

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод насоса на базе тиристорного регулятора напряжения УДК - <u>62-83-523:621.65</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Чирков Антон Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Екатерина Юрьевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин Владимир Филиппович	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D., К.Т.Н.		

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результаты обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания, для разработки и расчета асинхронного электропривода насоса на базе тиристорного регулятора напряжения
P2	Применять знания в области современных технологий производства для решения инженерных задач
P3	Ставить и решать задачи инженерного анализа, связанные с проектированием системы регулирования скорости асинхронного электропривода насоса на базе тиристорного регулятора напряжения
P4	Проводить теоретические исследования в области устройства и применения современных центробежных насосов
P5	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и выбирать подходящие аппараты управления и защиты
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные и высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечить их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда в области электротехники, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P8	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P9	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Дементьев Ю.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Чиркову Антону Олеговичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод насоса на базе тиристорного регулятора напряжения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2018г., №645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>- В данной выпускной квалификационной работе разработка и расчёт асинхронного электропривода насоса на базе тиристорного регулятора напряжения были проведены на основе следующих исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Производительность, $Q_{пл} = 0,15 м^3 / с$; - Напор, $H = 12,5 м$; - Режим работы – продолжительный; - Регулирование частоты вращения двигателя осуществляется путём изменения угла управления тиристорами, включенными встречно-параллельно в каждую фазу двигателя; <p>Благодаря применению системы на базе «ТРН-АД» добиться плавного пуска двигателя, а также регулирование частоты вращения, обеспечивая требуемые показатели качества как переходных процессов, так и установившихся режимов работы.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Изучение технологического процесса и строения насосного агрегата; - Выбор приводного двигателя и основных силовых элементов; - Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик, а также искусственных и нагрузочной характеристик электродвигателя; - Разработка имитационной модели электропривода; - Расчёт параметров структурной схемы; - Исследование переходных процессов в основных режимах работы; - Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода;
--	---

<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Данная выпускная квалификационная работа содержит таблицы, рисунки и графики</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основное исследование	Ляпунов Данил Юрьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович

Названия разделов:

- Введение;
- Краткий обзор электропривода для насосного агрегата;
- Расчёт и выбор силового оборудования регулируемого электропривода;
- Расчёт и построение статических и динамических характеристик для разомкнутой системы электропривода;
- Имитационное моделирование системы с помощью программы Matlab Simulink;
- Расчёт параметров структурной схемы;
- Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода;
- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
- Социальная ответственность;
- Заключение;
- Список литературы.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2018г.
--	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Даниил Юрьевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Чирков Антон Олегович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
 Уровень образования Бакалавр
 Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетика и электротехника
 Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.02.2018	Краткий обзор электроприводов для насосных агрегатов	
26.02.2018	Расчёт и выбор силового оборудования регулируемого электропривода	
12.03.2018	Расчёт и построение статических и динамических характеристик для разомкнутой системы электропривода	
26.03.2018	Имитационное моделирование системы с помощью программы Matlab Simulink	
9.04.2018	Расчёт параметров структурной схемы	
23.04.2018	Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D., К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа бакалавра на тему «Асинхронный электропривод насоса на базе тиристорного регулятора напряжения» состоит из текстового документа из 99 страниц, 27 рисунков, 28 таблиц, 26 источников.

Ключевые слова: разработка и расчет, выбор, регулируемый асинхронный электропривод, центробежный насос, тиристорный регулятор напряжения, система управления, электродвигатель.

Объектом исследования является регулируемый асинхронный электропривод насоса на базе тиристорного регулятора напряжения.

Целью данной работы является разработка электропривода насоса на базе системы «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель». Регулирование частоты вращения двигателя осуществляется путём изменения угла управления тиристорами, включенными встречно-параллельно в каждую фазу двигателя. Применение системы позволит не только осуществлять плавный пуск двигателя, но и регулировать частоту его вращения, обеспечивая требуемые показатели качества как переходных процессов, так и установившихся режимов.

В процессе исследования использовалось специализированное программное обеспечение, такое как: MATLAB R2017b, Mathcad 15, а также стандартный программный пакет Microsoft Office 2016 (Microsoft Word 2016, Microsoft Excel 2016, Microsoft Visio 2016).

В результате исследования была реализована разработка и расчет регулируемого асинхронного электропривода насоса на базе тиристорного регулятора напряжения, соответствующего условию технического задания.

Технико-эксплуатационные показатели, которых удалось достичь в ходе выполнения данной работы: высокие показатели качества переходных процессов (перерегулирование, быстродействие), высокие энергетические показатели системы.

Область применения: в ремонтных мастерских, коммунальном хозяйстве, механических цехах, а также на заводах, где требуется регулирование подачи воды в насосных установках.

Выпускная квалификационная работа оформлена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2016 и представлена в распечатанном виде на листах формата А4.

Оглавление

Техническое задание	10
Определения	11
Введение.....	12
1. Краткий обзор электропривода для насосного агрегата	14
1.1 Строение и классификация центробежных насосов	14
1.2. Система управления электроприводом	16
2. Расчет и выбор силового оборудования регулируемого электропривода ..	19
2.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор	19
2.2. Расчет и выбор основных силовых элементов регулируемого электропривода.....	22
2.3. Тепловой расчёт и выбор радиатора	24
2.4. Выбор аппаратуры управления и защиты	27
2.5. Расчет и выбор типа сечения кабеля сети высокого напряжения.....	31
2.6. Расчет и выбор типа сечения кабеля для вспомогательного напряжения	32
3. Расчет и построение статических и динамических характеристик для разомкнутой системы электропривода	32
3.1. Расчет и построение естественных электромеханических и механических характеристик регулируемого электропривода	32
3.2. Расчет и построение искусственных (регулируемых) и нагрузочных характеристик	39
3.2.1. Расчет и построение искусственных характеристик	39
3.2.2. Расчёт и построение нагрузочной характеристики производственного механизма	44
3.3. Расчет энергетических показателей электропривода.....	45
4. Имитационное моделирование системы с помощью программы Matlab Simulink	48
4.1 Пуск электродвигателя от сети.....	48
4.2 Пуск электродвигателя с помощью ТРН.....	49
5. Расчет параметров структурной схемы	53
5.1. Составление структурной схемы системы регулируемого электропривода.....	53
5.2. Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени регулируемого электропривода.....	58

6. Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода	59
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	62
7.1. Анализ конкурентных технических решений	62
7.2. Планирование научно – исследовательских работ.....	64
7.3. Определение трудоемкости выполнения работ	66
7.4. Бюджет научно – технического проектирование (НТП)	70
7.5. Амортизация	70
7.6. Основная заработная плата исполнителей	70
7.7. Дополнительная заработная плата исполнителей	72
7.8. Отчисления во внебюджетные фонды	72
7.9. Накладные расходы	73
7.10. Формирование бюджета затрат научно – технического проектирования	73
7.11. Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	74
8. Социальная ответственность	75
8.1. Введение.....	75
8.2. Анализ вредных факторов.....	76
8.2.1. Шум	77
8.2.2. Недостаток естественного света.....	78
8.2.3. Микроклимат.....	81
8.2.4. Метеорологические условия.....	82
8.3. Анализ опасных факторов.....	85
8.3.1. Механические опасности	86
8.3.2. Электропоражение	87
8.3.3 Загорание (пожар).....	88
8.4. Система обращения с разными видами отходов	89
8.5. Пожар (загорание) – как источник ЧС.....	93
8.6. Электропоражение как источник ЧС	94
Заключение	96
Список литературы	98

Техническое задание

- Плотность перекачиваемой жидкости: $\rho = 1000 \text{ кг} / \text{м}^3$
- Скорость вращения вала: $n = 930 \text{ об} / \text{мин}$
- Производительность насоса: $Q_{\text{НА}} = 0,15 \text{ м}^3 / \text{с}$
- Максимальная подача насоса: до $60 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$
- Линейное напряжение питающей сети: $U_c = 380 \text{ В}$
- КПД насоса: $\eta_{\text{НА}} = 0,75$
- КПД передачи: $\eta_{\text{П}} = 1$
- Напор насоса: $H = 12,5 \text{ м}$
- Характер нагрузки: насосная
- Частота питающей сети: $f = 50 \text{ Гц}$
- Диапазон температуры рабочей среды: до 90°С
- Область применения: Для перекачки чистой воды и других неагрессивных жидкостей в промышленности и коммунальном хозяйстве
- Режим работы насоса: Продолжительный (S1)
- Тип привода: Нереверсивный
- Диапазон регулирования частоты вращения: 5%
- Обеспечение плавного пуска

Определения

В приведённой ниже работе были использованы термины следующего типа:

Насос представляет собой гидравлическую машину, преобразующую механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости, служащую для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твёрдыми и коллоидными веществами или сжиженных газов.

Электропривод представляет собой электромеханическую систему, которая состоит из взаимодействующих между собой компонентов (различных преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами), которая предназначена для того, чтобы приводить в движение исполнительные органы рабочего механизма и управления данным движением в целях выполнения технологического процесса. [14]

Механическая характеристика представляет собой зависимость угловой скорости вращения вала от электромагнитного момента M (или от момента сопротивления M_c). Механическая характеристика является максимально удобным и необходимым инструментом при исследовании статических и динамических режимов работы электропривода.

Электромеханическая характеристика представляет собой зависимость угловой скорости вращения вала ω от тока I .

Динамическая характеристика электропривода представляет собой зависимость между мгновенными значениями двух координат электропривода для одного и того же момента времени переходного режима работы.

Регулируемый электропривод представляет собой электропривод, обеспечивающий управляемое изменение координат движения исполнительного органа рабочей машины.

Введение

Электропривод - энергосиловое устройство, которое приводит в движение машину или какой-либо механизм. Как правило, состоит из источника энергии, передаточного механизма и аппаратуры для управления всеми компонентами данной системы. Текущая стадия развития электропривода характеризуется масштабным переходом от нерегулируемого электропривода к регулируемому. [1]

Насосы и насосное оборудование в настоящее время являются неотъемлемой частью производства, а также устройствами для водоснабжения и канализации, офисных зданий и жилых домов. Наиболее широкое распространение среди большого разнообразия получили центробежные насосы. Поэтому вопрос, о регулировании их параметров весьма актуален.

Асинхронные двигатели зачастую применимы в промышленности и на различных видах транспорта благодаря своей простоте конструкции и её надёжности. Тем не менее, действенное управление данными агрегатами представляет собой весьма трудную для выполнения задачу и требует создания специализированных систем управления ими.

Системы управления классифицируются на ручные, полуавтоматические и автоматические. Автономная работа данной системы выполняется и контролируется различными видами аппаратов: электрическими, механическими, гидравлическими или прочими видами аппаратов, такими как: регуляторы, распределители, фото- и термоэлементы, логические, программные, телевизионные устройства и ещё множество других.

Автоматизация управления даёт возможность регулировать скорости при определённо заданной программе в функции пути, времени или нагрузки, регулирование ускорения и замедления, осуществление распределения нагрузки в необходимой мере, сверхточную остановку или реверс, защиту от перегрузки, разноса, неверного начального положения и так далее.

Использование автоматизации (в том числе и частичной) повышает надёжность и точность работы данного электропривода, увеличивает производительность агрегата в целом. В некоторых случаях автоматизация диктуется теми или иными условиями безопасности труда на производстве (нежелательностью нахождения людей в токсичной или пыльной среде, при взаимодействии с радиоактивными элементами и тому подобное).

При использовании регулируемых электроприводов решается задача поддержания определенного значения технологического параметра, например, регулирование подачи воды в насосных установках.

Целью дипломного проекта является разработка регулируемого электропривода центробежного насоса, удовлетворяющего техническим условиям и требованиям.

1. Краткий обзор электропривода для насосного агрегата

1.1 Строение и классификация центробежных насосов

Главным рабочим органом центробежного насоса (представлено на рисунке 1) является свободно вращающееся внутри корпуса колесо 1, надетое на вал 2. Рабочее колесо фиксируется на валу с помощью шпонки. Рабочее колесо состоит из пары дисков (передний диск 3 и задний диск 4), разделённых на некотором расстоянии между друг другом. Между дисками, соединяя их в цельную конструкцию, находятся лопасти 5, которые плавно изогнуты в сторону, которая противоположна направлению вращения данного колеса. [1]

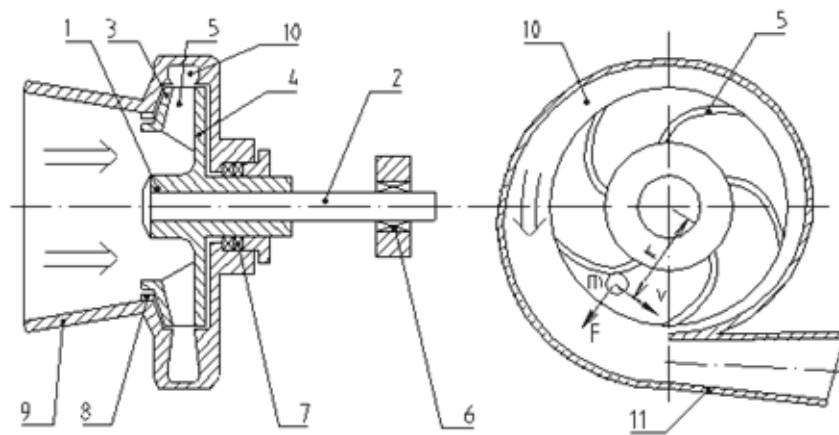


Рис. 1 – Центробежный насос

Внутренние поверхности дисков и поверхности лопастей формируют определённые каналы, имеющие название межлопастные каналы колеса, заполняющиеся перекачиваемой жидкостью во время работы насоса.

Ротор – вал, на который насаживаются вращающиеся детали - вращается благодаря подшипникам 6. Между вращающимися и неподвижными деталями возможна установка сальников - уплотнения 7, благодаря которым снижается риск возможных утечек из насоса и уплотнения 8 для уменьшения процесса циркуляции внутри полости насоса. Во время вращения рабочего колеса на каждую часть жидкости, которая находится в межлопастном канале будет оказывать влияние центробежная сила.

Благодаря действию данной силы жидкая масса выбрасывается из рабочего колеса, в результате чего в центральной части колеса создается так называемое разрежение, а в периферийной части данного колеса - повышенное давление. Для обеспечения постоянного движения жидкости через насос следует создать условия для подвода перекачиваемой жидкости к рабочему колесу и отвода от данного колеса. Жидкость поступает благодаря отверстию в переднем диске колеса по всасывающему трубопроводу (на рис.1 - подвод 9). Движение жидких масс по всасывающему трубопроводу совершается благодаря разности давлений над свободной поверхностью жидкости в приемном бассейне (атмосферное давление) и в центральной части данного колеса (разрежение). Для отвода всей жидкости в корпусе насоса предусмотрена специальная расширяющаяся спиральная камера (имеет форму улитки), куда поступает жидкость, выбрасываемая из этого рабочего колеса. Спиральная камера (на рис.1 - отвод 10) переходит в короткий диффузор, который образует напорный патрубок 11, соединяемый, как правило, с напорным трубопроводом.

Центробежные насосы можно классифицировать по:

- количеству рабочих колес [одноступенчатые (одноколесные), многоступенчатые (многоколесные)]; кроме этого, одноколесные насосы изготавливают с консольным расположением вала — консольные;
- величине напора: низкого напора до 2 кгс/см² (0,2 МН/м²), среднего напора от 2 до 6 кгс/см² (от 0,2 до 0,6 МН/м²), высокого напора больше 6 кгс/см² (0,6 МН/м²) напор насоса измеряется с помощью метров столба перекачиваемой жидкости;
- методу подвода жидкости к рабочему колесу (с односторонним входом жидкости на рабочее колесо, с двусторонним входом жидкости (способом двойного всасывания));
- способу расположения вала рабочего колеса (горизонтальное, вертикальное);

- типу разъема корпуса (с горизонтальным разъемом корпуса, с вертикальным разъемом корпуса);
- методу отвода жидкости из рабочего колеса в спиральный канал этого корпуса (спиральные и турбинные). В спиральных насосах жидкость отводится напрямую в спиральный канал; в турбинных насосах жидкость, прежде чем поступить в спиральный канал, проходит через специализированное устройство — направляющий аппарат (представляет собой неподвижное колесо с лопатками);
- скорости вращения рабочего колеса (тихоходные, нормальные, быстроходные рабочие колёса);
- типу перекачиваемой жидкости (водопроводные, канализационные, кислотные и щелочные, нефтяные, землесосные и прочие);
- методу соединения с двигателем [приводные (с редуктором или со шкивом), прямого соединения с электродвигателем, благодаря различным муфтам]. Насосы, которые имеют шкивной привод встречаются довольно редко в настоящее время.

1.2. Система управления электроприводом

Существует множество различных систем управления, таких как: преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД), асинхронно-вентильный каскад – асинхронный двигатель (АВК-АД), тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель (ТРН–АД), а также симисторный регулятор напряжения – асинхронный двигатель (СРН-АД).

Рассмотрю в данном случае только систему «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» (ТРН–АД)

Система ТРН – АД.

Трехфазные тиристорные регуляторы напряжения (устройства плавного пуска) представляют собой комбинацию биполярно соединенных тиристоров, включаемых в фазы переменного тока, с системой управления и регулирования.

Тиристорные регуляторы напряжения применяются массово в асинхронном электроприводе. Подобного рода системы используют всего единственную управляемую координату асинхронного двигателя – напряжение при постоянной частоте питания и, следовательно, при постоянной скорости идеального холостого хода. Это положение обуславливает более высокие потери в АД на регулировочных характеристиках при возможных сочетаниях текущих значений скорости ω и момента M по сравнению с частотно-управляемым ЭП, так как тепловые потери и нагрев асинхронного двигателя пропорциональны скольжению $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$.

Данная система довольно широко применяется в массовом асинхронном электроприводе для управления специализированными пусковыми и тормозными режимами, а также режимами кратковременного снижения скорости, энергосбережения при значимых недогрузках привода, когда статический момент $M_c < 0.4 \cdot M_n$.

В замкнутых и разомкнутых контурах системы тиристорные регуляторы напряжения крайне эффективны для реализации специализированных режимов работы: квазичастотного регулирования скорости, позиционирования привода, импульсного форсирования пускового момента АД, реверсирования скорости, реализации возможных типов торможения и выполнения диагностических, а также сервисных функций.

Силовая схема симметричного тиристорного регулятора напряжения приведена на рис. 2.

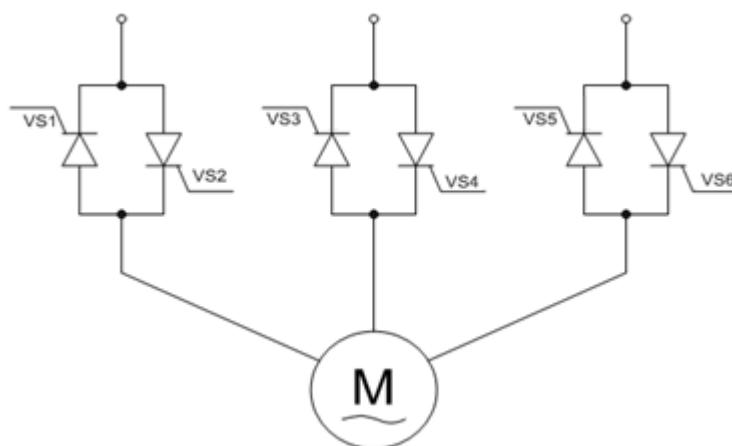


Рис. 2 – Схема симметричного ТРН

Для обеспечения реверса АД применяют дополнительный комплект полупроводниковых приборов, меняющий чередование двух фаз двигателя, или реверсирующий контактор. Для того, чтобы получить режим динамического торможения в области высоких скоростей подключают тиристоры, которые шунтируют обмотки асинхронного двигателя.

Улучшенными технико-экономическими показателями владеют регуляторы с гибридной структурой силовой части. Такого рода система содержит в себе традиционный тиристорный регулятор напряжения, конструктивно объединённый с низковольтным силовым малогабаритным контактором (представлено на рисунке 3). Данный способ решения обеспечивает действенное применение как регулятора, так и контактора; в продолжительных режимах при $U_1 = U_{1н}$ тиристоры шунтируются контактором, что позволяет существенно снизить потери в устройстве и позволяет уменьшить его массогабаритные показатели.

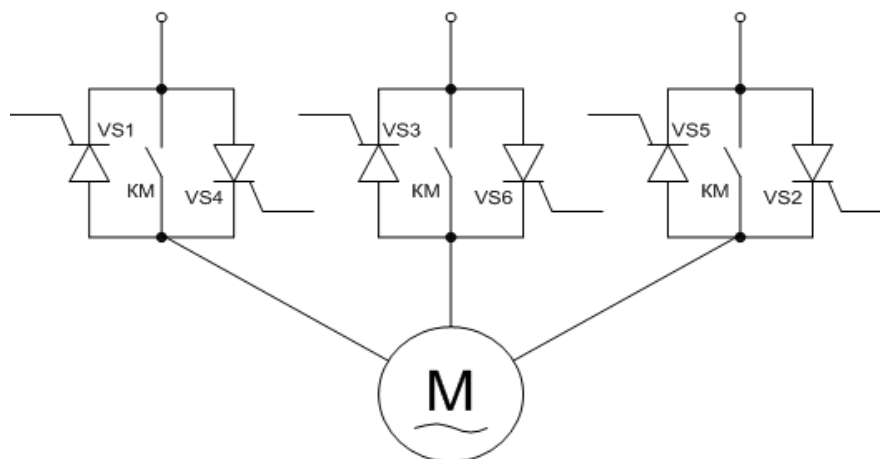


Рис. 3 – Схема гибридного ТРН

Основные области эффективного применения систем ТРН – АД: турбомеханизмы (вентиляторы, насосы), шаровые мельницы, свайные вибропогружатели, штамповочные прессы и т.д. [2]

2. Расчет и выбор силового оборудования регулируемого электропривода

2.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Исходные данные для будущих расчётов имеют следующий вид:

Таблица 1 – Исходные данные

Производительность, $Q_{НА}$	Напор, Н	Скорость вращения вала, n	КПД насоса, $\eta_{НА}$	КПД передачи, $\eta_{П}$	Плотность перекачиваемой жидкости, ρ
$0,15 \text{ м}^3 / \text{с}$	12,5 м	930 об / мин	0,75	1	$1000 \text{ кг} / \text{м}^3$

Мощность двигателя определяется по формуле:

$$P_p = K_3 \cdot \frac{g \cdot Q \cdot H \cdot \rho}{\eta_{НА} \cdot \eta_{П}} \cdot 10^{-3} = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot 12,5 \cdot 1000 \cdot 10^{-3}}{0,75} = 29,43 \text{ кВт},$$

где K_3 - коэффициент запаса [в пределах (1,1 ÷ 1,3)].

Выбираем двигатель 5АИ 225 М6 [3] с параметрами, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры двигателя

Тип двигателя	Pн, кВт	При номинальной нагрузке			Mmax/Mн	Mп/Mн	Mmin/Mн	Iп/In	J, кг. м.кв.
		nн, об/мин	η , %	cos ϕ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
5АИ 225 М6	37	980	91	0,89	2	1,2	1	6,5	1,26

На рисунке 4 представлен общий вид электродвигателя серии 5АИ.



Рис. 4 – Общий вид электродвигателя 5АИ 225 М6

По мощности данного двигателя выбираем горизонтальный многоступенчатый насос НМУ 50-1/5А. [4]

Серия НМУ – многоступенчатые центробежные горизонтальные насосы, установленные на массивной фундаментной плите, что дает возможность использования различных видов приводов. Предназначены для перекачивания чистой, химически не агрессивной жидкости. Параметры двигателя приведены в таблице 3. На рисунке 5 представлен общий вид горизонтального насоса НМУ 50-1/5А.



Рис. 5 - Общий вид горизонтального насоса HMU 50-1/5A

Таблица 3 – Параметры насоса

Производитель	CAPRARI
Максимальная подача, $\frac{м^3}{ч}$	58
Область применения	Для перекачки чистой воды и других неагрессивных жидкостей в промышленности и коммунальном хозяйстве
Максимальный напор, м	239
Мощность, кВт	37 кВт
Условный диаметр, мм	80/50
Материал корпуса	Чугун
Диапазон температуры рабочей среды	Максимальная температура 90 °С
Напряжение питания, В	3x380
Способ присоединения	Фланец
Масса, кг	469

Максимальная скорость вращения, $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	2500
---	------

2.2. Расчет и выбор основных силовых элементов регулируемого электропривода

Тиристор — полупроводниковый прибор, который выполнен на основе монокристалла полупроводника с тремя или более р-п-переходами и имеющий два устойчивых состояния (закрытое – состояние малой проводимости и открытое – состояние большой проводимости), используемый для коммутации в цепях переменного тока. В электронике часто рассматривается как электронный выключатель (ключ). [5]

Способ выбора тиристорov для схемы тиристорного регулятора напряжения реализуется по максимальным значениям токов, прямых и обратных напряжений, имеющих место при работе электропривода.

В процессе соединения обмоток статора в звезду к тиристорам прикладывается линейное напряжение с приведённой ниже амплитудой:

$$U_{\text{макс}} = K_c \cdot K_{\text{п}} \sqrt{2} \cdot U_c = 2.32 \cdot 380 = 881.6 \text{ В},$$

где K_c – коэффициент учета возможного превышения напряжения ($K_c=1,1$);

$K_{\text{п}}$ – максимальное значение перенапряжения ($K_{\text{п}}=1,5$).

Однако, обратное приложенное напряжение из-за влияния ЭДС, наводимой затухающим полем ротора будет равно $K_c \cdot K_{\text{п}} \sqrt{2} \cdot U_c$. С учетом этого фактора, можно считать, что тиристоры 8-го и 9-го класса обеспечат нормальную работу электропривода при соединении статора как звездой (380 В), так и в треугольник (220 В).

В общем случае тиристоры следует выбирать по максимальному значению величины тока двигателя. Тиристоры должны выдерживать пусковой ток:

$$I_n = \frac{n \cdot P}{U_c} = \frac{6.5 \cdot 37000}{380} = 632.9 \text{ А},$$

где n – кратность пускового тока;

P – мощность на валу электродвигателя (кВт);

U_c – напряжение сети (В).

В трехфазной мостовой схеме действующее значение основного тока, протекающего через тиристор:

$$I_M = \frac{I_n}{3} = \frac{632.9}{3} = 210.9 \text{ A}$$

Надёжная и продолжительная работа тиристорного электропривода в большинстве случаев зависит от корректного выбора тех или иных тиристорov. Когда происходит выбор тиристорov по току, то в данном случае большое значение имеет способ непосредственного охлаждения и величина угла проводимости.

Производим выбор тиристора по типу ТБ371 – 250 – быстросрабатывающий штыревого исполнения, 16 - класс по повторяющемуся напряжению. Применяется для непосредственной работы в статических преобразователях электроэнергии, в силовых установках постоянного и переменного тока, в которых необходимо крайне малое время выключения и включения, кроме того, требуются высокие критические скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии, а также тока в открытом состоянии. Данный тип тиристора выпускается в металлокерамическом корпусе с гибким выводом. Тиристор имеет следующие параметры:

Таблица 4 – Параметры тиристора ТБ371 - 250

Тип	$U_{drm}(U_{rrm})$ V	$I_{rrm}(I_{drm})$ mA	$I_{t(av)}(T_c^{\circ}\text{C})$ A	$I_{tsm}, 10\text{ms}$ kA	U_{tm}/I_{tm} V/A	U_{gt} V	I_{gt} mA	du/dt V/ μs	t_q μs	di/dt A/ μs	T_{jmax} $^{\circ}\text{C}$	R_{thjc} $^{\circ}\text{C}/\text{W}$	Вес кг
ТБ371-250	300-1400	35	250(90)	7.00	1.80/785	3.5	250	500-1000	16	500	125	0.10	0.440

$I_n \geq I_M$ условие выполняется.

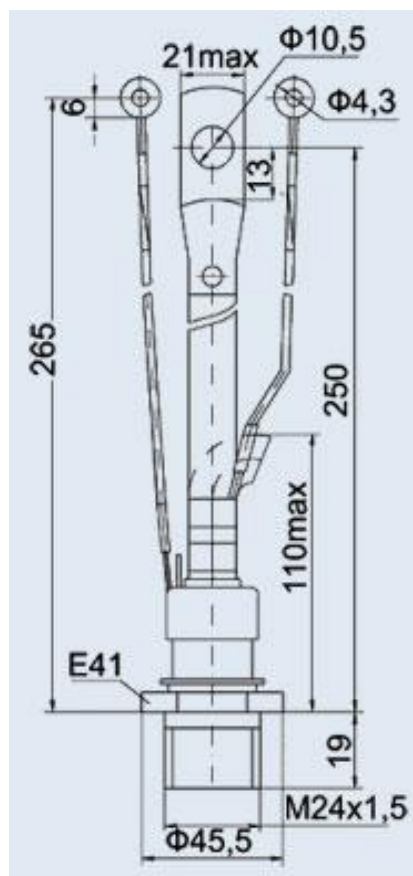


Рис. 6 - Габаритная схема тиристора ТБ371 - 250

2.3. Тепловой расчёт и выбор радиатора

Произведем выбор и расчет охлаждающих радиаторов для силовых тиристоров.

Благодаря воздействию разности между температурами разогретого кристалла и окружающей среды тепловая энергия движется от кристалла непосредственно к корпусу прибора, далее от корпуса напрямую поступает в охладитель и затем в окружающую среду. Данный процесс моделируют благодаря электрической схеме замещения.

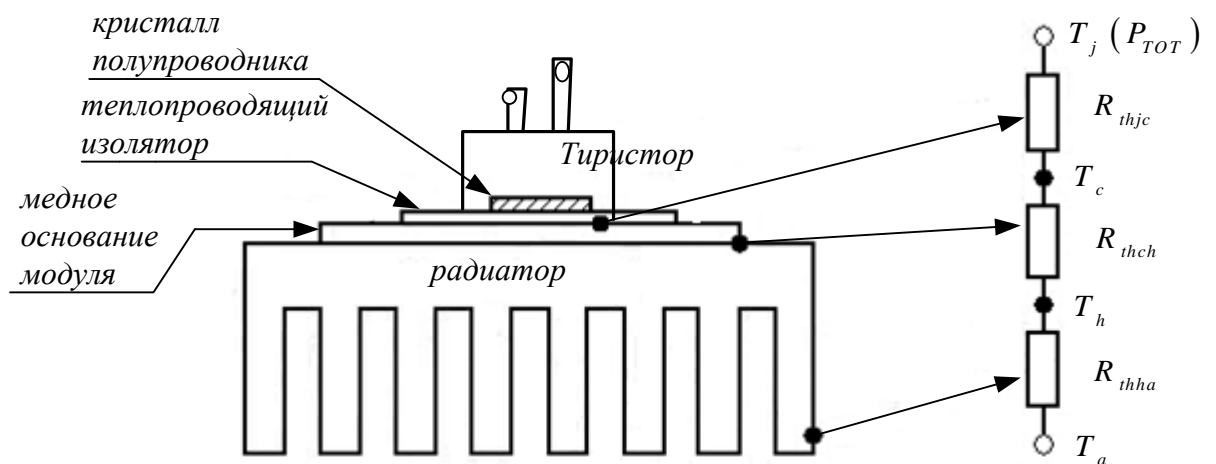


Рис. 7 – Электрическая модель, применяемая для системы охлаждения тиристора

Здесь потери в ключевом элементе P_{TOT} эквивалентны току в электронных цепях, разность температур - электрическому напряжению. По аналогии с законом Ома для тепловой схемы замещения можно записать следующее соотношение:

$$P_{TOT} = \frac{\Delta T}{R_{th}}, \text{ где } \Delta T - \text{разность температур между характерными точками}$$

тепловой системы, R_{th} - тепловое сопротивление, коэффициент, характеризующий теплопроводность среды, передающей тепловую энергию.

Для традиционной системы выделяют три тепловых сопротивления:

1. Тепловое сопротивление переход-корпус - $R_{th(j-c)}$;
2. Тепловое сопротивление корпус-охладитель - $R_{th(c-h)}$;
3. Тепловое сопротивление охладитель окружающая среда - $R_{th(h-a)}$.

Тепловое сопротивление переход-корпус $R_{th(j-c)}$ является паспортным параметром.

Тепловое сопротивление корпус-охладитель даётся в справочных материалах, а также зачастую является паспортными данными.

Максимально возможное переходное сопротивление охладитель – окружающая среда вычисляется по приведённой ниже формуле:

$$R_{th(h-a)} \leq \frac{T_c - T_a}{P_{TOT}} - R_{th(c-h)},$$

где T_a – температура охлаждающего воздуха, принимаем $T_a = 25^{\circ}C$; T_c –

температура теплопроводящей пластины, принимаем $T_c = 125^{\circ}\text{C}$; $R_{th(c-h)}$ – тепловое сопротивление корпус – охладитель $R_{th(c-h)} = 1,14^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$.

$$R_{th(h-a)} \leq \frac{125 - 25}{50} - 1,14; \quad R_{th(h-a)} \leq 0,1.$$

Тепловое сопротивление охладитель - окружающая среда ($R_{th(h-a)}$) зависит от целого ряда факторов. Для точечного источника тепла, который расположен на охладителе, известно приведённое ниже выражение для теплового сопротивления охладитель - окружающая среда, которое равно:

$$R_{th(h-a)} = \frac{3,3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \cdot C_f^{0,25} + \frac{650}{S} \cdot C_f,$$

где S - площадь пластины (см^2),

λ - коэффициент теплопроводности охладителя, $\text{Вт/К}\cdot\text{см}$. Для алюминия значение коэффициента теплопроводности, равно $\lambda = 2 \text{ Вт/К}\cdot\text{см}$.

C_f - поправочный коэффициент, который учитывает состояние поверхности и непосредственное расположение радиатора в пространстве. Если положение вертикальное и поверхность блестящая, то в данном случае этот коэффициент будет равен 0,8.

Как можно наблюдать из выражения, которое приведено выше, уменьшение теплового сопротивления, следовательно, и увеличение эффективности охлаждения, реализуется благодаря использованию радиаторов, которые изготавливаются из материалов с максимальным коэффициентом теплопроводности и обладающих большей площадью поверхности для охлаждения.

Определим минимальную площадь охладителя:

$$S_{\min} = \frac{650 \cdot C_f}{R_{th(h-a)} - \frac{3,3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \cdot C_f^{0,25}} = \frac{650 \cdot 0,8}{0,1 - \frac{3,3 \cdot 0,8^{0,25}}{\sqrt{2 \cdot 0,4}}} = 150 \text{ см}^2;$$

Выбираем радиатор O232 выбранного охладителя можно найти по формуле:

$$S = n \cdot S_1,$$

где n – число ребер, S_l – площадь одного ребра, тогда:

$$S = 10 \cdot 20 = 200 \text{ см}^2,$$

а значит $S > S_{\min}$, следовательно охладители O232 подходит для охлаждения выбранных тиристоров.

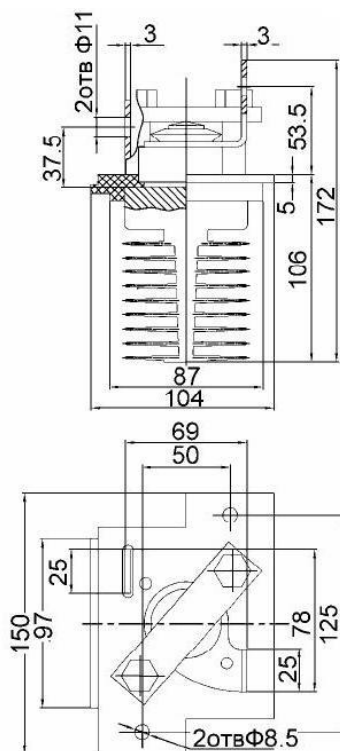


Рис. 8 - Габаритные размеры охладителя O232

Таблица 5 – Паспортные данные охладителя O232

Тип	Габаритные размеры $a \times b \times h$	Диаметр резьбового отверстия	Масса (без токопровода)	Рассеиваемая мощность при естественном охлаждении	Тепловое сопротивление	Перепад давления
	мм	мм	кг	Вт	град/Вт	Па
O232	70×80×172	42	1,6	80	0,355	18

2.4. Выбор аппаратуры управления и защиты

Управление АД состоит в его запуске, остановке, реверсировании и может осуществляться как вручную по месту, так и дистанционно (с помощью выключателей или кнопок), а также автоматически. Управление низковольтными двигателями (до 1000В), в частности, при частых включениях или отключениях, выполняется обычно при помощи магнитных пускателей или контакторов. Магнитный пускатель различается от контактора

благодаря наличию устройства защиты (в данном случае понимается тепловое реле) от перегрузок на валу двигателя. [6]

Магнитные пускатели и контакторы не защищают асинхронный двигатель от токов короткого замыкания, поэтому асинхронные двигатели подключаются к источнику питания через автоматические выключатели или плавкие предохранители, выполняющие функцию непосредственной защиты.

Магнитные пускатели изготавливают нереверсивными и реверсивными. Пускатели серии ПМЕ предназначены для управления двигателями мощностью от 1 до 10 кВт, а ПАЕ - от 17 до 55 кВт. Они рассчитаны на напряжение до 500 В.

Схема включения нереверсивного пускателя приведена на рисунке 9.

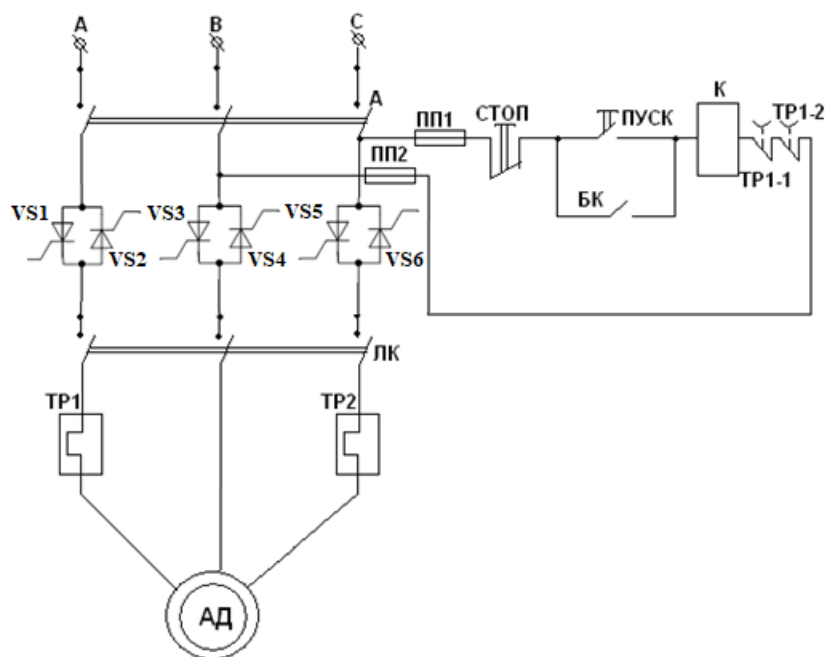


Рис. 9 - Схема включения нереверсивного пускателя

Главные контакты катушки К включаются в рассечку проводов, которые питают АД. В провода двух фаз включаются нагревательные элементы тепловых реле ТР1 и ТР2.

Катушка электромагнита пускателя К включается в сеть через размыкающие контакты тепловых реле ТР1-1, ТР2-1 и кнопки управления. При взаимодействии с кнопкой «Пуск» напряжение на катушку К подается

благодаря замкнутым контактам кнопки «Стоп» и замкнутым контактам ТР1-1 и ТР2-1 тепловых реле. После притяжения якоря электромагнита происходит замыкание линейных контактов ЛК (происходит запуск асинхронного двигателя) и блокировочного контакта БК, который шунтирует контакты кнопки «Пуск». Благодаря этому появляется возможность отпустить пусковую кнопку. Для того, чтобы отключить пускатель, необходимо нажать кнопку «Стоп». При этом происходит разрыв цепи катушки К и дальнейшее отключение линейных контактов, блокировочного контакта пускателя и асинхронного двигателя. В процессе перегрузки двигателя срабатывают тепловые реле, разрывающие цепь катушки К – далее происходит процесс автоматического отключения двигателя. Автоматический выключатель А выполняет автоматическую защиту во время возникновения короткого замыкания в асинхронном двигателе или трехпроводной линии за автоматом. Плавкие предохранители ПП позволяют обеспечить защиту в цепи управления при перегрузке.

По [8] выбираем магнитный пускатель типа ПАЕ-500 с параметрами, приведенными в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры магнитного пускателя

Номинальный ток (А), при напряжении 380/500 В	Ток (А), при напряжении 380 В	Провал главных контактов пускателя, мм	Начальное нажатие на контактный мостик, Н	Раствор главных контактов пускателя, мм	Материал контактов	Пусковая мощность потребляемая обмоткой, ВА	Номинальная мощность обмотки, ВА	Масса, кг
110/61	100	4+0,5	33	3,5	Серебро	800	26	7,6

Выбор автоматического выключателя:

Для силовых одиночных электроприемников должны выполняться условия:

$$1. I_{расц} \geq I_{дл}, I_{дл} \geq I_{н.ЭД} = 69.2A ,$$

где $I_{дл}$ - длительный ток

$$2. I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр} = 1,25 \cdot 449,8 = 562,25 A,$$

где $I_{кр} = I_n = 449.8A$ - пусковой ток, $I_{кз}$ - ток короткого замыкания. [8]

Используя справочную литературу, выбираем автоматический выключатель типа ВА51-31 с $I_{ном} = 250A$, $I_{н.расц.} = 80A$, [8].

При этом:

$$I_{кз} = 7 \cdot I_{н.расц.} = 7 \cdot 80 = 560A .$$

Выбор плавких предохранителей:

Выбираем плавкие предохранители исходя из условий:

$$I_{ВС} \geq I_{н.ЭД}$$

$$I_{ВС} \geq I_{н.ЭД}$$

Выбираем предохранитель типа ПН2-250 [8] с параметрами, приведенными в таблице 7

Таблица 7 – Параметры предохранителя ПН-250

Тип	I _{ном} , А	
	предохранителя	плавкой вставки
ПН2	250	80

2.5. Расчет и выбор типа сечения кабеля сети высокого напряжения

Номинальный ток двигателя:

$$I_H = 69.2 \text{ А}$$

Пусковой ток двигателя:

$$I_{ПВСК} = 449.8 \text{ А}$$

Выбираем предохранитель по наибольшему току:

$$I_{BC} \geq I_H = 69.2 \text{ А},$$

где I_{BC} - ток плавкой вставки

$$I_{BC} \geq \frac{I_{ПВСК}}{\alpha} = \frac{449.8}{2.5} = 179.92 \text{ А}$$

где $\alpha = 2.5$ – для легкого пуска [3]

Производим выбор предохранителя ПН 2-400 [8] с $I_{BC} = 200 \text{ А}$

Производим выбор провода по наибольшему из токов:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{НОМ}}{k_{прок}} = \frac{69.2}{1} = 69.2 \text{ А}$$

$$I_{доп} \geq k_3 \cdot \frac{I_{НОМВСТ}}{k_{прок}} = 1 \cdot \frac{200}{1} = 200 \text{ А}$$

где k_3 – коэффициент защиты; $k_3 = 1$ - для сетей, требующих защиту от перегрузки.

$k_{прок}$ – поправочный коэффициент, зависящий от числа параллельно проложенных кабелей, $k_{прок} = 1$ для одного кабеля.

Выбираем кабель марки ААГ сечением 70 мм^2 с $I_{доп} = 235 \text{ А}$.

2.6. Расчет и выбор типа сечения кабеля для вспомогательного напряжения

В пункте 2.4 выбран предохранитель ПН2-250 [8] с $I_{BC} = 80 \text{ A}$

Выбираем провод по наибольшему из токов:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{НОМ}}{k_{прок}} = \frac{69.2}{1} = 69.2 \text{ A},$$

где $k_{прок}$ - коэффициент прокладки кабеля;

$$I_{доп} \geq k_3 \cdot \frac{I_{НОМВСТ}}{k_{прок}} = 1 \cdot \frac{80}{1} = 80 \text{ A}.$$

Выбираем кабель марки ААГ сечением 17 мм^2 с $I_{доп} = 90 \text{ A}$. [7]

3. Расчет и построение статических и динамических характеристик для разомкнутой системы электропривода

3.1. Расчет и построение естественных электромеханических и механических характеристик регулируемого электропривода

Для того, чтобы произвести расчёт электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя следует воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется разнообразными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для различных инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, которая приведена на рисунке 10. [5]

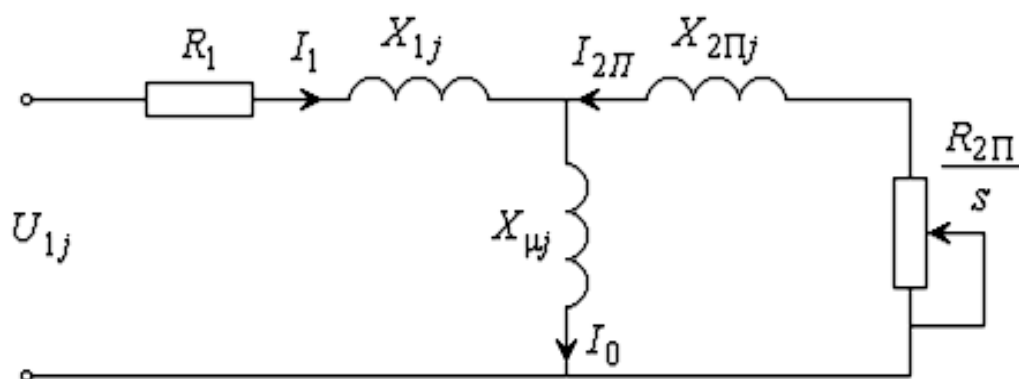


Рис. 10 - Схема замещения асинхронного двигателя

Ток холостого хода асинхронного двигателя находится, благодаря приведённому ниже выражению:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}} = \sqrt{\frac{52.4^2 - [0.75 \cdot 69.2 (1 - 0.02) / (1 - 0.75 \cdot 0.02)]^2}{1 - [0.75 \cdot (1 - 0.02) / (1 - 0.75 \cdot 0.02)]^2}} = 13,6 \text{ A}$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta_H} = \frac{37 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.89 \cdot 0.91} = 69.2 \text{ A}$ - номинальный ток

статора двигателя;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0.75 \cdot 37 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.881 \cdot 0.91} = 52.4 \text{ A}$$
 - ток статора двигателя

при частичной нагрузке;

Коэффициент мощности при частичной нагрузке определяется по выражению ниже:

$$\cos \varphi_{p_*} = 0.99 \cdot \cos \varphi_H = 0.99 \cdot 0.89 = 0.881;$$

Коэффициент загрузки двигателя определяется по выражению ниже:

$$p_* = P / P_H = 0.75 .$$

Коэффициент мощности и КПД при неполной нагрузке в технической литературе приводятся крайне редко, а для целого ряда серий электрических машин подобного рода данные в справочной литературе отсутствуют. Данные параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

– в актуальный момент времени, асинхронные двигатели проектируются по такому принципу, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10-15% меньше номинальной. Двигатели рассчитываются таким образом, потому что основная масса из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с определённой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ практически равны друг другу, т.е.

$$\eta_H \approx \eta_{0,75};$$

– коэффициент мощности при той же нагрузке $p_* = 0,75$ серьёзно отличается от этого же коэффициента, но уже при номинальной нагрузке, при

этом данное отличие в значительной степени зависит от мощности выбранного двигателя.

При этом: $\eta_{p*} = \eta_H = 0.84$ - КПД при частичной нагрузке;

Из формулы Клосса находим соотношение, необходимое для расчета критического скольжения:

$$s_k = s_H \frac{k_{MAX} + \sqrt{(k_{MAX})^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)},$$

Где k_{MAX} - перегрузочная способность АД,

$$s_k = 0.02 \frac{2 + \sqrt{2^2 - [1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1 \cdot (2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1 \cdot (2 - 1)} = 0.078;$$

где $\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2')$ - значение коэффициента β определяется в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

Тогда:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{13,6}{2 \cdot 6,5 \cdot 69,2} = 1.015.$$

Находим коэффициент:

$$A_1 = m U_{1\phi}^2 (1 - s_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{MAX} \cdot P_H) = \frac{3 \cdot 220^2 (1 - 0.02)}{2 \cdot 1.015 \cdot 2 \cdot 37 \cdot 10^3} = 0,947.$$

В таком случае, активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя равно:

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1 / s_k) \cdot C_1 = \frac{0,947}{\left(1 + \frac{1}{0.078}\right) \cdot 1.015} = 0.068 \text{ Ом}.$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2\pi f_{1H}} = \frac{0.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.001592 \text{ Гн}.$$

Активное сопротивление статорной обмотки определяется по приведённому ниже выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.015 \cdot 0.068 \cdot 1 = 0.069 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния равна:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\pi f_{1H}} = \frac{0.368}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.00117 \text{ Гн}.$$

Находим параметр γ , позволяющий найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.078^2}\right) - 1^2} = 12,78.$$

В таком случае, значение индуктивного сопротивления КЗ определяется по приведённому ниже выражению:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 12,78 \cdot 1.015 \cdot 0.068 = 0,876 \text{ Ом},$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления X_{KH} сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, следует использовать соотношения (выражения), которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, которое приведено к статорной, определяется благодаря нижеприведённому выражению:

$$X_{2H}' = 0.58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0.58 \cdot \frac{0,876}{1.015} = 0,5 \text{ Ом},$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки определяется благодаря нижеприведённому выражению:

$$X_{1H} = 0.42 \cdot X_{KH} = 0.42 \cdot 0,876 = 0,368 \text{ Ом},$$

По найденным значениям переменных C_1 , R_2' , R_1 и X_K произведём

расчёт критического скольжения:

$$s_K = \frac{C_1 R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1.015 \cdot 0.068}{\sqrt{0.069^2 + 0.876^2}} = 0.078.$$

ЭДС ветви намагничивания E_1 , которая наведена потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1j} \cdot \cos \phi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1j} \cdot \sin \phi_{1H} + X_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.89 - 0.069 \cdot 69.2)^2 + (220 \cdot 0.456 + 0.368 \cdot 69.2)^2} = 205,2 \text{ В} \end{aligned}$$

В таком случае, индуктивное сопротивление намагничивания будет равно:

$$X_{\mu H} = E_1 / I_0 = \frac{205,2}{13.6} = 15,1 \text{ Ом}.$$

Результирующая индуктивность, которая обусловлена магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания) определяется по приведённому ниже выражению:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2\pi f_{1H}} = \frac{15,1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.048 \text{ Гн}.$$

Применяя параметры схемы замещения, выполним расчет механических и электромеханических характеристик.

Произведём расчёт синхронной угловой скорости:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p_{\Pi}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,7 \text{ рад/с}.$$

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя, обуславливается благодаря зависимости приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}},$$

где U_1 - фазное напряжение обмоток статора АД;

Задаваясь численными показателя скольжения можно произвести расчёт соответствующего значения тока и применив формулу $\omega = \omega_0(1-s)$ получим соответствующее значение угловой скорости.

Возьмём во внимание то, что ток намагничивания двигателя имеет полностью реактивный характер, выражение для электромеханической характеристики, которая описывает зависимость тока статора от скольжения, примет приведённый ниже вид:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

Задаваясь скольжением s произведём расчёт естественных электромеханических характеристик асинхронного двигателя, которые приведены на рисунке 11. Значения электромеханической характеристики изложены в таблице 8.

Таблица 8 - Значения электромеханической характеристики

ω , рад/с	104.7	100	95	90	88	40
I_2 , А	13.6	120.7	179.5	203.4	220.6	236
I_1 , А	13.6	127.5	186.1	209.9	227.2	242.6

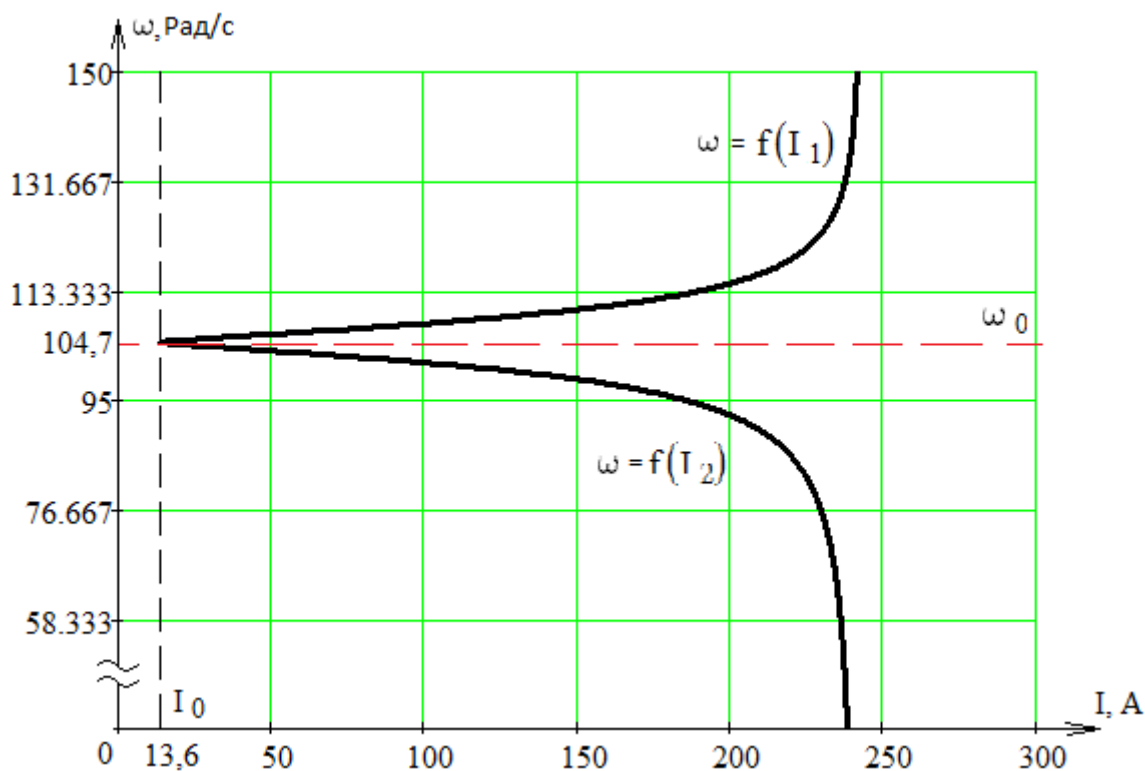


Рис. 11 - Естественные электромеханические характеристики асинхронного двигателя

Механическую характеристику асинхронного двигателя рассчитываем по приведённой ниже формуле:

$$M = \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_0 s \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 \right]}$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя имеет критический момент и критическое скольжение, определяющиеся по приведённым ниже выражениям:

$$M_K = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2} \right]} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,72 \cdot 1,015 \cdot \left[0,069 + \sqrt{(0,069^2 + 0,876^2)} \right]} = 721,1 \text{ Нм,}$$

$$s_K = \pm R_2' \sqrt{\frac{1 + (R_1 / X_{\mu H})^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,068 \sqrt{\frac{1 + (0,069 / 15,08)^2}{0,069^2 + 0,876^2}} = 0,078.$$

Под знаком (+) понимается то, что критический момент и скольжение относятся к двигательному режиму, под знаком (-) – относятся к

генераторному режиму.

При этом:

$$\omega_H = \omega_0 \times (1 - s_H) = 104.72 \times (1 - 0.02) = 102,6 \text{ об / мин} - \text{номинальная скорость};$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{37 \cdot 10^3}{102,6} = 360,5 \text{ Нм} - \text{номинальный момент}.$$

Задаваясь скольжением s рассчитываем естественную механическую характеристику АД, приведенную на рисунке 12. Значения механической характеристики приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Значения механической характеристики

ω , рад/с	104,7	102,6	101	98,4	95	72	0
M , Н·м	0	360,5	400	500	720	353	119

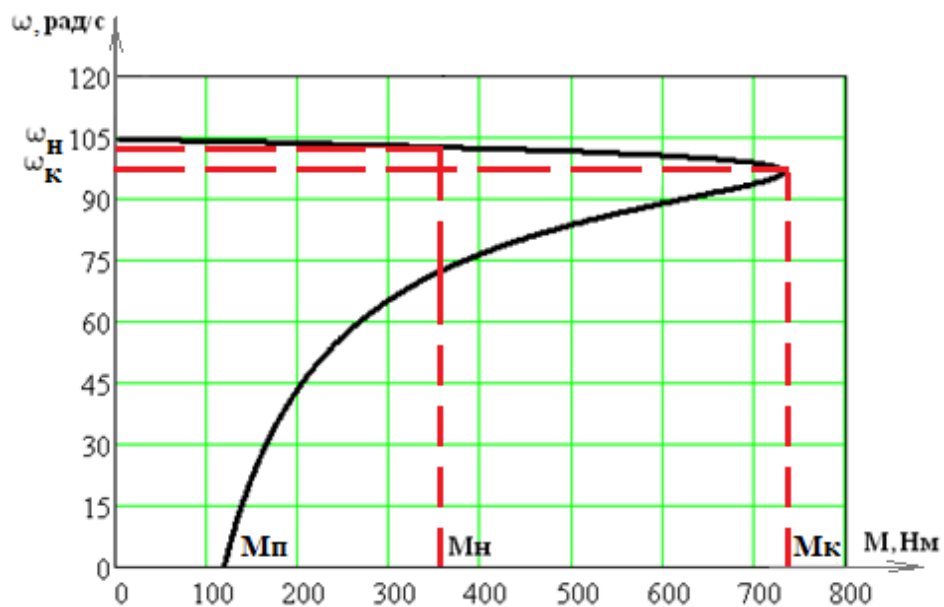


Рис. 12 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

3.2. Расчет и построение искусственных (регулируемых) и нагрузочных характеристик

3.2.1. Расчет и построение искусственных характеристик

Расчет механических характеристик произведем в соответствии с выражением:

$$M = \frac{3U_{1j}^2 R_2'}{\omega_0 s \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 \right]}$$

При уменьшении фазного напряжения U_{1j} синхронная скорость ω_0 и критическое скольжение s_k двигателя остаются неизменными, а критический момент двигателя M_k снижается пропорционально квадрату фазного напряжения. В соответствии с этим уменьшается жесткость рабочей области механической характеристики.

Напряжение изменится в соответствии с приведённым ниже выражением:

$$U_j = \frac{1 + \cos(\alpha)}{2} \cdot U_{1н},$$

где α - угол открывания тиристорov,

$U_{1н}$ - номинальное фазное напряжение.

Критический момент:

$$M_k = \frac{m \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2} \right)}$$

Рассчитаем значение критического момента для $\alpha = 30^\circ, \alpha = 60^\circ, \alpha = 90^\circ$

для $\alpha = 30^\circ$:

$$U_0 = \frac{1 + \cos(30)}{2} \cdot 220 = 205,69 \text{ В};$$

$$M_k = \frac{m \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2} \right)} = \frac{3 \cdot 205,69^2}{2 \cdot 104,7 \cdot \left(0,069 \pm \sqrt{(0,069^2 + 0,876^2)} \right)} = 639,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

для $\alpha = 60^\circ$:

$$U_0 = \frac{1 + \cos(60)}{2} \cdot 220 = 165 \text{ В};$$

$$M_k = \frac{m \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2} \right)} = \frac{3 \cdot 165^2}{2 \cdot 104,7 \cdot \left(0,069 \pm \sqrt{(0,069^2 + 0,876^2)} \right)} = 411,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

для $\alpha = 90^\circ$:

$$U_0 = \frac{1 + \cos(90)}{2} \cdot 220 = 110B ;$$

$$M_{\kappa} = \frac{m \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\kappa H}^2} \right)} = \frac{3 \cdot 110^2}{2 \cdot 104,7 \cdot \left(0,069 \pm \sqrt{0,069^2 + 0,876^2} \right)} = 183 H \cdot m$$

Задаваясь скольжением s рассчитываем регулировочные механические характеристики АД, приведенные на рисунке 13. Значения характеристик приведены в таблицах 10, 11, 12.

Таблица 10 – Значения механической характеристики при $\alpha = 30^\circ$

ω , рад/с	104,7	102,9	100,3	97	45	0
М, Н·м	0	87,5	262,5	612,5	172	102,9

Таблица 11 – Значения механической характеристики при $\alpha = 60^\circ$

ω , рад/с	104,7	102,5	97	30	0
М, Н·м	0	87,5	401,7	93,2	78,6

Таблица 12 – Значения механической характеристики при $\alpha = 90^\circ$

ω , рад/с	104,7	99,2	97	75	0
М, Н·м	0	87,5	170	95,1	34

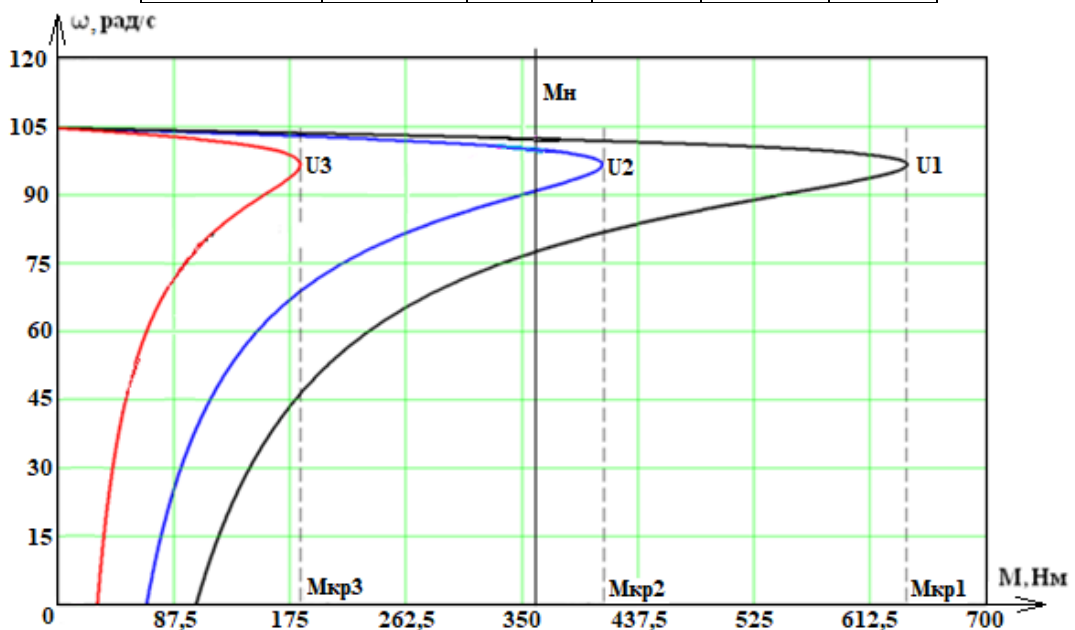


Рис. 13 – Искусственные электромеханические характеристики

Электромеханическую регулировочную характеристику строим в соответствии с формулой:

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}$$

Задаваясь скольжением s рассчитываем регулировочные электромеханические характеристики АД приведенные на рисунке 14. Числовые значения электромеханической характеристики изложены в таблицах 13, 14, 15.

Таблица 13 – Значения электромеханической характеристики при $\alpha = 30^\circ$

ω , рад/с	104,7	98	97	94	0
I_2 , А	13,6	62,6	125	187,5	233,1

Таблица 14 – Значения электромеханической характеристики при $\alpha = 60^\circ$

ω , рад/с	104,7	99	96	92	0
I_2 , А	13,6	62,6	125	156	186

Таблица 15 – Значения электромеханической характеристики при $\alpha = 90^\circ$

ω , рад/с	104,7	102	95	90	0
I_2 , А	13,6	62,6	93,8	106,6	123

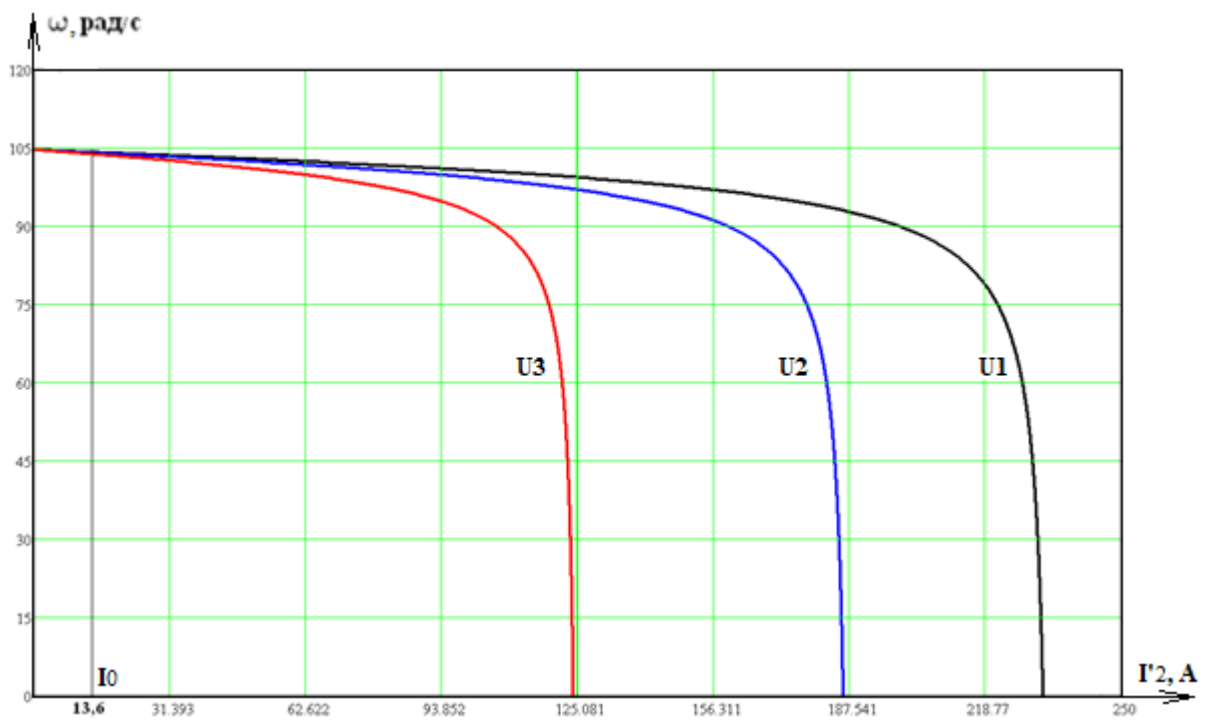


Рис. 14 - Регулировочные электромеханические характеристики

$$\omega = f(I_2')$$

Электромеханическую регулировочную характеристику строим в соответствии с формулой:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

Задаваясь скольжением s рассчитываем регулировочные электромеханические характеристики АД приведенные на рисунке 15. Числовые значения электромеханической характеристики изложены в таблицах 16,17, 18.

Таблица 16 – Значения электромеханической характеристики при $\alpha = 30^\circ$

ω , рад/с	104,7	98	97	94	0
I_2 , А	13,6	62,6	125	187,5	233,1

Таблица 17 – Значения электромеханической характеристики при $\alpha = 60^\circ$

ω , рад/с	104,7	99	96	92	0
I_2 , А	13,6	62,6	125	156	186

Таблица 18 – Значения электромеханической характеристики при $\alpha = 90^\circ$

ω , рад/с	104,7	102	95	90	0
I_2 , А	13,6	62,6	93,8	106,6	123

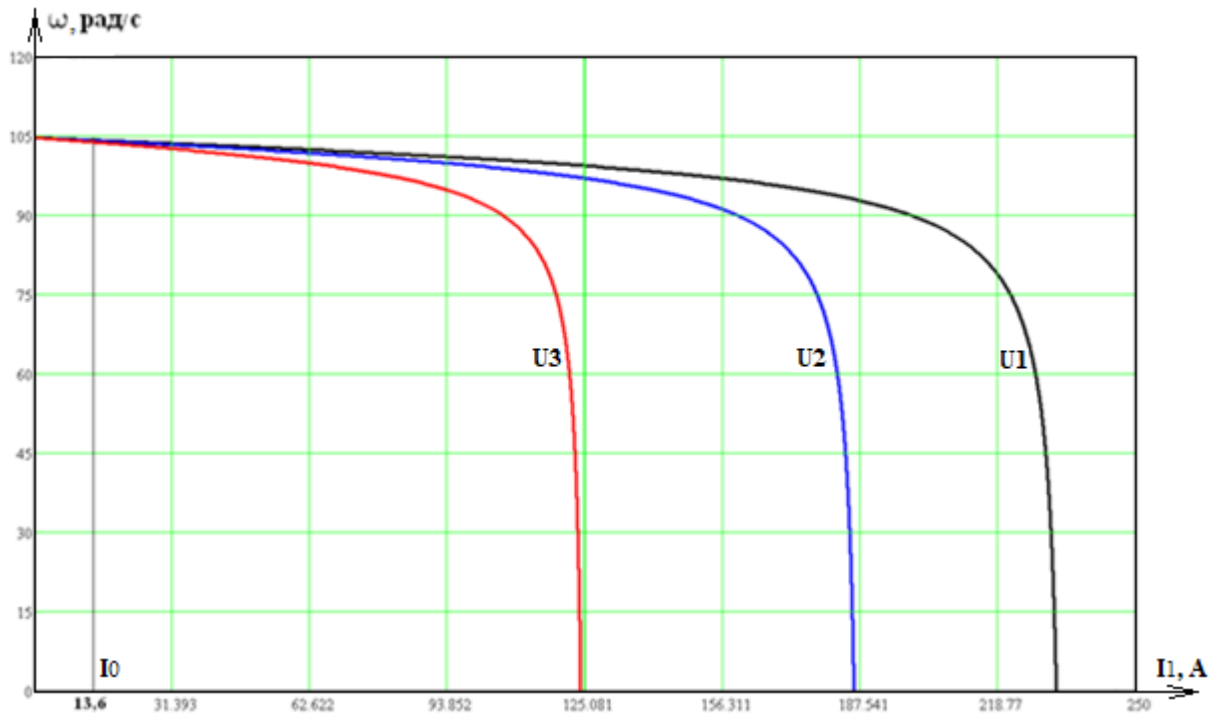


Рис. 15 - Регулировочные электромеханические характеристики

$$\omega = f(I_1)$$

3.2.2. Расчёт и построение нагрузочной характеристики производственного механизма

Уравнение механической характеристики данного механизма имеет вид:

$$M_c = M_0 + k \cdot \omega^x,$$

где M_0 – момент сопротивления от сил трения в движущих частях производственного механизма;

k – коэффициент пропорциональности;

x – показатель степени; $x=3$, при движении в жидкости (как в нашем случае).

Для определения реальной механической характеристики центробежный насоса (кривой нагрузки) произведем следующие расчеты.

Определение коэффициента пропорциональности:

$$k = \frac{M_H - M_0}{\omega_{НОМ}^3},$$

где $M_0 = 0.075M_H$.

Тогда:

$$k = \frac{360,5 - (0.075 \cdot 360,5)}{104,7^3} = 2,9 \cdot 10^{-4}.$$

Уравнение для построения нагрузочной кривой:

$$M(\omega) = M_0 + k \cdot \omega^3.$$

На рисунке 16 приведена механическая характеристика рассматриваемого производственного механизма.

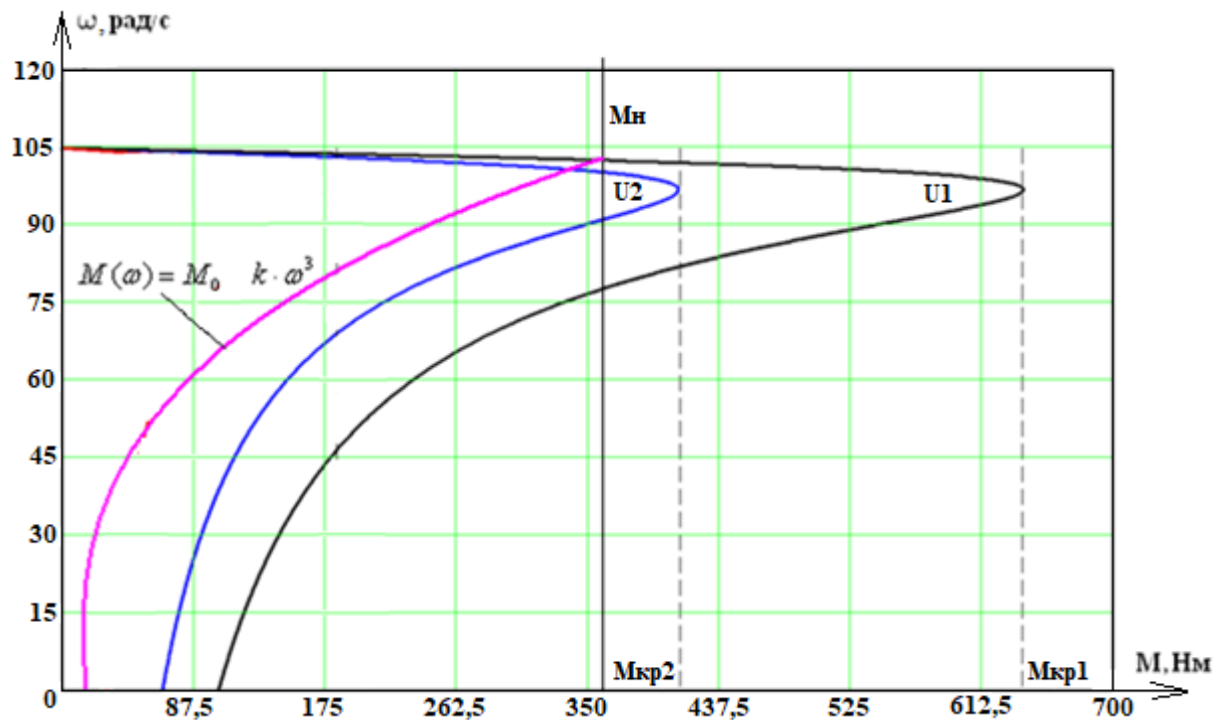


Рис. 16 – Регулировочная механическая характеристика асинхронного двигателя

3.3. Расчет энергетических показателей электропривода

Номинальный режим двигателя.

Полная мощность потерь определяется следующим образом:

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 37000 \cdot \left(\frac{1}{0,91} - 1 \right) = 3659 \text{ Вт}.$$

Переменная составляющая потери мощности определяется следующим образом:

$$\Delta P_{V.H} = M_H (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) = 360,5 \cdot (104,72 - 102,6) \cdot \left(1 + \frac{0,069}{0,068}\right) = 1540 \text{ Вт}.$$

Постоянная составляющая потери мощности определяется следующим образом:

$$\Delta P_{C.H} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H} = 3659 - 1540 = 2119 \text{ Вт}.$$

Коэффициент потерь мощности определяется следующим образом:

$$a = \frac{\Delta P_{C.H}}{\Delta P_{V.H}} = \frac{2119}{1540} = 1,37.$$

Активная энергия.

Полезный расход энергии (механическая работа) определяется следующим образом:

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 360,5 \cdot 100,865 \cdot 28800 = 1,047 \cdot 10^9, [\text{Вт} \cdot \text{с}]$$

где ω_C , t_C – соответственно угловая скорость и время установившегося режима.

t_C – время установившегося режима принимаем равным времени рабочей смены (8 часов).

Постоянная составляющая потери энергии определяется следующим образом:

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \cdot \left(\frac{\omega_C}{\omega_H}\right)^2 \cdot t_C = 2119 \cdot \left(\frac{101}{104,7}\right)^2 \cdot 28800 = 0,56 \cdot 10^8 [\text{Вт} \cdot \text{с}].$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме равен:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_\kappa}\right)^2 + (X_\kappa)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,069 + \frac{0,068}{0,078}\right)^2 + (0,876)^2}} = 171,8 [\text{А}].$$

Переменная составляющая потери энергии определяется следующим образом:

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (\epsilon \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_c,$$

где ϵ - поправочный коэффициент

$$\epsilon = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 13,6 \cdot 0,876}{220} = 1,108,$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [13,6^2 \cdot 0,069 + 13,6^2 \cdot (1,108 \cdot 0,069 + 0,068)] \cdot 28800 = 1,35 \cdot 10^6 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Потребляемая из сети энергия определяется следующим образом:

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 1,047 \cdot 10^9 + 0,56 \cdot 10^8 + 1,35 \cdot 10^6 = 1,104 \cdot 10^9 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Реактивная энергия.

Потребление реактивной энергии определяется следующим образом:

$$\sum A_p = \sum_{i=1}^n 3 [I_0^2 \cdot (X_1 + X_\mu) + (I_{2i}')^2 \cdot (X_1 + X_2')] \cdot t_{ci};$$

где n – число установившихся режимов;

X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя.

В таком случае:

$$\sum A_p = 3,5 \cdot 10^9 \text{ В} \cdot \text{А},$$

Энергетические показатели электропривода.

Энергетический (среднецикловый) КПД электропривода определяется следующим образом:

$$\eta_s = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{1,047}{1,104} \cdot 100\% \approx 94,8\%,$$

где $\sum A_2$ – суммарный расход полезной энергии за один цикл;

$\sum A_1$ – суммарное потребление энергии из сети за один цикл.

Энергетический коэффициент мощности электропривода определяется следующим образом:

$$\cos \varphi_s = \frac{\sum A_2}{\sqrt{(\sum A_2)^2 + (\sum A_p)^2}} = \frac{1,047 \cdot 10^9}{\sqrt{(1,047 \cdot 10^9)^2 + (3,5 \cdot 10^9)^2}} = 0,389.$$

4. Имитационное моделирование системы с помощью программы Matlab Simulink

4.1 Пуск электродвигателя от сети

Пуск электродвигателя напрямую от сети осуществляется подачей полного напряжения сети $U = 220V$ на обмотку статора. При этом происходит бросок тока равный $6.5 \cdot I_H$ и пусковой момент превышает номинальный момент.

Эти процессы негативно влияют на механику электродвигателя и приводит к большому падению напряжения питающей сети. В результате значительно сокращается срок службы асинхронной машины.

На рисунок 17 показана схема пуска асинхронного электродвигателя напрямую от сети. На рисунках 18, 19 показаны переходные процессы $M=f(t)$ и $w = f(t)$, происходящие в электродвигателе без нагрузки и под нагрузкой, соответственно.

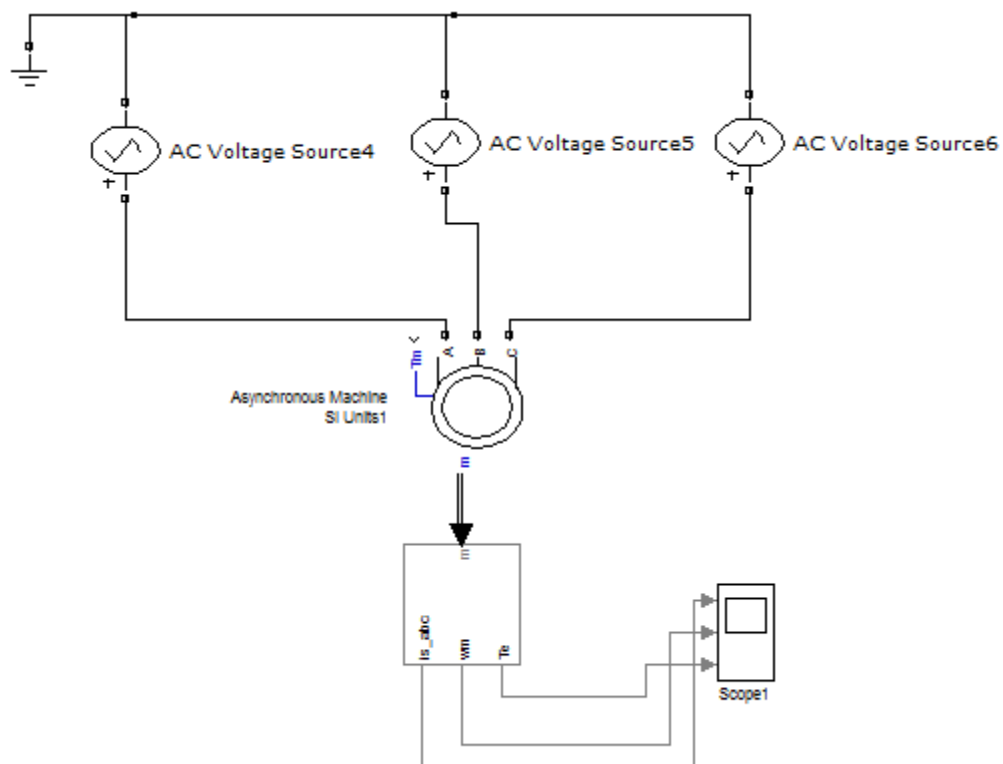


Рис. 17 – Имитационная модель пуска двигателя от сети

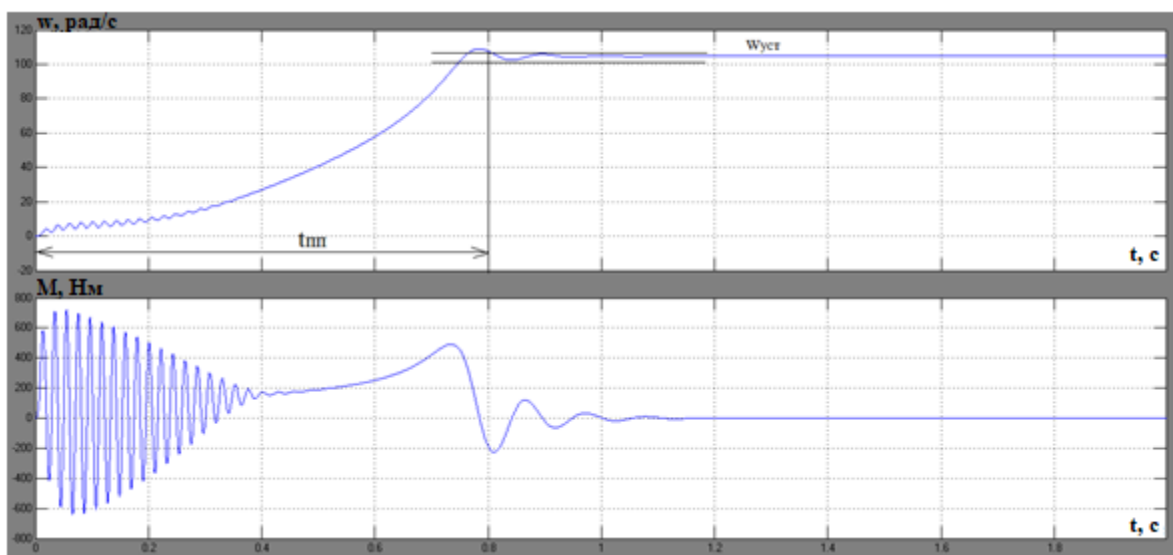


Рис. 18 – Переходные процессы двигателя без нагрузки

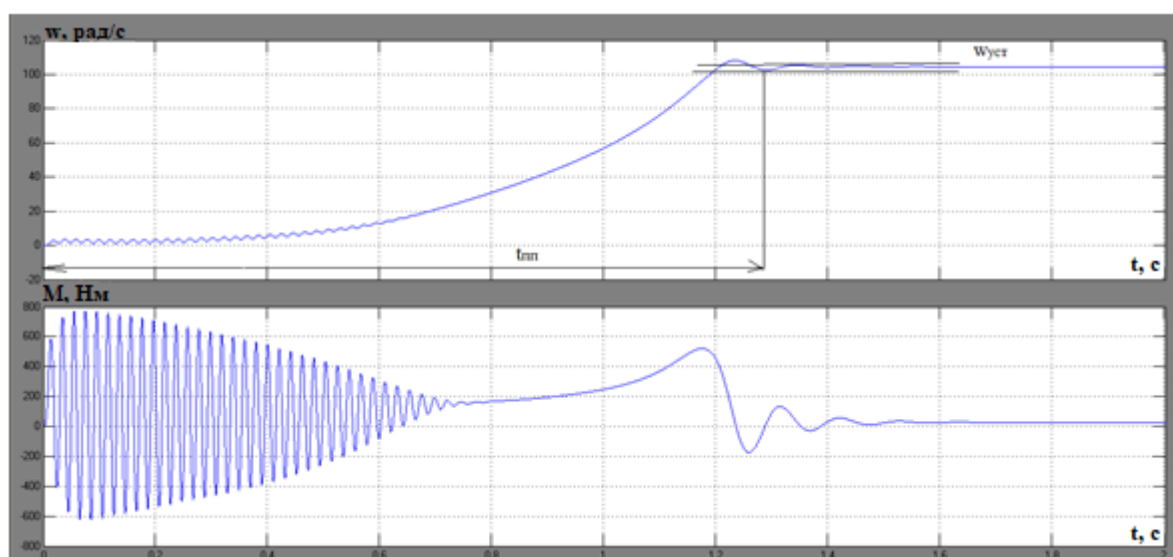


Рис. 19 – Переходные процессы двигателя под нагрузкой

Исходя из результатов, полученных из рисунков 18 и 19, время переходного процесса при пуске без нагрузки меньше, чем под нагрузкой (разница во времени составляет 0,5 с). При пуске под нагрузкой скорость уменьшается. При отсутствии нагрузки кривая электромагнитного момента имеет менее длительный колебательный характер.

4.2 Пуск электродвигателя с помощью ТРН

Силовая часть асинхронного электропривода включает в себя по паре встречно-параллельных тиристоров в каждой фазе.

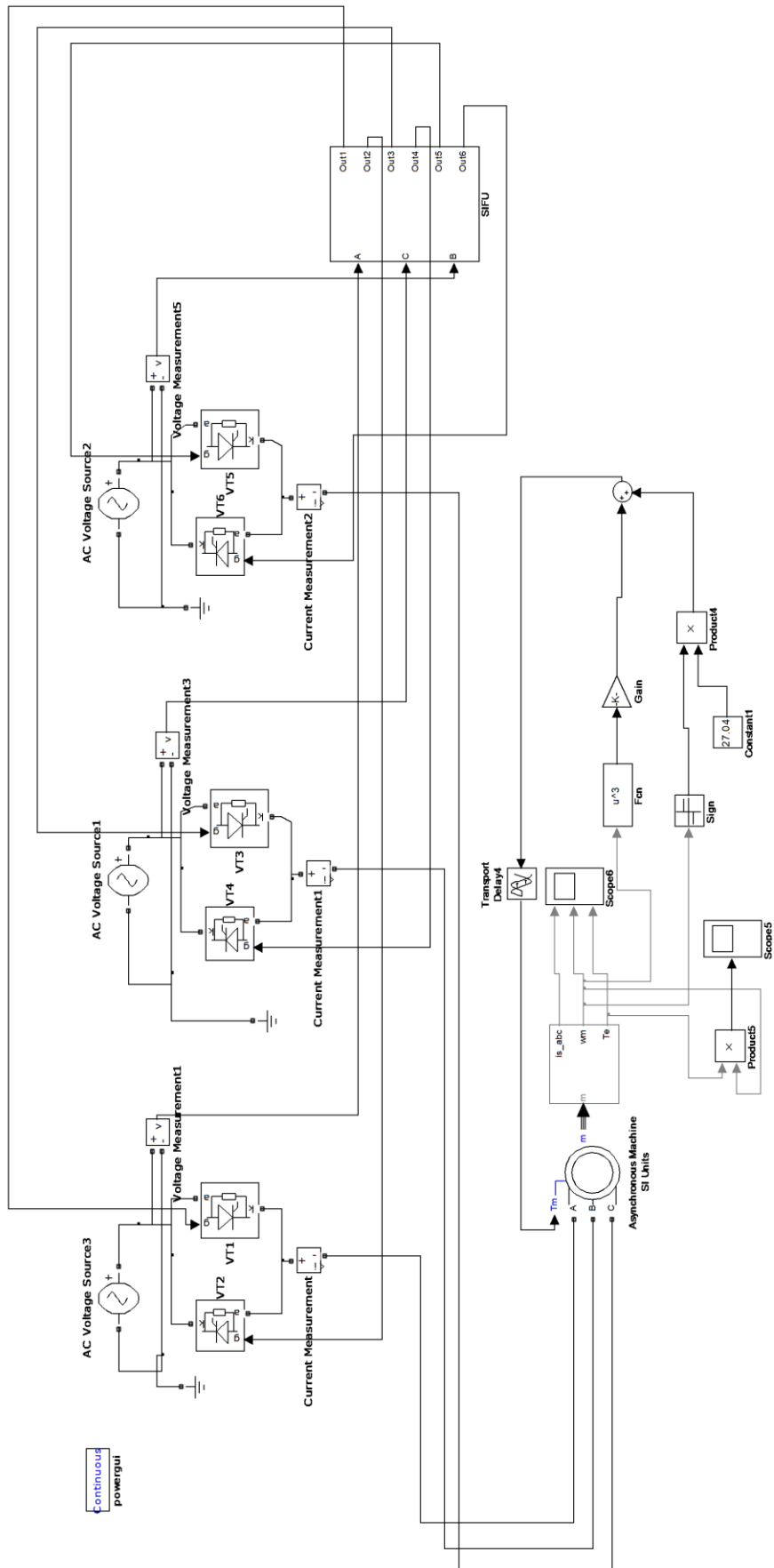


Рис. 20 – Имитационная модель пуска двигателя с ТРН

Для создания имитационной модели использовались следующие блоки: источники пилообразного, прямоугольного сигналов, и задатчик угла α в виде блока Signal builder. Напряжение в фазе С сдвигается с помощью элемента Transport Delay на значение $\frac{120 \cdot 0.02}{360} = 0.0066667$ с, где 0.02- период синусоиды фазы В в секундах, 360 - период синусоиды в градусах, а 120 градусов – начало естественной точки коммутации. Аналогично для фазы В напряжение необходимо сдвинуть на $\frac{240 \cdot 0.02}{360} = 0.01333$ с.

SIFU – Блок системы импульсно-фазового управления представлен на рисунке 21.

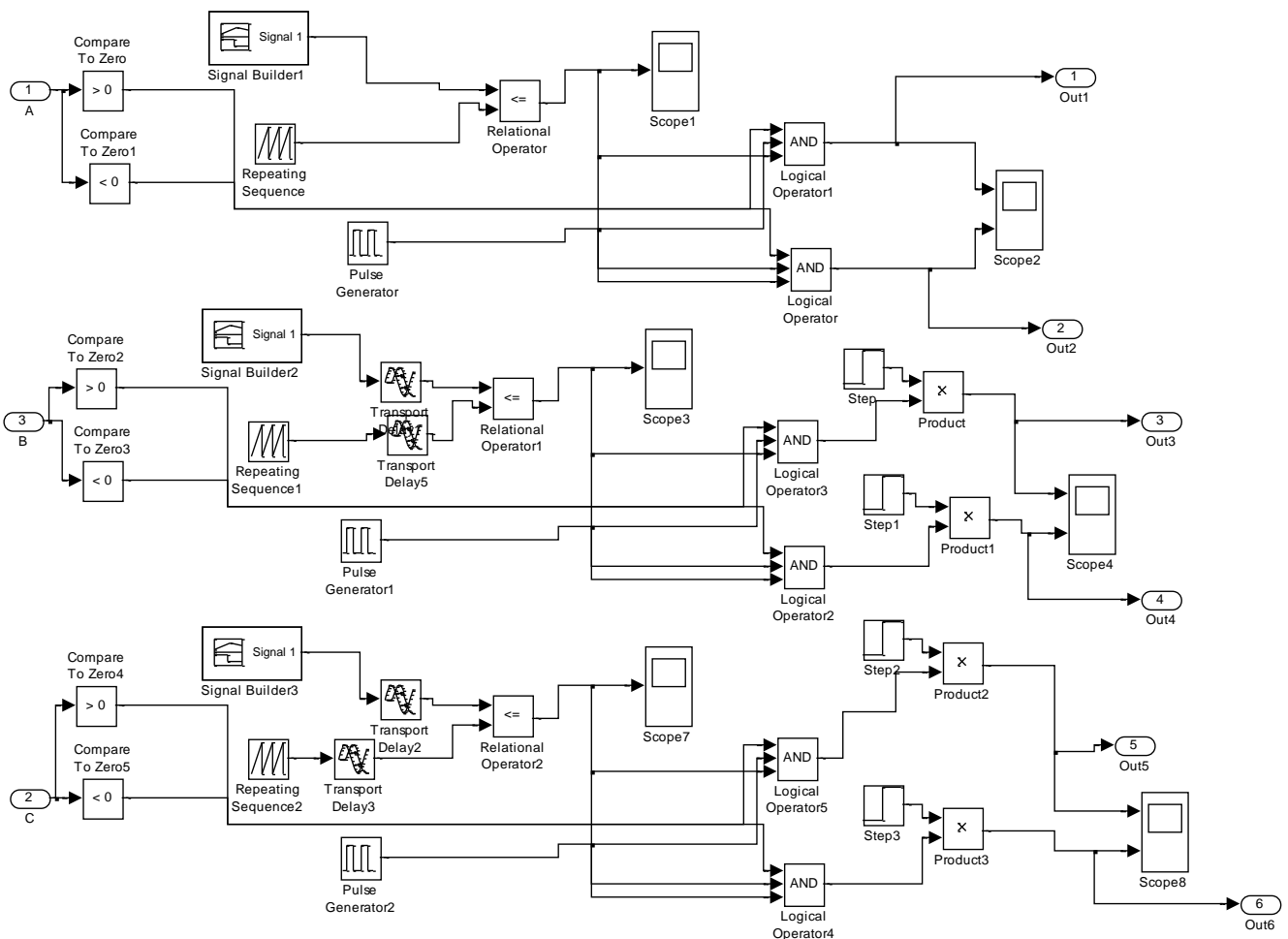


Рис. 21 – Имитационная схема СИФУ

Переходные процессы $M=f(t)$ и $w = f(t)$ плавного пуска ТРН изображены на рисунки 22, 23.

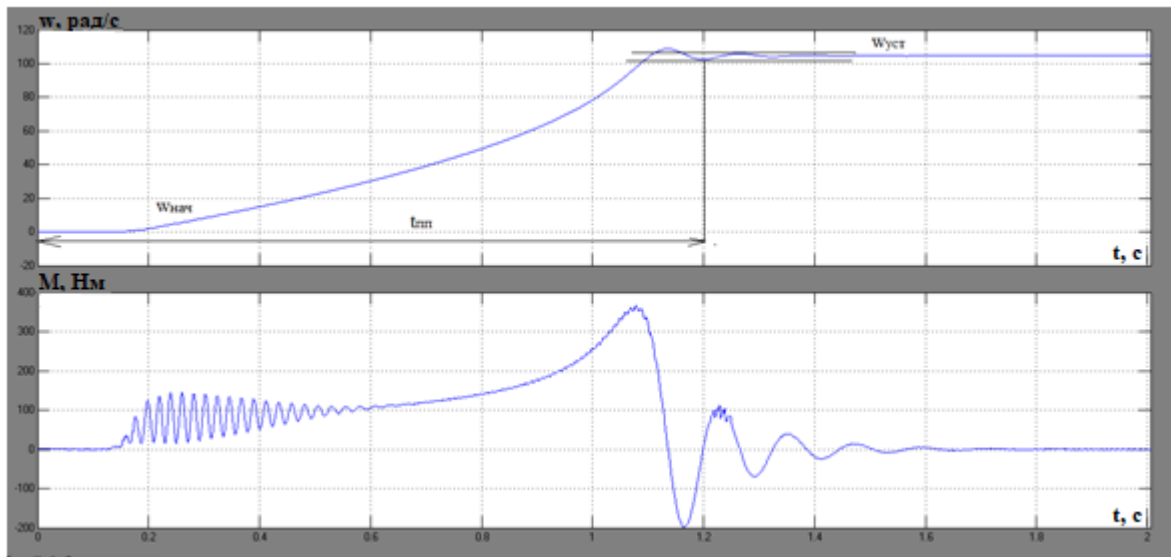


Рис. 22 – Переходные процессы двигателя с ТРН на холостом ходу

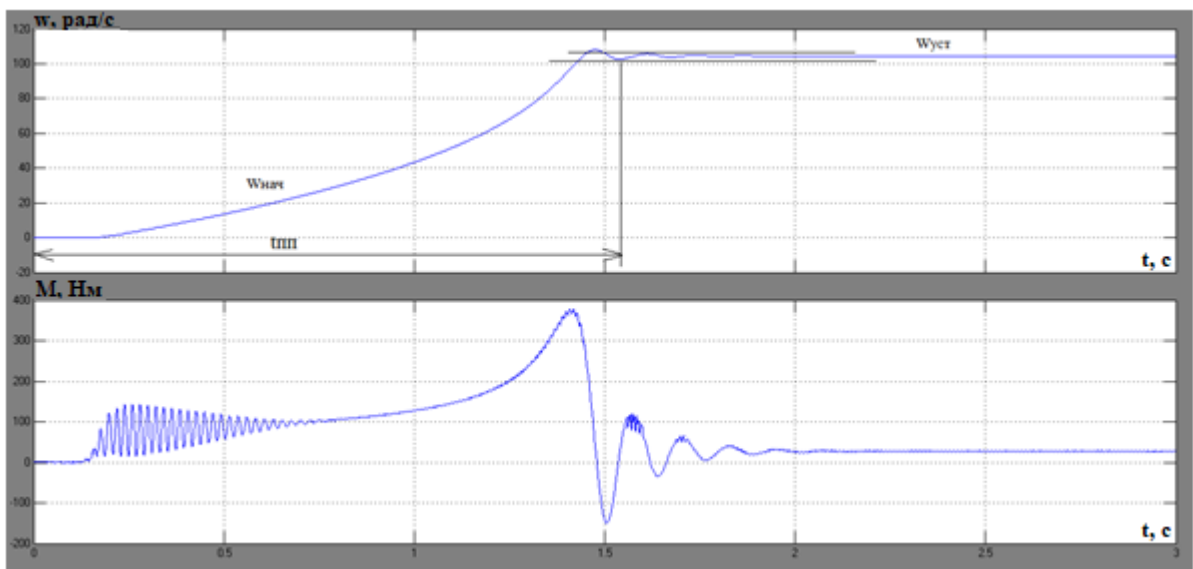


Рис. 23 – Переходные процессы двигателя с ТРН под нагрузкой

Из рисунков 22 и 23 видно, что с помощью ТРН произошел плавный пуск двигателя. Время переходного процесса при пуске без нагрузки меньше, чем под нагрузкой (разница во времени составляет 0,2 с).

Тиристорные регуляторы напряжения чаще всего используются как системы плавного пуска. С увеличением угла открывания тиристоров, увеличивается напряжение, подаваемое на клеммы обмотки статора асинхронного двигателя, тем самым облегчая его пуск. Такие системы используются для запуска двигателей большой мощности.

Плавный пуск улучшает экономические, технические показатели, и увеличивает срок службы двигателя.

5. Расчет параметров структурной схемы

5.1. Составление структурной схемы системы регулируемого электропривода

Произведём составление структурной схемы для асинхронного двигателя, который управляется по цепи обмоток статора путём изменения напряжения. [9]

Линеаризованная структурная схема системы «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» с отрицательной обратной связью по скорости изображена на рисунке 24.

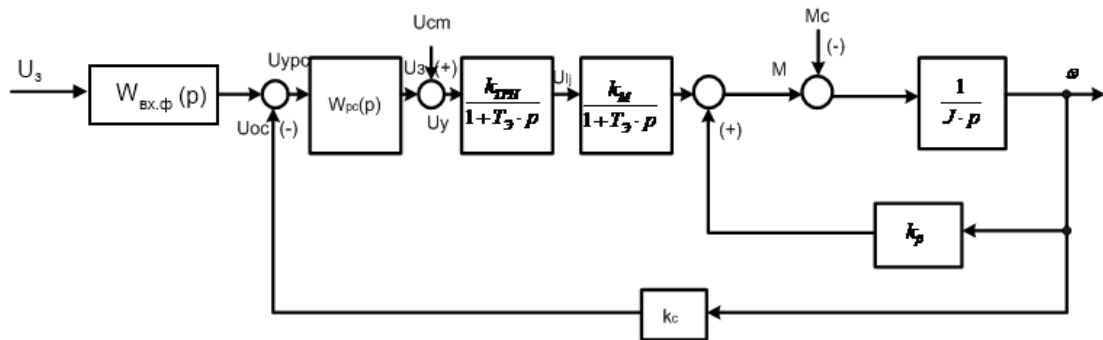


Рис. 24 - Структурная схема асинхронного электропривода с регулированием напряжения статора.

Все обозначения, которые были приведены на рисунке 24, имеют расшифровку ниже:

$W_{рс}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

$k_c = k_{дс} \cdot k_{сс}$ - коэффициент обратной связи по скорости, $B \cdot c / рад$;

$k_{дс}$ - коэффициент передачи датчика скорости, $B \cdot c / рад$;

$k_{сс}$ - коэффициент согласования, о.е.;

$k_{тпд} = k_n \cdot k_1; T_{тпд}$ - коэффициент передачи и постоянная времени тиристорного регулятора напряжения;

J_{Σ} - момент инерции электропривода;

В роли расчетного значения коэффициента чувствительности по моменту k_m принимается его максимальное значение, то есть значение $k_m = 2 \cdot M_{кн}$, при котором условия устойчивости контура регулирования скорости наиболее худшие.

Принимаем $k_\beta = 0$, то есть в данном случае механическая характеристика АД в области регулирования скорости принимается абсолютно мягкой.

Эта допущение может быть возможным для синтеза параметров регулятора скорости, так как основная область регулирования скорости находится в зоне неустойчивых участков механических характеристик асинхронного двигателя. Вопреки этому, изучение переходных процессов следует выполнять с учетом максимально возможного положительного значения коэффициента β , при котором условия устойчивости системы также наиболее худшие.

Разомкнутый контур скорости, который непосредственно настроен на модульный оптимум, должен обладать приведённой ниже передаточной функцией:

$$W_{мо}(p) = \frac{1}{a_{\mu c} \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1)},$$

где $a_{\mu c} = 1-6$ - коэффициент для выполнения процесса настройки на модульный оптимум контура скорости;

$a_{\mu c} = 2$ - стандартный коэффициент для выполнения процесса настройки.

Передаточная функция разомкнутого контура скорости рассматриваемой системы находится благодаря нижеприведённому выражению:

$$W_{кc}(p) = W_{pc}(p) \cdot \frac{k_{тpн}}{T_{тpн} \cdot p + 1} \cdot \frac{k_m}{1 + T_\sigma \cdot p} \cdot \frac{1}{J_\Sigma \cdot p} \cdot k_c.$$

Для того, чтобы упростить решение для задачи синтеза параметров регулятора скорости, сделаем понижение порядка передаточной функции

контура скорости. Для этого произведём нахождение суммарной малой постоянной времени $T_m = T_{mрн} + T_э$, в таком случае выражение примет следующий вид:

$$W_{kc}(p) = W_{pc}(p) \cdot \frac{k_{mрн} \cdot k_m}{T_m \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{J_\Sigma \cdot p} \cdot k_c.$$

Приравняв обе правые части данных выражений, решаем данное уравнение относительно передаточной функции регулятора скорости, в итоге, выражение примет следующий вид:

$$W_{mo}(p) = \frac{(1 + T_m \cdot p) \cdot J_\Sigma \cdot p}{a_{\mu c} \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1) \cdot k_c \cdot k_{mрн} \cdot k_m}.$$

В случае, если примем равным $T_m = T_{\mu c}$, тогда регулятор скорости в данном случае станет иметь следующую передаточную функцию:

$$W_{pc}(p) = \frac{J_\Sigma}{a_{\mu c} \cdot T_{\mu c} \cdot k_c \cdot k_{mрн} \cdot k_m} = k_{pc}.$$

В итоге, в процессе настройки контура скорости на модульный оптимум, регулятор скорости пропорционального типа с коэффициентом передачи k_{pc} .

Произведём оценивание в первом приближении устойчивости электропривода, который выполнен в соответствии со структурной схемой, для этого находим передаточную функцию замкнутой системы по управляющему воздействию по приведённому ниже выражению:

$$W_{zy}(p) = \frac{k_{pc} \cdot k_{mn} \cdot k_m \cdot k_\beta}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0},$$

где
$$a_0 = \frac{k_{pc} \cdot k_{mn} \cdot k_m \cdot k_c}{k_\beta} \pm 1,$$

$$a_1 = T_m \pm T_{mрн} \pm T; a_2 = T_m \cdot T_{mрн} + T_m \cdot T_э \pm T_э \cdot T_{mрн}; a_3 = T_э \cdot T_{mрн} \cdot T_m -$$

коэффициенты характеристического уравнения.

Из критерия Льенара-Шипара для характеристического уравнения третьего порядка следует тот факт, что рассматриваемая в данном случае система будет устойчива при следующем условии:

$$T_m \cdot T_{трн} + T_m \cdot T_э > T_э \cdot T_{трн};$$

$$T_m > T_{трн} + T_э;$$

$$k_{рс} \cdot k_{трн} \cdot k_m \cdot \frac{k_c}{k_\beta} > 1 \quad (*)$$

$$(T_m \cdot T_{трн} + T_m \cdot T_э \pm T_э \cdot T_{трн})(T_m \pm T_{трн} \pm T_э) - (k_{рс} \cdot k_{трн} \cdot k_m \cdot k_c \frac{1}{k_\beta} \pm 1) > 0.$$

Система уравнений (*) объективна для действительных параметров электроприводов, в частности, для положительных и отрицательных значений жесткости k_β .

В той ситуации, в которой электропривод с П-регулятором скорости не может обеспечить заданных показателей статической погрешности механических характеристик в заданном диапазоне регулирования скорости, в данном случае контур скорости необходимо настроить на симметричный оптимум.

Разомкнутый контур скорости, который настроен на симметричный оптимум, будет иметь приведённую ниже передаточную функцию:

$$W(p)_{co} = \frac{4 \cdot T_{рс} \cdot p + 1}{a_{cc} \cdot T_{рс}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{рс} \cdot p + 1)},$$

где $a_{cc} = 4-16$ - коэффициент настройки контура скорости на симметричный оптимум; $a_{cc} = 8$ - стандартный коэффициент настройки.

С учетом суммарной малости постоянной времени находится благодаря приведённому ниже уравнению:

$$W_{кc}(p) = W_{рс}(p) \cdot \frac{k_{трн} \cdot k_m}{1 + T_m \cdot p} \cdot \frac{1}{J_\Sigma \cdot p} \cdot k_c.$$

После определённых преобразований получается следующее выражение:

$$W_{рс}(p) = k_{рс} + \frac{1}{T_{рс} \cdot p},$$

где $k_{pc} = \frac{4 \cdot J_{\Sigma}}{a_{cc} \cdot k_{mрн} \cdot k_m \cdot k_c \cdot T_m}$ - значение коэффициента усиления

регулятора скорости;

$T_{pc} = \frac{a_{cc} \cdot k_{mрн} \cdot k_m \cdot k_c \cdot T_m^2}{J_{\Sigma}}$ - значение постоянной времени интегрирования

регулятора скорости, с.

Графики переходных процессов момента и скорости электроприводов, которые настроены на модульный и симметричный оптимум, определены для различных a_{cc} . Тем не менее для асинхронного электропривода, который имеет участок механической характеристики с положительной жесткостью k_{β} , проверка переходного процесса на устойчивость представляет собой практический и теоретический интерес.

Механические характеристики электропривода по типу «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» для задающих напряжений, представленных на рисунок 25. Анализ механических характеристик демонстрирует, что погрешность поддержания заданной скорости электропривода на нижней механической характеристике замкнутой системы U_{32} составляет $\delta = 80\%$.

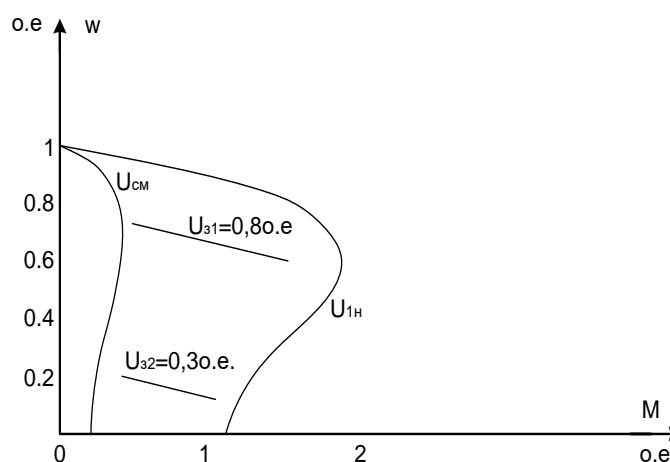


Рис. 25 - Механические характеристики электропривода по типу «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» с П-регулятором скорости.

В той ситуации, в которой указанная погрешность не подходит для требований определённого технологического процесса, следует выбирать параметры регулятора скорости по симметричному оптимуму, то есть в данном случае регулятор скорости следует выбирать пропорционально-интегральным. [10]

5.2. Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени регулируемого электропривода

Найдем жесткость механической характеристики асинхронного двигателя в относительных единицах, которая приведена в выражении ниже:

$$k_{\beta} = -\frac{1}{s_H} = -\frac{1}{0.02} = -50 \text{ о.е.}$$

Коэффициент чувствительности по моменту к изменению первой гармоники напряжения, который приведён в выражении ниже, равен:

$$k_M = \frac{4 \cdot M_{кр} \cdot \omega_0 \cdot s_K \cdot (\omega_0 - \omega_n)}{(\omega_0 - \omega_n)^2 + \omega_0^2 \cdot s_K^2} = \frac{4 \cdot 721,1 \cdot 104,7 \cdot 0,078 \cdot (104,7 - 102,6)}{(104,7 - 102,6)^2 + 104,7^2 \cdot 0,078^2} = 696,7$$

Электромагнитная постоянная времени T_{ε} находится по выражению:

$$T_{\varepsilon} = \frac{X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (R_1 + R_2')} = \frac{0.368 + 0.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot (0.069 + 0.068)} = 0,02 \text{ с.}$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя напряжения находится по выражению:

$$T_{ТРН} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с.}$$

Коэффициент передачи тиристорного регулятора находится по выражению:

$$k_{ТРН} = \frac{U_{1H}}{U_{y \max}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ о.е.}$$

Коэффициент обратной связи по скорости находится по выражению:

$$k_C = \frac{U_{\varepsilon \max}}{\omega_H} = \frac{10}{102,6} = 0,097 \text{ о.е.}$$

6. Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода

Процесс выбора наиболее рациональной структуры электропривода зависит от различных технических требований к регулированию момента и скорости, таких как: условия эксплуатации, экономические и массогабаритные показатели, всевозможные варианты конструктивного исполнения, а также непосредственная стоимость эксплуатации. Благодаря этим всем факторам для продолжительных повторно-кратковременных режимов работы рациональные структуры систем электропривода могут серьёзно отличаться своей сложностью, а также составом аппаратной и элементной базы. В наибольшей степени простые системы по типу «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» выполняются для непосредственного обеспечения плавного пуска и торможения электропривода при небольших требованиях к стабильности диаграммы пуска и торможения. Применяются простые аппаратные средства, которые выполнены на основе цифровых или цифроаналоговых интегральных микросхем среднего уровня.[11]

В случае достаточно высоких требований к точности и сложном характере изменения регулируемых переменных, а также при работе в составе многоуровневых систем управления разнообразных технологических комплексов, системы по типу «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» выполняются с применением самых современных средств микропроцессорного управления. Также, в данном случае могут одновременно выдвигаться требования для обеспечения сложных диаграмм скорости при пуске и торможении, позиционировании, комплекса электрических и механических защит и блокировок, возможности перенастройки уровней, регулируемых переменных при наладке и множество других критериев.

На рисунке 26 показана структурная схема обобщенной системы по типу «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель». Данная структура электропривода может быть сформирована на базе обобщенной

структуры, благодаря выделению необходимых элементов и связей, а также её непосредственных составляющих.

В обобщенную структуру по типу «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» входят такие компоненты как: силовая часть (сокращённо СЧ), которая состоит из силовых тиристорных блоков, шунтируемых силовыми контакторами (сокращённо КМ); источник вторичного питания (сокращённо ИП); датчики напряжения (сокращённо ДН) на входе и выходе СЧ; датчики тока (сокращённо ДТ); датчики температуры силовых элементов, обмоток АД-Дθ; датчик скорости (сокращённо ДС); датчик положения (сокращённо ДП) и электромагнитный тормоз (сокращённо ЭМТ). Система управления включает в себя усилители мощности сигналов управления (сокращённо УМ) питания катушки контактора (сокращённо КМ), сигналов цепей управления VS, а также катушек ЭМТ с оптронной развязкой (сокращённо ОР). [8]

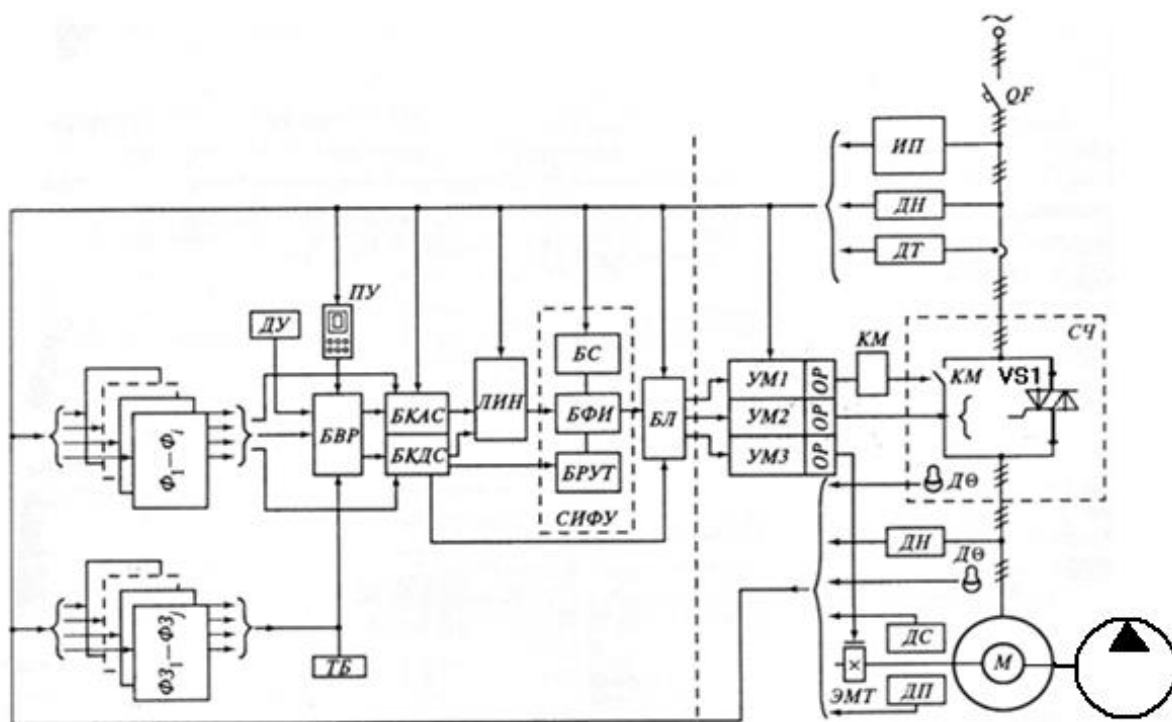


Рис. 26 - Функциональная схема системы по типу «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель»

Сигналы на усилители мощности поступают от блока логики (сокращённо БЛ), который определяет последовательность срабатывания силовых приборов и аппаратов.

Система импульсно-фазового управления (сокращённо СИФУ) с блоком комбинированной синхронизации (сокращённо БС) (по напряжению U и току I) в сочетании с блоком формирования импульсов (сокращённо БФИ) и блоком отдельного управления тиристорами в фазах (сокращённо БРУТ) дают возможность обеспечивать при небольших нагрузках предельно устойчивую работу в разомкнутой системе электропривода. Благодаря специальным режимам данная структура даёт возможность осуществить кратковременное понижение скорости при квазичастотном управлении, форсирование пускового момента, а также вращение вала асинхронного двигателя в прямом и обратном направлении на малых скоростях.

Для того, чтобы получить линейную зависимость выходного напряжения тиристорного регулятора напряжения от входного сигнала система управления, вероятно, может содержать в себе блок линеаризации (сокращённо ЛИН), который на порядок упрощает синтез внешних, относительно СИФУ, обратных связей в замкнутой системе электропривода.

Блоки коммутации аналоговых (сокращённо БКАС) и дискретных сигналов (сокращённо БКДС) по командам от блока выбора режимов (сокращённо БВР) создают последовательность импульсов для элементов управления СИФУ. Блок выбора режимов управляет последовательностью выполнения команд (сигналов) функциональных блоков Φ_1 - Φ_i , блоков защит $\Phi_{З1}$ - $\Phi_{Зi}$, технологических блокировок (сокращённо ТБ), команд с пульта управления (сокращённо ПУ) или дистанционного управления (сокращённо ДУ).

Приведённая выше структура тиристорного регулятора напряжения даёт возможность осуществить формирование различного множества режимов работы и выполнение разнообразных видов защит. [10]

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данной работы является определение экономических показателей проектирования электропривода конвейерной ленты. Для этого необходимо провести анализ конкурентных технических решений, определить трудоемкость проводимых работ, создать график проведения работ, а также сформировать бюджет затрат.

7.1. Анализ конкурентных технических решений

Целью данного раздела является применение оценочной карты для выбора типа исполнения электропривода.

Объектом анализа будет являться асинхронный электропривод насоса на базе тиристорного регулятора напряжения. Для того, чтобы наиболее точно провести анализ нужно использовать всю информацию, которая доступна о конкурентных разработках.

Для сравнения берется два типа исполнения электропривода: преобразователь частоты и тиристорный регулятор напряжения. Для сравнения выбраны следующие технические критерии: энергопотребление, помехоустойчивость, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации, надежность и такие экономические критерии как: цена, послегарантийное обслуживание, заявленный срок эксплуатации. [12]

Результаты приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ТРН	ПЧ	$K_{ТРН}$	$K_{ПЧ}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки					
1. Энергопотребление (А)	0,22	7	5	1,54	1,1

2. Помехоустойчивость (Б)	0,16	5	4	0,8	0,64
3. Диапазон регулируемости скорости (В)	0,25	8	5	2	1,25
4. Удобство в эксплуатации (Г)	0,16	5	4	0,8	0,64
5. Надежность(Д)	0,19	6	6	1,14	1,14

Существует формула, при помощи которой мы сможем провести анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Таблица 20 – Определение коэффициента весомости по методу парного сравнения

Оцениваемые параметры	Оцениваемые параметры					Σ, расчет веса критерия
	А	Б	В	Г	Д	
А	-	1	2	2	2	7/20=0,35
Б	1	-	1	1	2	5/20=0,25
В	0	1	-	2	2	5/20=0,25
Г	0	1	0	-	2	3/20=0,15
Д	0	0	0	0	-	0/20=0
ИТОГО:	1	3	3	5	8	20

Пояснения к таблице:

А – Энергопотребление;

Б – Помехоустойчивость;

В – Диапазон регулирования скорости;

Г – Удобство в эксплуатации;

Д – Надёжность.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,15 \times 7 = 1,05$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(\text{ИР}) = 1,54 + 0,8 + 2 + 0,8 + 1,14 = 6,28$$

$$K(\text{ПЧ}) = 1,1 + 0,64 + 1,25 + 0,64 + 1,14 = 4,77$$

По результатам, приведенным в таблице 19, следует вывод, что лучше применять электропривод на базе импульсный регулятор напряжения потому, что он лучше по таким критериям как: энергопотребление, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации и помехоустойчивость.

7.2. Планирование научно – исследовательских работ

Планирование работ является важным аспектом при проектировании. Он позволяет выполнять проект точно в срок, а также позволяет довольно точно рассчитать заработную плату работников, занимающихся проектированием. Над данным проектом работает команда из двух человек – руководитель проекта и проектировщик. Каждый из них выполняет свои обязанности, но некоторую часть работы они выполняют вместе.

Этапы работ представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Руководитель проекта
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер-проектировщик
3	Подбор направления исследования	Руководитель проекта и инженер-проектировщик
4	Календарное планирование по теме	Руководитель проекта
5	Расчет параметров электродвигателя	Инженер-проектировщик
6	Выбор электродвигателя и ИР	Инженер-проектировщик
7	Расчет параметров схемы замещения	Инженер-проектировщик
8	Моделирование	Инженер-проектировщик
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель проекта
10	Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер-проектировщик
11	Оценка результатов	Руководитель проекта
12	Обработка документации	Инженер-проектировщик
13	Составление отчета по проекту	Инженер-проектировщик

В ходе данного раздела работы был составлен перечень работ, необходимый для успешной реализации проекта. Как можно заметить, научный проект будет содержать 13 основных этапов работ, разделенных между двумя исполнителями – инженером-проектировщиком и

руководителем проекта. Данное планирование позволяет эффективно распределить трудовые ресурсы и практически полностью избежать растрат времени на согласование работ.

7.3. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, потому что зависит от многих факторов, которые очень трудно учесть. Для того, чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости $t_{ожі}$ воспользуемся формулой:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дней;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дней;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дней.

После того, как были определены ожидаемые трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в днях T_p , за счет которой можно учесть параллельность выполнения работ одновременно несколькими исполнителями. Также необходимо точно рассчитать заработную плату, так как удельный вес заработной платы в общей смете стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дней;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

Пример расчета трудоемкости и продолжительности работы №2:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2;$$

$$T_{\text{Рi}} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \approx 4.$$

Данные по продолжительности работ сведены в таблицу 22.

Таблица 22 - Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ожі}}$, чел-дни		$T_{\text{Рi}}$		в	
	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.
1	1	-	2	-	1,4	-	1	-	1	-
2	-	3	-	6	-	4,2	-	4	-	6
3	2	2	3	3	2,4	2,4	1	1	1	1
4	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
5	-	2	-	5	-	3,2	-	3	-	4
6	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
7	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
8	-	11	-	17	-	13,4	-	13	-	19
9	4	-	7	-	5,2	-	5	-	7	-
10	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
11	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
12	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
13	-	6	-	9	-	7,2	-	7	-	10

Таблица 23 – Итоги планирования работ

Общее количество рабочих дней для выполнения работы	62
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер-проектировщик	52
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель проекта	11

В данном пункте рассчитан и построен календарный график выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 8 февраля и закончить 8 мая 2018 года.

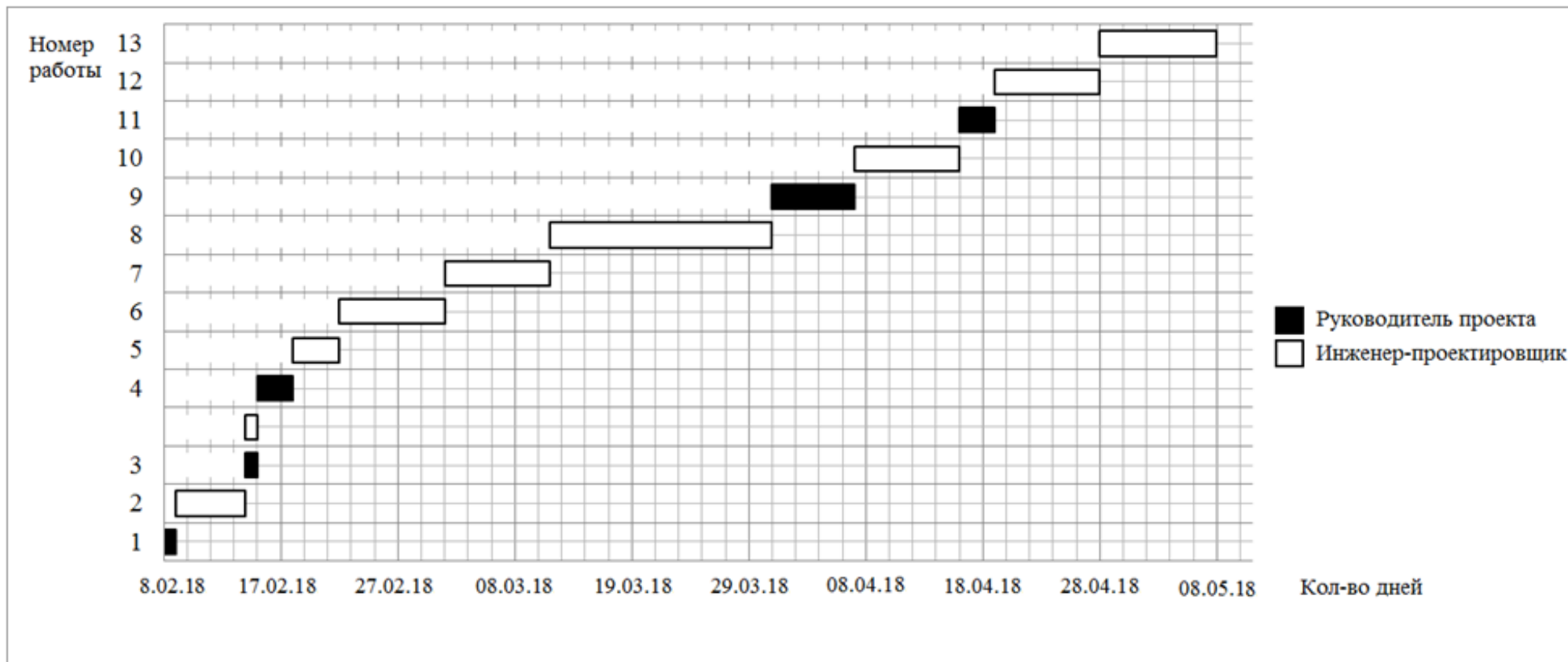


Рис. 27 - Диаграмма Ганта

7.4. Бюджет научно – технического проектирование (НТП)

Для того, чтобы запланировать бюджет НТП необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании бюджета НТП используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Амортизация;
- 2) Заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Накладные расходы.

7.5. Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация компьютерного оборудования, канцелярских принадлежностей, расходных материалов необходимых в работе над проектом. [13]

Пусть срок эксплуатации компьютерного оборудования 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за месяц равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

где n – срок полезного использования в годах.

Найдем амортизацию:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m \text{ р}$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40000}{12 \cdot 30} \cdot 88 = 3226,7 \text{ руб.}$$

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

7.6. Основная заработная плата исполнителей

В этом разделе необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Зарплата работников в первую очередь зависит от трудоемкости выполняемых работ, а также системы окладов и тарифных ставок. Также в зарплату включается премия, которая

выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. В данном случае премиальный коэффициент составляет 30% от зарплаты.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную зарплату.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ - основная зарплата;

$Z_{доп}$ - дополнительная зарплата (15% от $Z_{осн}$).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где: T_p - продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_{\delta}}$$

Для 5 – дневной недели (инженер-проектировщик):

$$Z_{дн} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

Для 6 – дневной недели (руководитель проекта):

$$Z_{дн} = \frac{40560 \cdot 10,4}{247} = 1707,8 \text{ руб.}$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_M = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\delta}) \cdot k_p$$

Для руководителя проекта:

$$Z_M = 20800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40560 \text{ руб.}$$

Для инженера-проектировщика:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где $Z_{мс}$ - зарплата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} - премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_{δ} - коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

k_p - районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

M – количество месяцев работы без отпуска в течении года.

F_{δ} - действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 24.

Таблица 24 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб.	k_{np}	k_{δ}	k_p	Z_M , руб.	$Z_{\delta n}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель проекта	20800	0,3	0,2	1,3	40560	1707,8	11	18785,8
Проектировщик	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	52	90641,2
Итого:								109427

7.7. Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле находится дополнительная заработная плата:

$$Z_{\delta on} = k_{\delta on} \cdot Z_{осн}$$

Руководитель проекта: $Z_{\delta on} = 0,15 \cdot 18785,8 = 2817,87$ руб.,

Проектировщик: $Z_{\delta on} = 0,15 \cdot 90641,2 = 13596,18$ руб.,

где $k_{\delta on}$ - коэффициент дополнительной заработной платы.

7.8. Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{\delta on})$$

Руководитель проекта: $Z_{внеб} = 0,271 \cdot (18785,8 + 2817,87) = 5854,6$ руб.,

Инженер-проектировщик: $Z_{внеб} = 0,271 \cdot (90641,2 + 13596,18) = 28248,33$ руб.,

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

7.9. Накладные расходы

Накладные расходы – это прочие затраты организации. По формуле накладные расходы руководителя проекта и инженера-проектировщика:

$$Z_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4)$$

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (16414,05 + 1191,7 + 34102,93 + 109427) = 25781,7 \text{ руб.},$$

где $k_{нр}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

7.10. Формирование бюджета затрат научно – технического проектирования

В основу формирования бюджета входит величина НТП. При заключении договора с заказчиком, этот бюджет затрат проекта должен защищаться научной организацией. Он является нижним пределом затрат на разработку научно – технической продукции.

Таблица 25 – Бюджет затрат НТП

Наименование статьи	Сумма, руб	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109427	58,6
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16414,05	8,8
Амортизация	3226,7	1,7
Отчисления во внебюджетные фонды	34102,93	18,2
Накладные расходы	25781,7	13,8
Бюджет затрат НТП	188952,38	100

Сформировав таблицу результатов, был сделан вывод, что бюджет затрат НТП равен 186917,38 руб. Как и упоминалось ранее, основной процент бюджета затрат НТП составляет основная заработная плата – 58,6%, а самый малый процент занимает амортизация – 1,7%.

7.11. Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате выполнения задания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен анализ конкурентных технических решений и выбран тип исполнения электропривода.

Далее составлен план – график выполнения работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика. В итоге получены следующие данные: общее количество дней на выполнение проекта – 62 дня, общее количество дней работы инженера-проектировщика – 52 дня, а количество рабочих дней руководителя проекта – 11 дней;

Рассчитан бюджет НТП, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 188952,38 руб.

Реализация электропривода конвейерной ленты является очень актуальной для многих предприятий благодаря уменьшению энергозатрат.

8. Социальная ответственность

8.1. Введение

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

Для выпускной квалификационной работы была выбрана следующая тема: «Асинхронный электропривод насоса на базе тиристорного регулятора напряжения».

8.2. Анализ вредных факторов

Часть технологического процесса исследования и проверки электропривода насосной установки основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света, при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенность является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

Также вредным фактором производства является загрязнение атмосферного воздуха – это выбросы в атмосферный воздух или образование в нем загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих нормативы качества или уровня естественного содержания. Загрязняющее вещество – примесь в атмосферном воздухе, оказывающая при определенных концентрациях неблагоприятное воздействие на здоровье человека, объекты растительного и животного мира и другие компоненты окружающей природной среды или наносящая ущерб материальным ценностям.

Загрязнение гидросферы. Поверхностные водные потоки зачастую сильно страдают от деятельности человека. Во многие производственные процессы входит использование воды, и сточные воды после некоторой очистки обычно сливают в ближайшие реки. К счастью, поверхностные воды

обладают способностью к самоочищению под влиянием ряда физических, химических и биологических процессов. Однако в настоящее время способности к самоочищению обычно недостаточно и необходима активная работа по восстановлению водных ресурсов и их защите от промышленного и бытового загрязнения.

Охрана литосферы. Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы. В результате промышленной деятельности человека происходит загрязнение почвы, что приводит к выводу из строя земель, пригодных для сельского хозяйства. Основные виды промышленных отходов – шлаки тепловых электростанций и металлургических заводов, породные отвалы горнодобывающих предприятий и горнообогатительных комбинатов, строительный мусор и т.д. В особую группу выделяют загрязнение почвы нефтепродуктами и другими химическими веществами (в авиационной и других технологиях – это твердые осадки и продукты травления металлов), которые пагубно воздействуют на почвенные микроорганизмы и корневую систему растений.

8.2.1. Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности. [20]

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;

- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя против шумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

8.2.2. Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливаются рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением. [23]

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 27 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 27 – Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво - и

пожароопасных помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой. [22]

Характеристика выполняемой зрительной работы для проекта относится к классу средней точности, где наименьший объект различия от (0,5 до 1,0 мм) в связи с этим значение КЕО при естественном освещении 1,5 %.

8.2.3. Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 28.

Таблица 28 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

8.2.4. Метеорологические условия

Говоря о биосфере в целом, необходимо отметить, что человек обитает в самом нижнем, прилегающем к Земле слое атмосферы, который называется тропосферой.

Атмосфера является непосредственно окружающей человека средой и этим определяется ее первостепенное значение для осуществления процессов жизнедеятельности. Тесно соприкасаясь с воздушной средой, организм человека подвергается воздействию ее физических и химических факторов: состава воздуха, температуры, влажности, скорости движения воздуха, барометрического давления и др.

Терморегуляция – это совокупность процессов в организме, обеспечивающих равновесие между теплопродукцией и теплоотдачей, благодаря которому температура тела человека остается постоянной.

Теплопродукция организма (производимое тепло) в состоянии покоя составляет для «стандартного человека» (масса 7 кг, рост 170 см, поверхность

тема 1,8 м²) до 283 кДж в час, при работе средней тяжести – до 1256 кДж в час и при тяжелой – 1256 и более кДж в час. Метаболическое, лишнее тепло должно удаляться из организма.

Нормальная жизнедеятельность осуществляется в том случае, если тепловое равновесие, т.е. соответствие между теплопродукцией вместе с теплотой, получаемой из окружающей среды, и теплоотдачей достигается без напряжения процессов терморегуляции. Отдача тепла организмом зависит от метеорологических условий климата, который определяется комплексом факторов, влияющих на теплообмен: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха и радиационной температурой окружающих человека предметов. [21]

Чтобы понять влияние того или иного показателя климата на теплообмен, нужно знать основные пути отдачи тепла организмом. При нормальных условиях организм человека теряет примерно 85% тепла через кожу и 15% тепла расходуется на нагревание пищи, вдыхаемого воздуха и испарение воды из легких. 85% тепла, отдаваемого через кожу, распределяется следующим образом: 45% приходится на излучение, 30% на проведение и 10% на испарение. Эти соотношения могут изменяться в зависимости от условий микроклимата.

С повышением температуры воздуха и окружающих поверхностей потери тепла, излучением и конвекцией уменьшается, и резко увеличивается теплоотдача испарений. Если температура внешней среды выше, чем температура тела, то единственным путем теплоотдачи остается испарение. Количество пота может достигать 5–10 литров пота в день. Этот вид теплоотдачи очень эффективен, если есть условия для испарения пота уменьшается влажность и увеличивается скорость движения воздуха. Таким образом при высокой температуре окружающей среды, увеличение скорости движения воздуха является благоприятным фактором. При низких

температурах воздуха увеличение его подвижности усиливает теплоотдачу конвекцией, что неблагоприятно для организма, т.к. может привести к переохлаждению, простуде и отморожения. Большая влажность воздуха (свыше 70%) неблагоприятно влияет на теплообмен, как при высоких, так и при низких температурах. Если температура воздуха выше 30° (высокая), то большая влажность, затрудняя испарения пота, ведет к перегреванию. При низкой температуре высокая влажность способствует сильному охлаждению, т.к. во влажном воздухе усиливается отдача тепла конвекция. Оптимальная влажность, таким образом, составляет 40–60%.

Температура является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия производственной среды. Высокие температуры оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека. Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем - ослабляется внимание, ухудшается координация движений, замедляются реакции и т.д. [20]

Длительное воздействие высокой температуры, особенно в сочетании с повышенной влажностью, может привести к значительному накоплению тепла в организме (гипертермии). При гипертермии наблюдается головная боль, тошнота, рвота, временами судороги, падение артериального давления, потеря сознания.

Действие теплового излучения на организм имеет ряд особенностей, одной из которых является способность инфракрасных лучей различной длины проникать на различную глубину и поглощаться соответствующими тканями, оказывая тепловое действие, что приводит к повышению

температуры кожи, увеличению частоты пульса, изменению обмена веществ и артериального давления, заболеванию глаз.

При воздействии на организм человека отрицательных температур наблюдается сужение сосудов пальцев рук и ног, кожи лица, изменяется обмен веществ. Низкие температуры воздействуют также и на внутренние органы, и длительное воздействие этих температур приводит к их устойчивым заболеваниям.

8.3. Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки электропривода переменного тока. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей.

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

К наиболее вероятным опасным факторам относятся следующие составляющие: [19]

- движущиеся предметы, механизмы или машины, а также неподвижные их элементы на рабочем месте при механическом воздействии (зубчатые, цепные, клиноременные передачи, кривошипные механизмы, подвижные столы, вращающиеся детали, органы управления и т.п.);

- электрический ток (источником поражения могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, незаземленное оборудование и др.);
- агрессивные и ядовитые химические вещества (например, химические ожоги кислотами, едкими щелочами и ядовитыми химическими веществами (хлор, аммиак и т.д.) при попадании их на кожу или в легкие при вдыхании);
- нагретые и (или) охлажденные элементы оборудования, поверхности, перерабатываемое сырье (примерами таких элементов являются горячие трубопроводы, крышки котлов, танков, корпуса оборудования, детали холодильных установок и т.д.);
- повреждения, полученные при падениях (падения подразделяются на два вида: падения на человека различных предметов и падения человека в результате подскользывания, запинания, падения с высоты или внезапного ухудшения здоровья).

8.3.1. Механические опасности

Основные последствия механических опасностей:

- защемление или раздавливание;
- порезы;
- отрезание или разрубание;
- захват или наматывание;
- затягивание или задерживание;
- попадание под удар;
- местный укол или полное прокалывание;
- поверхностное повреждение наружных тканей под действием трения;

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) относятся:

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);

- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами;
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

Сигнализация является одним из звеньев непосредственной связи между машиной и человеком. Она способствует облегчению труда, рациональной организации рабочего места и безопасности работы. Сигнализация может быть звуковая, световая, цветовая и знаковая. Сигнализация должна быть расположена и выполнена так, чтобы сигналы, предупреждающие об опасности, были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым может угрожать опасность.

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки.

8.3.2. Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;

в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;

г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;

д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение. [18]

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

8.3.3 Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени

защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний. [17]

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [6] на 800 м² защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

8.4. Система обращения с разными видами отходов

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Способ борьбы с газообразными отходами: перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др.

Способ борьбы с жидкими отходами: жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании

водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях. [26]

Способ борьбы с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившие потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае для ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором

марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта). [25]

Способ утилизации аккумуляторных батарей: Аккумуляторная батарея выполняет функции до тех пор, пока не исчерпает свой ресурс, а после ей необходима утилизация. Выбросить аккумулятор на свалку – значит нанести существенный вред окружающей среде. В его конструкцию входит пластик, свинец и электролит, а это далеко небезопасные составляющие. Их попадание в окружающую среду наносит непоправимый урон, заражает почву, воду и воздух.

Количество использованных аккумуляторов растет в геометрической прогрессии, и их утилизация является важнейшей задачей по защите экологии. Стоит отметить, что утилизация старых аккумуляторов весьма дорогое и сложное производство, но в итоге оно приносит прибыль. Переработка использованных аккумуляторов позволяет опять получить свинец и пластик, из которых можно создать новые аккумуляторы. Не подлежит повторному использованию только электролит. Безопасная утилизация старых аккумуляторов производится специализированными компаниями, на специальных заводских линиях.

Существует несколько технологий данного процесса, но суть у них одна. Первым делом сливается электролит, который в специальных герметичных камерах при высоких температурах нейтрализуется до безопасного состояния.

Следующим этапом идет дробление корпуса аккумуляторной батареи. Это происходит на специальном конвейере, где при помощи мощных дробильных станков аккумулятор разрушается полностью. В результате данного процесса образуется свинцово-кислотная или свинцово-щелочная паста, которая отделяется при помощи фильтров, стоящих сразу после дробилок.

Данная паста оседает на решетчатых фильтрах и направляется в металлическую смесь на дальнейшую переработку. Оставшиеся после дробления куски пластика и металла подаются в емкости, где смешиваются с водой, в результате чего тяжелый свинец оседает на дно, а пластик всплывает на поверхность. Таким образом происходит отделение неметаллических компонентов от металлических.

Куски пластика собираются с поверхности воды, а затем перерабатываются для вторичного сырья, из которого в дальнейшем будут получены пластиковые гранулы. Данный процесс может проходить непосредственно на самом предприятии, которое занимается утилизацией аккумуляторов, либо сырье направляется на другие заводы по производству пластиковых гранул.

Металлическая масса, осевшая на дне, подлежит дальнейшей переработке вместе с пастой, снятой с решетчатых фильтров. Так как в воде с металлической массой наблюдается некоторое количество кислоты, то ее следует нейтрализовать. Для этого в смесь воды и кусков металла добавляют особые химикаты, нейтрализующие кислоту. В результате данного процесса на дно выпадает осадок, его удаляют, а воду пропускают через систему фильтров и сбрасывают в канализацию, либо вновь используют в производственном цикле.

Смесь кусочков металлов и металлической пасты нужно освободить от влаги, поэтому все компоненты направляются в печи, откуда выходит сырье уже готовое для плавки. Свинец в плавящейся смеси металлов имеет самую большую плотность. Также он расплавляется гораздо быстрее, поэтому в печи образуется расплавленный свинец, на поверхности которого концентрируются кусочки других металлов, что подлежат удалению. [16]

После отделения расплавленного свинца от других металлов его направляет в тигель, где смешивают с каустической содой. Данный компонент

помогает освободить расплавленный свинец от всевозможных примесей. Они удаляются из расплава, а свинец становится пригодным для отлива в формы.

При заливке свинца в формы на поверхности образуется тонкая пленка из оставшихся примесей, которая в итоге легко снимается. Теперь свинец обладает достаточной большой чистотой и может использоваться на производство разных деталей, в том числе и решеток для новых аккумуляторов.

Все вышеперечисленные процессы полностью автоматизированы, что позволяет осуществлять утилизацию аккумуляторных батарей быстро и качественно, тем самым предотвращая загрязнение окружающей среды.

8.5. Пожар (загорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно, пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности. [15]

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

8.6. Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала. [16]

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в

отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание. [24]

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Заключение

В данной дипломной работе был спроектирован регулируемый электропривод центробежного насоса по системе «ТРН-АД».

Произведен расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода, определены статические и динамические характеристики для разомкнутой и замкнутой систем.

Были исследованы переходные процессы системы с помощью программы Matlab Simulink. Результаты моделирования показали, что пуск двигателя с помощью тиристорного регулятора улучшает технические показатели, и увеличивает срок службы двигателя.

Применение ТРН-АД позволяет осуществлять плавные пуски ненагруженных или нагруженных двигателей с ограничением пускового тока до уровня $1 \dots 3 I_{ном}$ в зависимости от параметров нагрузки с последующим их переключением на питание от промышленной сети.

Основными преимуществами данного привода являются простота, надежность, удобство управления. Данный электропривод целесообразнее использовать при скоростях близких к номинальной, т.к. на частотах ниже номинальной снижается КПД преобразователя.

Применение системы ТРН-АД позволяет устранить частый пробой изоляций обмоток, существенно сократить паузы при повторных пусках насоса и улучшить условия проведения профилактических работ.

В результате проделанной работы была получена система электропривода насоса, которая полностью соответствует техническому заданию, а именно: удалось выбрать нереверсивный тип привода, с продолжительным(S1) режимом работы центробежного насоса, диапазон регулирования частоты вращения которого составил около 5%, был полностью обеспечен плавный пуск двигателя, а также максимальная подача выбранного насоса составила $58 \frac{м^3}{ч}$, все остальные числовые данные из технического

задания также удалось достичь, благодаря этому, данный электропривод может найти применение в различных технологических процессах.

Список литературы

1. Электрический привод: учебник для студ. учреждений высш. проф. Образования / Г.Б. Онищенко. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с. – (Сер. Бакалавриат).
2. Теория электропривода: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 294 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – Онищенко Г.Б.
3. Онищенко Г.Б. и Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М., «Энергия», 1972. – 240 с. с ил.
4. Электротехнический справочник: В 4-х т. Т.4 / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - М.: Изд-во МЭИ, 2002.
5. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоавтомиздат, 1998. – 704 с.
6. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода: Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2003 - 220с.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие по курсовому проектированию. Томск, изд. ТПИ, 1991.
8. О.Г. Чебовской, Л.Г. Моисеев, Ю.В.Сахаров. Силовые полупроводниковые приборы (справочник). М., «Энергия», 1975.
9. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов. Учебно- методическое пособие. Томск 2005.
10. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.4 Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. - Томск: Изд- во ТПУ, 2003.
11. Чилиикин М. Г. Основы автоматизированного электропривода. Москва. Высшая школа 1970 г.
12. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А.

- Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 13.Баскакова, О. В. Экономика предприятия (организации) [Электронный ресурс]: учебник для бакалавров / О. В. Баскакова, Л. Ф. Сейко. - М.: Дашков и Ко, 2012. - 370 с. - Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=364359&sr=1, свободный.
- 14.ГОСТ 50369 – 92 Электроприводы. Термины и определения.
- 15.ГОСТ 12.1.004 – 91 Пожарная безопасность. Общие требования.
- 16.ГОСТ 12.1.010 – 76 Система стандартов безопасности труда. Основы противопожарной защиты предприятий. Общие требования.
- 17.ГОСТ 12.1.032 – 78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- 18.ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- 19.ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
- 20.ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности».
- 21.Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
- 22.ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
- 23.ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление».
- 24.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
- 25.Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных».

26. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств».