродвигатель – турбомеханизм – трубопровод» и выполнено сравнение различных способов регулирования напора и расхода ТМ. Обоснована структура ЭАСУ ТМ ТЭС. Предложены выражения для расчета механической характеристики ТМ и величины мощности скольжения АДДП.

2. Разработана методика расчета энергетических показателей ЭАСУ ТМ, выполненной на базе АДДП. Получены аналитические выражения для расчета токов и моментов АДДП при синусоидальном питании ротора. Предложены аналитические выражения для расчета энергетических параметров преобразователя частоты, питающего роторную цепь АДДП, и исследовано влияние параметров согласующего трансформатора на потери мощности в АДДП.

3. Разработана методика расчета и проведен анализ энергетических показателей и пульсаций электромагнитного момента АДДП с учетом несинусоидальности напряжения питания ротора для различных способов модуляции выходного напряжения НПЧ. Выполнены исследования влияния параметров АДДП и процессов коммутации вентилях на кривую тока ротора.

4. Получена аналитическая зависимость между активной составляющей обмотки ротора АДДП и выпрямленным током ротора, что позволяет оценить влияние выпрямленного тока на электромагнитный момент. Предложены зависимости для расчета механических и регулировочных характеристик ЭАСУ ТМ, на базе которых выполнена оценка баланса мощностей и возможности регулирования реактивной мощности АДДП.

5. Проведены методика расчета функций регулирования для различных законов регулирования АДДП. Предложен новый способ регулирования АДДП-регулирование при поддержании номинального значения тока ротора $I_2=I_{2н}$ во всем диапазоне частоты вращения ТМ.

6. Проведены исследования показателей энергоэффективности АДДП при различных законах управления реактивной мощностью АДДП и различных формах кривой выходного напряжения НПЧ, подводимого к обмотке ротора. Выполнены расчет и анализ величины реактивной мощности, потребляемой НПЧ в цепи ротора во всех режимах работы ТМ при различных законах управления АДДП.

7. Предложена математическая модель системы "АДДП - ТМ" с учетом напорных, механических и энергетических характеристик ТМ. Проведены исследования регулирования скорости АДДП путем изменения угла управления инвертором.

8. Корректность полученных аналитических выражений и методик расчета подтверждена экспериментальными исследованиями. Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет не более 11 %.

9. Разработаны новый способ и устройства измерения температуры обмотки статора под нагрузкой. Разработано и изготовлено устройство для контроля

температуры обмоток АДДП в эксплуатационных режимах работы, проведены его экспериментальные исследования.

10. Рассмотрены вопросы диагностики технического состояния приводных электродвигателей переменного тока по электрическим параметрам обмотки статора. Впервые предложена и обоснована оригинальная идея совместного применения структурных методов и метода функциональных связей между измеряемыми величинами. Предложен схемный вариант аппаратной реализации предлагаемого способа диагностики.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. **Келебаев К.К.** Анализ систем электропривода центробежных механизмов [Текст] / М.А. Мустафин, К.К. Келебаев, Ш.А. Атаконов // Сб. научных трудов А и ЭС. - Алматы, 2002. – С. 46 - 48.

2. **Келебаев К.К.** Исследования системы регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / Ш.А. Атаконов, К.К. Келебаев // Мат-лы Международной научно-практической конф.: Жалал-Абад, 2003. – С. 193 - 195.

3. **Келебаев К.К.** Пути экономии электроэнергии в насосных установках [Текст] / К.К. Келебаев // Известия КГТУ. – 2009. – № 19. – С. 34 – 37.

4. **Келебаев К.К.** Исследование электромагнитных процессов в электроприводе с машиной двойного питания для центробежных насосов [Текст] / К.К. Келебаев // Известия КГТУ. – 2009. – № 19. – С. 38- 42.

5. **Келебаев К.К.** Энергетические характеристики машины двойного питания привода центробежных насосов [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Проблемы автоматизации и управления: Научно-техн. журнал / НАН КР. – Б.: Илим. – 2010. – С.149-153.

6. **Келебаев К.К.** Разработка энергосберегающего электропривода для центробежных насосов [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Мат-лы Всероссийской НТК. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2010. – С. 238-240.

7. **Келебаев К.К.** Расчет тока двигателя двойного питания для электропривода систем водо- и газоснабжения с учетом несинусоидальности напряжения ротора [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Известия КРСУ. – 2010. – Том 10, №10. – С. 150-153.

8. **Келебаев К.К.** Электромагнитные коммутационные процессы в асинхронном вентильном двигателе с искусственной коммутацией тока в инверторе и выпрямителе [Текст] / К.К. Келебаев // Известия КГТУ. – 2010. – № 21. – С.64-67.

9. **Келебаев К.К.** Расчет энергетических показателей энергосберегающего привода центробежных насосов при различных законах регулирования [Текст] /

И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов шестой Всероссийской НТК с международным участием. – Благовещенск: Изд-во Амурского государственного университета – 2011. – Т1. – С. 339-343.

10. **Келебаев К.К.** Регулируемый электропривод как основа энергосбережения в области электроэнергетики [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев, Е.В. Хворостьяная // Известия КГТУ, 2011, № 25. – С. 113- 117.

11. **Келебаев К.К.** Математическая модель системы и характеристики "асинхронный вентильный двигатель – центробежный насос" [Текст] / К.К. Келебаев // Известия КРСУ. – 2011. – Том 11, № 11. – С. 84-89.

12. **Келебаев К.К.** Асинхронный вентильный двигатель с питанием обмотки ротора от неуправляемого выпрямителя [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Известия КРСУ. – 2011. – Том 11, № 11. – С. 89-94.

13. **Келебаев К.К.** Разработка силовой части энергосберегающей системы управления турбомеханизмами ТЭС на базе машины двойного питания [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов седьмой Всероссийской НТК с международным участием. – Благовещенск: Изд-во Амурского государственного университета. – 2013. – С. 478-481

14. **Келебаев К.К.** Исследование приводного асинхронного двигателя с двухсторонним питанием для турбомеханизмов ТЭС [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Известия КГТУ. – 2014, № 32. – С. 282- 285.

15. **Келебаев К.К.** Разработка оптимального по энергозатратам закона управления асинхронного двигателя с двухсторонним питанием для турбомеханизмов ТЭС [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Вестник КРСУ. – 2016. – Том 16, № 1. – С. 124-126.

16. **Келебаев К.К.** Энергетические параметры силовой части энергосберегающей системы управления турбомеханизмами ТЭС [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев, М.Г. Гунина // Вестник КРСУ. – 2016. – Том 16, № 1. – С. 127-129.

17. **Келебаев К.К.** Аналитическое описание нелинейных характеристик механизмов центробежного действия [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Проблемы автоматики и управления: Научно-техн. журнал НАН КР. – Б.: Илим, 2017. № 1 (32). С. 60-63.

18. **Келебаев К.К.** Математическая модель асинхронных электродвигателей двухстороннего питания [Текст] / И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Вестник КРСУ. – 2017. – Том 17, № 8. – С. 36-40.

19. **Келебаев К.К.** Диагностика параметров электрических машин переменного тока [Текст] / И.В. Брякин, И.В. Бочкарев, К.К. Келебаев // Электротехни-

ческие системы и комплексы: Научно-техн. журнал. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ», 2017. № 4 (37). С. 38–44.

20. **Келебаев К.К.** Диагностика теплового состояния электрических машин силового электрооборудования ТЭС [Текст] / И.В. Бочкарев, Ж.Т. Галбаев, К.К. Келебаев // Известия КГТУ, 2017, №4 (44), С. 64-72.

21. **Келебаев К.К.** Контроль температуры обмоток и защита от перегрева электрических машин переменного тока [Текст] / И.В. Брякин, И.В. Бочкарев, Багиев Х.Г., К.К. Келебаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2019. Том. 19, №1. С. 75–84.

РЕЗЮМЕ

Келебаев Касымбека Кенешовичтин «Энергияны уномдоогон турбомеханизмдуу жылуулук электр чордондорунун автоматташкан тутумун иштеп чыгуу» диссертациялык иши 05.14.02 электр чордондорун жана электр энергетикалык тармактары кесипчилиги боюнча техникалык илиминин кандидатыгына корсотулгон

Негизги сөздөр: энергетиканы үнөмдөө, турбомеханизм, борбор четтик жүк, эки жактан азыктануучу машина, жыштыкты тике жөнгө салгыч, чыналуунун модуляциясы, электр агынын өзгөрткүчтө жана түзөткүчтө жасалма байланыштыруу, диагностикалоо.

Аталган илимий иш: энергия үнөмдөөнүн жана турбомеханизмдүү электр чордондорун автоматташкан тутумун иштеп чыгууга арналган.

Иштин максаты: жылуулук электр чордондорунун турбомеханизмдеринин техника- экономикалык көрсөткүчтөрүн эки азыктандыруучу тутуму бар машиналарды колдонуу менен алардын иштөө тартибин автоматтык башкаруу аркылуу жакшыртуу болуп эсептелет.

Иштин жыйынтыгы болуп төмөнкүлөр эсептелет: эки азыктандыруучу тутуму бар машиналардын негизинде жылуулук электр чордондорунун турбомеханизмдеринин энергия үнөмдөөчү автоматтык башкаруу тармагын иштеп чыгуу, ар кыл турбомеханизмдерди иштеп чыгууда энергетиканы аз талап кылган бирдиктүү ыкмаларын жана алгоритмин иштеп чыгуу, энергияны үнөмдөөчү башкаруу тармагынын күч келүүчү бөлүгү үчүн жаны түзүлүшөтөгү вентилдик кыймылдаткычын иштеп чыгуу, анын энергетикалык мүнөздөмөлөрүн изилдөөнү жүргүзүү, мындан сырткары «асинхрондуу вентилдик кыймылдаткычты- сор кыскычтын» математикалык моделин иштеп чыгуу.

Алынган жыйынтыктар: ар турдуу технологиялык жараяндардын энергоэффективлуугун, экономдүүлүгүн жана алардын ишенимдүүлүгүн артырууда талапка жооп берген ар түрдүү турбомеханизмдүү жылуулук электр чордондорун автоматташкан тармагын иштеп чыгууда кенири колдонулуусу мумкун.

Жыйынтыктарды ишке ашыруу.

ЭҮБАС ТМ ЖЭЧ куруудагы теориянын, эсептөөнүн жаны ыкмалардын иштелип чыккан маселелери КМТУнун “Электромеханика” кафедрасынын окуу процессинде “Өндүрүштүк механизмдерди автоматташтырылган электр кыймылга келтиргичи” курсунда колдонулат.

Иштин жыйынтыктары жана экономикалык эффективтүүлүгү:

“Электр чордондору” ААК филиалында Бишкек ЖЭБинде СЭ-1000 типтүү түйүндүк насосту кыймылга келтирүүчү электр кыймылдаткычынын жылуулугун текшерүүдө колдонулган.

Колдонуу чөйрөсү: ЖЭБтин ар түрдүү турбомеханизмдерин диагностикалоо жана автоматташтуру тутуму.

РЕЗЮМЕ

**диссертации Келебаева Касымбека Кенешовича на тему:
«Разработка энергосберегающей автоматизированной
системы управления турбомеханизмами тепловых электростанций»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.02 электростанции и
электроэнергетические системы**

Ключевые слова: энергосбережение, турбомеханизм, асинхронный двигатель с двухсторонним питанием, непосредственный преобразователь частоты, модуляция напряжения, диагностика.

Объект исследования: энергосберегающей автоматизированной системы управления турбомеханизмами тепловых электростанций (ЭАСУ ТМ ТЭС).

Предмет исследования: основные элементы ЭАСУ ТМ ТЭС, а также математические модели электромагнитных процессов и методики расчета энергетических параметров и диагностика ЭАСУ ТМ.

Цель диссертационной работы: разработка автоматизированной энергосберегающей системы управления турбомеханизмами ТЭС на базе асинхронных двигателей двухстороннего питания, что позволит улучшить технико-экономические показатели технических систем ТЭС.

Полученные результаты и их новизна: разработана ЭАСУ ТМ ТЭС на базе асинхронного двигателя с двухсторонним питанием (АДДП), разработаны алгоритмы оптимальных по энергозатратам законов управления при работе системы на различные турбомеханизмы, разработана математическая модель системы управления "АДДП- насос", разработана универсальная математическая модель АДДП с использованием спирально – векторной теории электрических машин переменного тока, которая позволяет провести расчет и анализ статических и динамических электромагнитных процессов при регулировании по цепи ротора, а также разработаны новые способы диагностики силовой части ЭАСУ ТМ ТЭС, позволяющих производить технический контроль без снятия нагрузки.

Степень использования: разработанные вопросы теории, расчета и диагностики ЭАСУ ТМ ТЭС используются в учебном процессе КГТУ им. И. Раззакова.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты исследований использованы в филиале ОАО «Электрические станции» на ТЭЦ г. Бишкек при разработке системы теплового контроля приводного электродвигателя сетевого насоса типа СЭ-1000.

Область применения: системы автоматизации и диагностики различных турбомеханизмов ТЭС.

SUMMARY

**dissertation by Kelebaev Kasymbek Keneshovich on the topic:
"Development of energy-saving automated control systems
for turbine mechanisms of thermal power plants ",
submitted for the degree of candidate of technical sciences
in specialty 05.14.02 power plants and electric power systems**

Key words: energy saving, turbo mechanism, asynchronous motor with two-way power supply, direct frequency converter, voltage modulation, diagnostics.

Object of research: power section of an automated energy-saving control system for turbine mechanisms of thermal power plants (ESACS TM TPP).

Subject of research: the main elements of ESACS TM TPP, as well as mathematical models of electromagnetic processes and methods for calculating energy parameters and diagnostics of ESACS TM.

The purpose of the dissertation work: development of an automated energy-saving control system for turbine mechanisms of TPPs based on asynchronous motors

of two-way power supply, which will improve the technical and economic indicators of technical systems of TPPs.

The results obtained and their novelty: the ESACS TM TPP was developed on the basis of an asynchronous motor with two-way power supply (ADTS), algorithms for optimal energy consumption control laws were developed for the operation of the system on various turbo mechanisms, a mathematical model of the "ADTS-pump" control system was developed, a universal mathematical model of ADTS using the spiral-vector theory of AC electric machines, which makes it possible to calculate and analyze static and dynamic electromagnetic processes when regulating along the rotor circuit, and also developed new methods for diagnostics of the power section of the ESACS TM TPP, allowing perform technical control without removing the load.

Degree of use: the developed questions of theory, calculation and diagnostics of ESACS TM TPP are used in the educational process of KSTU named after I. Razza-kov.

Extent of Adoption and Economic Efficiency: the results of the work were used in the branch office of "Electric Stations" OJSC Bishkek city during modernization of thermal control system for the drive motor of the SE-1000 network pump.

Scope: automation and diagnostics systems for various turbine mechanisms of thermal power plants.