Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Кобозев Дмитрий Андреевич

Повышение энергоэффективности системы управления питательными насосами ТЭЦ

Направление подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2024

Никитина
Елена Николаевна
Проверено
25.06.2024 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель	Доктор технических наук, профессор Соловьев Вячеслав Алексеевич
Рецензент	Кандидат технических наук, Доцент кафедры «электроника и электромеханика», ФГБОУ ВО «ДВГУПС» Малышева Ольга Александровна

Защита состоится «20» июня 2024 года в 9 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан __ июня 2024 г.

Секретарь ГЭК А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Для повышения точности подачи воды и экономии расхода воды в последние годы используют в системе управления питательным насосом замкнутый регулируемый электрический привод. Как правило данный вид системы управления реализуется на основе частотного регулируемого электрического привода.

Включение в систему частотного преобразователя для управления насосами улучшает качество работы ПЭН и повышает плавность и точность регулирования подачей воды и заметно экономит денежные средства на обслуживание и ремонт как электродвигателя, так и приводного механизма

Преобразователи частоты (ПЧ) предназначены для преобразования переменного напряжения одной частоты в переменное напряжение другой частоты.

Высоковольтные преобразователи частоты электродвигателей серии ВПЧА применяются для работы в комплекте с асинхронными электродвигателями для обеспечения энергоэффективности за счет плавного пуска и регулирования частоты вращения.

1) при использовании преобразователей частоты достигается плавность пуска электродвигателя, как следствие достигается увеличение срока службы насосного агрегата;

2) значительное снижение эксплуатационных расходов на производство ремонтов агрегата, за счет увеличения межремонтных периодов;

3) реализация ЧРП с поддержанием заданных параметров оборудования позволяет обеспечить значительную экономию электроэнергии.

Недостатком преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения является относительно низкое КПД по сравнению с

преобразователем частоты с непосредственной связью, сравнительно высокая стоимость особенно для высоковольтных систем электрических приводов и сравнительно низкая надежность.

Достоинства НПЧ определяются его относительно простой конструкцией. К ним относятся:

1) реализация частотно-регулируемого электропривода, как правило, на базе асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором;

2) при использовании преобразователей частоты достигается плавность пуска электродвигателя с исключением ударных и электродинамических нагрузок в обмотке статора этого электродвигателя. Как следствие достигается увеличение срока службы насосного агрегата;

3) значительное снижение эксплуатационных расходов на производство ремонтов агрегата, за счет увеличения межремонтных периодов;

4) реализация ЧРП с поддержанием заданных параметров оборудования позволяет обеспечить значительную экономию электроэнергии.

Непосредственный преобразователь частоты отличает простота структуры, в его основе лежит реверсивный тиристорный преобразователь постоянного напряжения.

Существующий на данный момент принцип реализации системы подачи питательной воды связан с использованием преобразователя частоты с широким диапазоном регулирования по схеме ПЧ АИ и основной недостаток данного класса преобразователей частоты является высокая стоимость при реализации его на высокое напряжение и сравнительно низкая надежность в ходе эксплуатации.

Вторым недостатком такого класса преобразователей является относительно низкий КПД, а учитывая, что система подачи питательной воды на базе управляемого электрического привода не требует высокой

точности поддержки давления и тот факт, что одновременная работа двух насосов осуществляется эпизодически.

Целью данной работы является моделирование и исследование системы регулирования скорости вращения роторов электродвигателей насосов подачи питательной воды в котел разными системами частотного управления.

Основные задачи магистерской диссертации заключаются в реализации замены одного из двух одинаковых частотно-регулируемых электрических приводов насосов, реализованных на базе высоковольтных ПЧ-АИ на один из регулируемых приводов по схеме НПЧ АД, без изменений работы насосов ПЭН на общую магистраль подачи воды, по структуре грубого и точного регулирования.

При этом контур грубого регулирования реализовать на основе электрического привода НПЧ, а точного регулирования на основе ПЧ АИ.

Такое построение системы обеспечит снижение электрического потребления в системе. В силу того, что основная масса перекачиваемой воды будет «пропускаться» через канал грубого регулирования, а КПД НПЧ отличается более высоким значением по сравнению с КПД ПЧ АИ, то через канал точного регулирования будет прокачиваться небольшая составляющая от общей массы питательной воды, определяемая ошибкой в поддержании давления в канале грубого регулирования. Это приведет к тому, что суммарные потери в системе регулирования будут меньше чем в случае прокачки воды через частотный регулируемый электрический привод насоса по схеме ПЧ АИ при сохранении той же самой точности поддержки давления.

Характеристика объекта и предмета исследования. Объектом исследования системы регулирования скорости вращения роторов электродвигателей насосов подачи питательной воды в котел разными системами частотного управления. Предметом исследования представляются процедуры и законы управления, реализуемые такой интеллектуальной системой.

Научную новизну в данной работе можно определить как изменение

уже существующей системы частотного управления двигателями питательных электронасосов, установленных на Комсомольской ТЭЦ-3 без изменений работы питательных электронасосов на общую магистраль подачи воды, для повышения экономической составляющей системы за счет того, что частотный преобразователь с непосредственной связью менее дорогостоящий по сравнению с частотным преобразователем с автономным инвертором, а так же за счет того, что КПД частотного преобразователя с непосредственной связью так же имеет более высокое значение.

Практическая значимость подтверждается участием в различных международных и всероссийских научно-практических конференциях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении произведен обзор современных электроприводов, выявлены основные проблемы разработки электроприводов.

В первой главе рассмотрены основные технические решения при реализации системы регулирования скорости ротора двигателей питательных насосов, поставлены основные цели и задачи, произведен выбор типа электропривода питательного насоса, предлагалось установить регулируемый электропривод на основе частотного преобразователя с электродвигателем с короткозамкнутым ротором типа 4АЗМ.

В качестве частотного регулирования двигателей питательных электронасосов были рассмотрены системы на основе преобразователя частоты с непосредственной связью и на основе преобразователя частоты с автономным инвертором, были выявлены их достоинства и недостатки.

Во второй главе произведена разработка системы электропривода питательного электронасоса, был произведен выбор двигателя серии 4АЗМ исходя из номинальных параметров насоса, так же был произведен выбор преобразователя частоты с автономным инвертором ВПЧА-$Т_с$-6-0.6/500-Р-УХЛ4 напряжением 6 кВ и преобразователь частоты с непосредственной

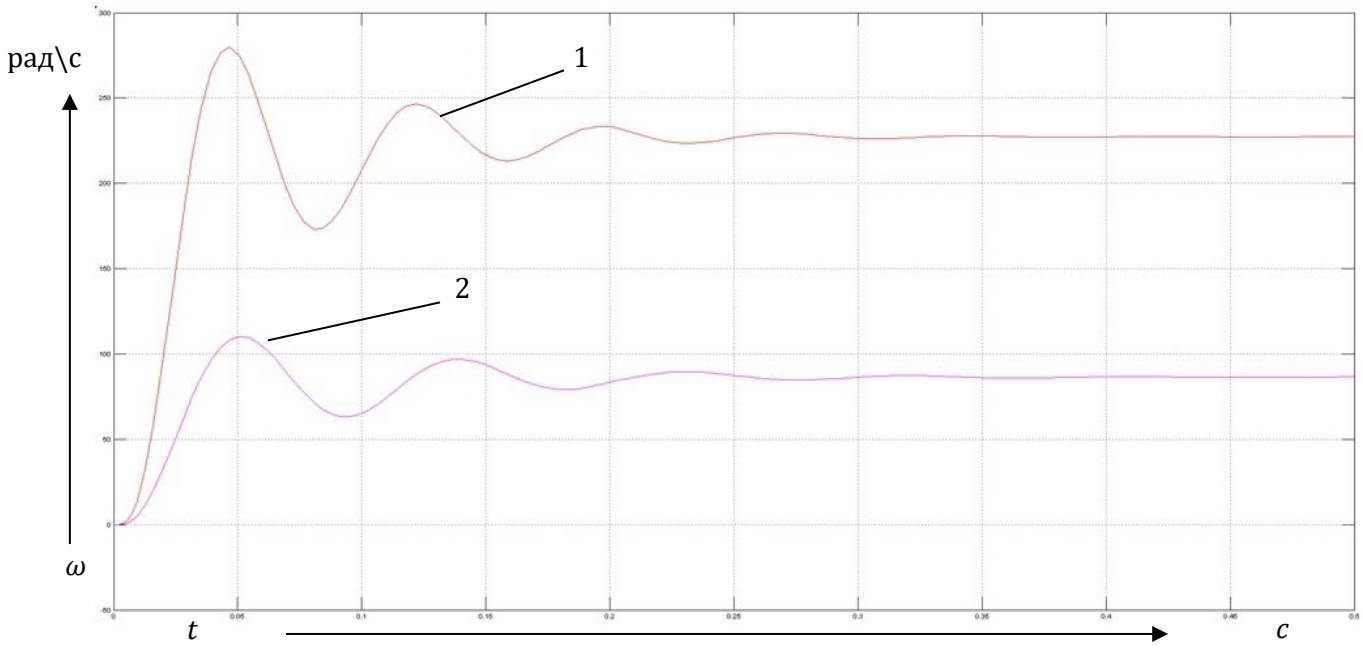
связью ACS 5060-36L12L-1a12-W2 напряжением 6 кВ. В качестве контроля и управления был выбран программируемый логический контроллер для средних систем автоматизации ОВЕН ПЛК-160

Был произведен расчет основных параметров электропривода с непосредственным преобразователем частоты, где заданный коэффициент загрузки был равен 0.7, а также расчет в системе с преобразователем частоты с автономным инвертором, где заданный коэффициент загрузки был равен 0.28.

В третьей главе производится расчет динамических режимов системы управления электроприводом переменного тока. Сложность реализации интеллектуальной системы управления для электропривода переменного тока обусловлена наличием ряда проблем, связанных с наличием большого числа контуров регулирования системы, порядком объекта регулирования и количеством перекрестных связей. В качестве объекта регулирования будет использована математическая модель электропривода переменного тока на базе асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

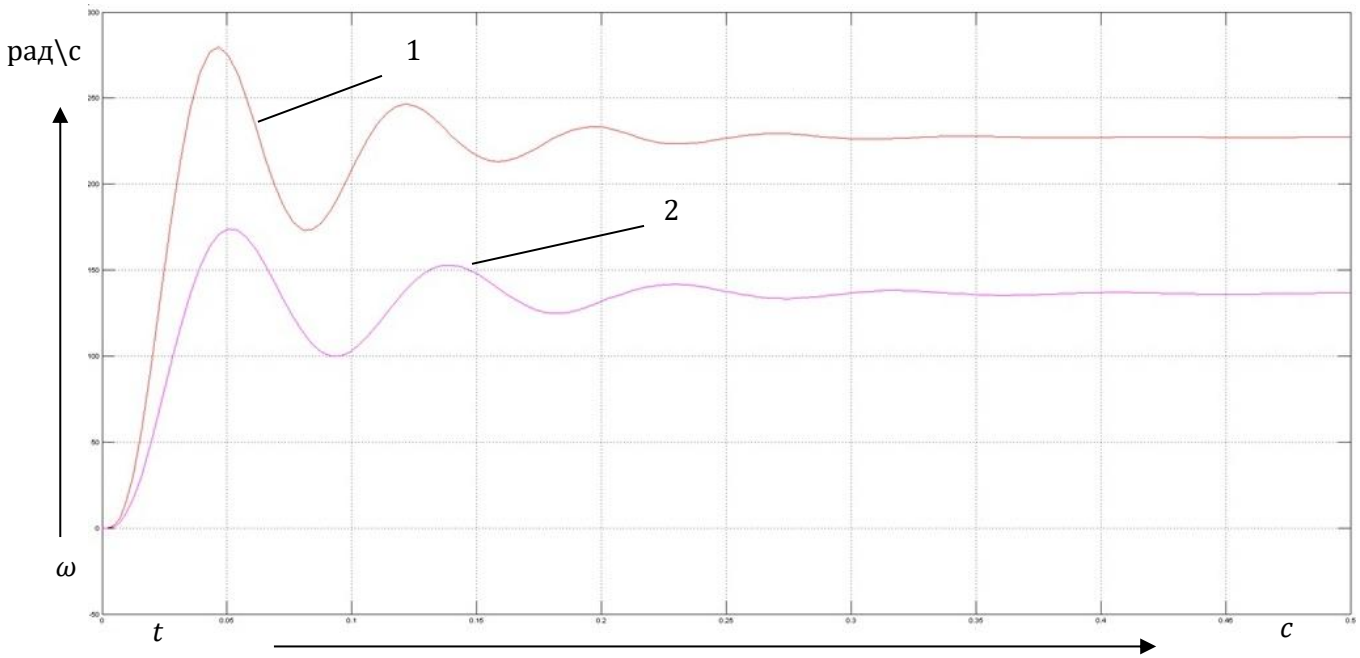
Моделирование интеллектуальной системы выполняется с применением настройки регулятора скорости, тока и расхода для системы управления на основе преобразователя частоты с непосредственной связью и для преобразователя частоты с автономным инвертором. Результаты моделирования указывают на правомерность применения метода мягких вычислений при реализации модели нечеткой системы управления электроприводом переменного тока.

Произведено построение двухканальной структурной схемы исследуемого электропривода, реализованной на базе высоковольтных ПЧ-АИ на один из регулируемых приводов по схеме НПЧ АД, без изменений работы насосов ПЭН на общую магистраль подачи воды, по структуре грубого и точного регулирования. В результате моделирования системы был получен график переходного процесса по скорости и расходу.



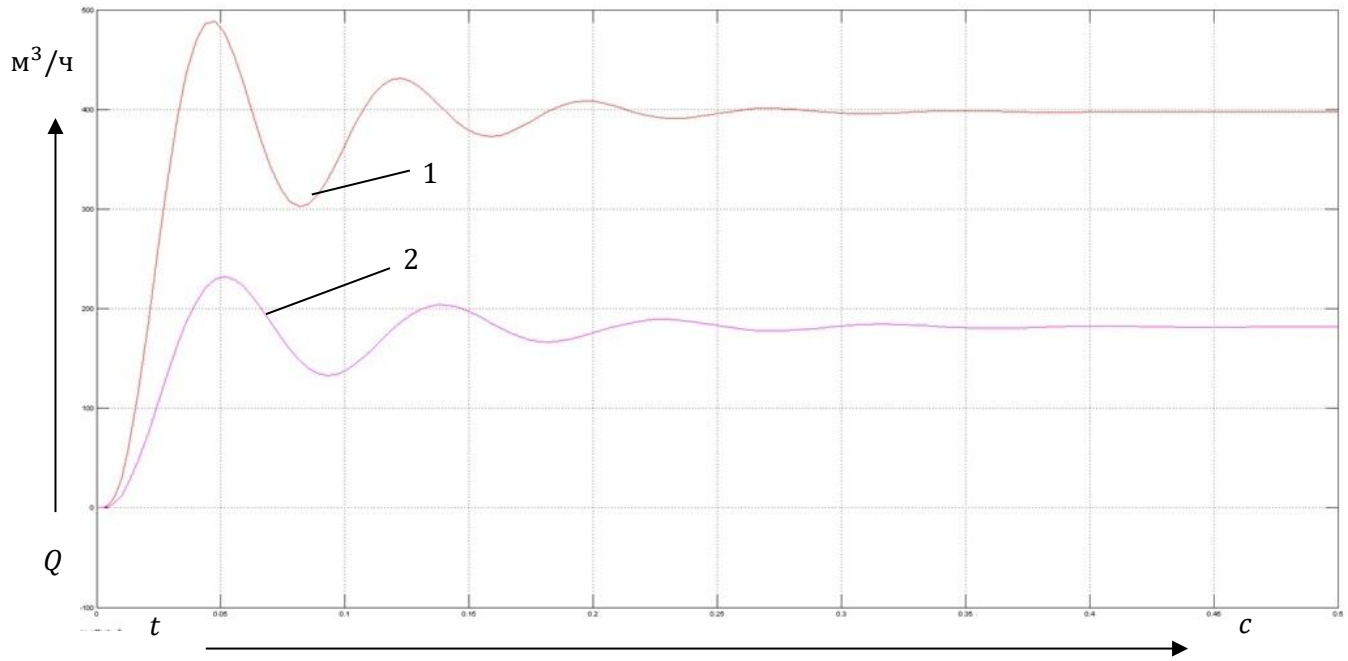
1-в системе с НПЧ; 2- в системе с ПЧ АИ

Рисунок 1– График переходного процесса по скорости при расходе 580 $м^3/ч$



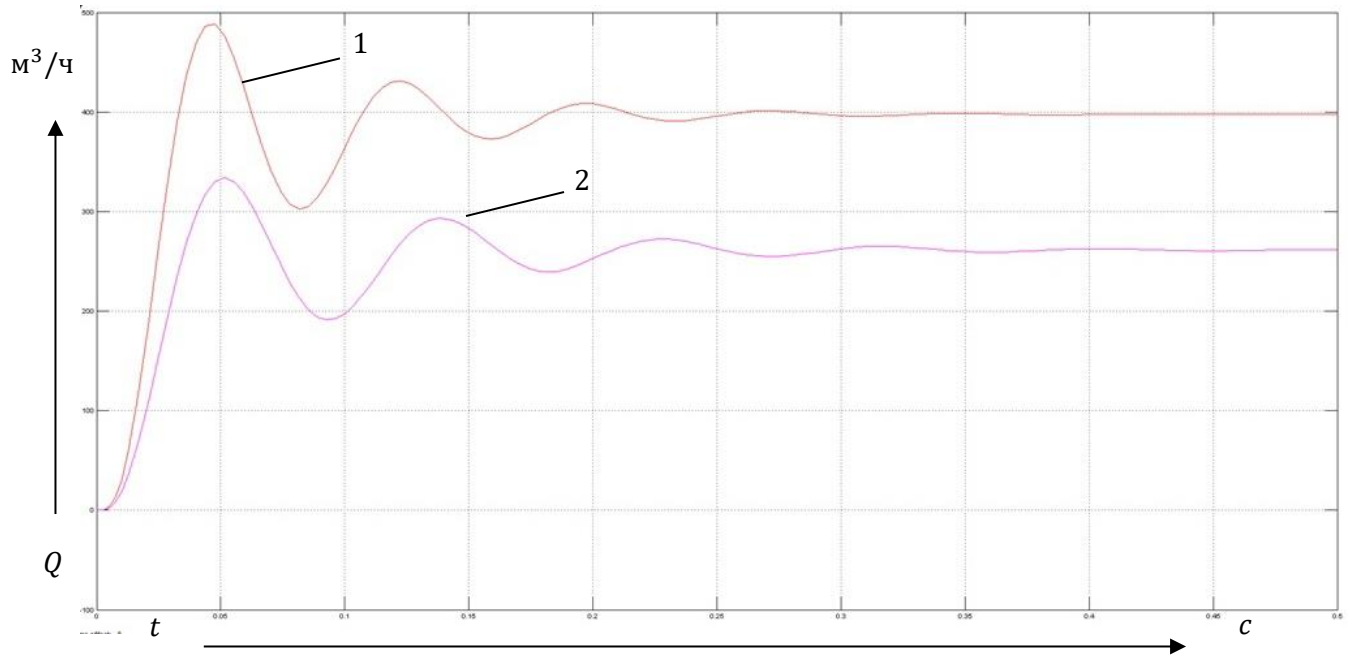
1-в системе с НПЧ; 2- в системе с ПЧ АИ

Рисунок 2 – График переходного процесса по скорости при расходе 660 $м^3/ч$



1-в системе с НПЧ; 2- в системе с ПЧ АИ

Рисунок 3 – График переходного процесса при установлении расхода 580 $м^3/ч$



1-в системе с НПЧ; 2- в системе с ПЧ АИ

Рисунок 4 – График переходного процесса при установлении расхода 660 $м^3/ч$

Как видно из рисунков 1-4 при работе двигателя насоса с частотным преобразователем на основе НПЧ, работающего на выходной частоте 70% от номинала на постоянной основе, двигатель разгоняется до значения 220 рад/с, перерегулирование системы с НПЧ составляет 18%, так же параллельно идет включение двигателя насоса с частотным регулированием на основе ПЧ АИ, который «докачивает» необходимый объем воды в котел, выходя на установленное значение в 95 рад/с, перерегулирование системы с ПЧ АИ составляет 19%.

Из приведенных выше графиков (рисунок 3-4) видно, что при изменении расхода питательной воды в напорной трубе, изменяется скорость вращения ротора электродвигателя и соответственно производительность насоса.

В четвертой главе произведена разработка схемы подачи питательной воды и описание ее работы. Данная схема необходима для подачи диаэрированной воды на котел ТПГЕ-215 с заданными параметрами расхода до 670 т/ч. и температуры Т= 250 ℃.

В пятой главе приведено экономическое обоснование замены преобразователя частоты с автономным инвертором на непосредственный преобразователь частоты. Было представлено сравнение значение КПД у преобразователей частоты с автономным инвертором и преобразователей частоты с непосредственной связью. Результат сравнения представлен в таблице 1.

Таблица 1- Значения КПД при разных частотных преобразователях.

НПЧ	КПД	ПЧ АИ	КПД
ACS5066-36L70G	0.985	ВПЧА-$Т_с$-6-0.6/500-Р-УХЛ4	0.96
FR-D700	0.98	ВПЧ «Геркулес»	0.96
WEG MVW01	0.97	VEDADRIVE 315–25000 кВА	0.97

При реализации контура грубого регулирования на основе электрического привода НПЧ, а точного регулирования на основе ПЧ АИ позволяет сэкономить на потреблении электроэнергии и значительно сократить стоимость оборудования по сравнению со старой схемой, при сохранении той же самой точности поддержки давления. Так же был проведен анализ экономической выгоды работы контура грубого регулирования, реализованного на основе электрического привода НПЧ, а точного регулирования на основе ПЧ АИ. Данное исследование было приведено на основе расчета потерь электроэнергии в зависимости от перепада суточной нагрузки генератора, представленного на рисунке 5.

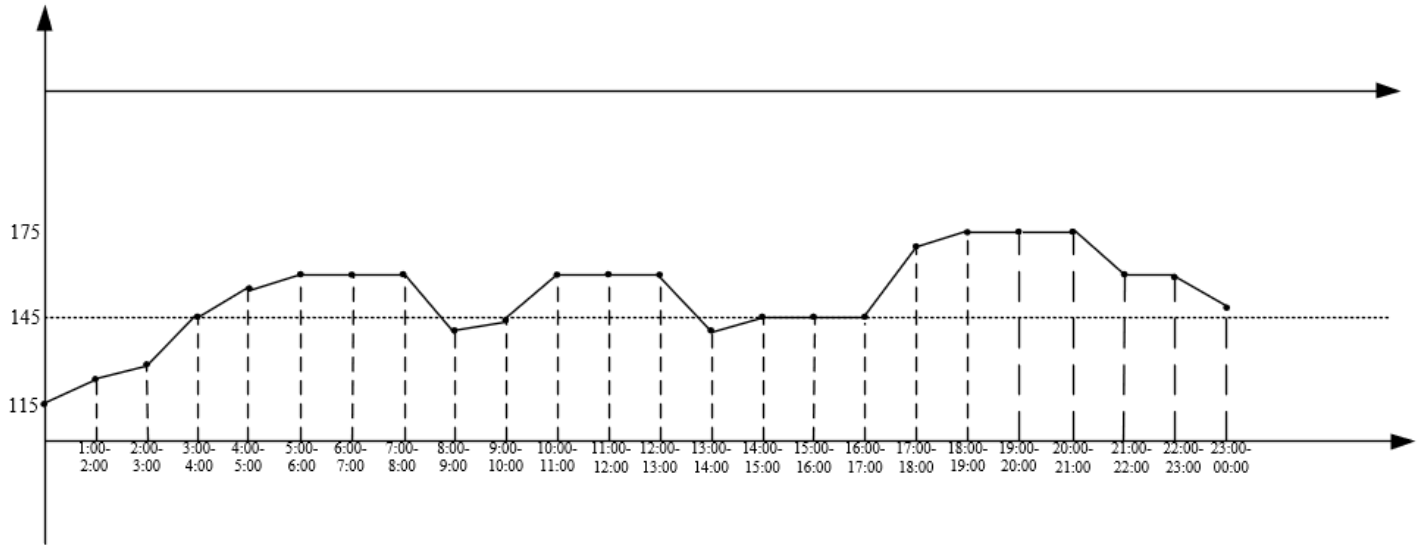


Рисунок 5- График нагрузки генератора

Таким образом был произведен расчёт потерь и сделан вывод о том, что при замене одного ПЧ АИ на НПЧ экономия электроэнергии составляет 112.5 кВт/ч

Таким образом, при замене одного из преобразователей ПЧ АИ на НПЧ мы имеем существенную экономию электроэнергии. С учетом того, что произошла оптимизация технологического процесса и учитывая, что стоимость НПЧ значительно ниже стоимости ПЧ АИ такая замена более чем оправдана.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате выполнения диссертационной была разработана система, в которой предлагается вместо двух одинаковых частотно-регулируемых электрических приводов насосов, реализованных на базе высоковольтных ПЧ-АИ выполнить один из регулируемых приводов по схеме НПЧ АД, без изменений работы насосов ПЭН на общую магистраль подачи воды, по структуре грубого и точного регулирования, при этом контур грубого регулирования реализован на основе электрического привода НПЧ, а точного регулирования на основе ПЧ АИ.

Произведен выбор преобразователя частоты с автономным инвертором и преобразователя частоты с непосредственной связью по параметрам двигателя 4АЗМ-4000/6000 УХЛ4.

В зависимости от использованного в системе преобразователя частоты и коэффициента загрузки были рассчитаны параметры электропривода.

Выполнена настройка контуров тока, скорости, расхода и была разработана двухканальная имитационная модель работы двух двигателей ПЭН с ПЧ АИ и НПЧ.

Выполнено моделирование работы двигателей при разном значении потребляемой питательной воды котлом, при значении расхода воды в 580 $м^3/ч$, двигатель в системе с НПЧ работает на постоянном значении в 70% от выходной частоты (220 рад/с), пропуская через себя 400 $м^3/ч$, когда как двигатель в системе с ПЧ АИ «докачивает» остальную часть дистиллированной воды в котел в количестве 180 $м^3/ч$.

Была построена схема подачи питательной воды и описание ее работы, данная схема необходима для подачи диаэрированной воды на подпитку котла ТПГЕ-215 с заданными параметрами расхода до 670 т/ч. и температуры Т= 250 ℃ , так же разработана однолинейная схема питания электродвигателей ПЭН.

Была произведена экономическое обоснование замены ПЧ АИ на НПЧ.

Произведен расчет потерь электроэнергии и стоимости преобразователей частоты, был построен график средний нагрузки генератора.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1 Кобозев Д.А. Частотное регулирование скорости электродвигателя питательного насоса- ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ: Том II-Красноярск 2023-С.140-. Материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных.

2 Кобозев Д.А. Частотное регулирование скорости электродвигателя питательного насоса/ Д. А. Кобозев, В. А. Соловьев - Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Комсомольский-на-Амуре 2023. Материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных.

3 Кобозев Д.А. Оценка эффективности технической модернизации системы управления электрическими приводами питательных насосов на Комсомольской ТЭЦ-3/ Д. А. Кобозев, В. А. Соловьев - Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Комсомольский-на-Амуре 2024. Материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных.