

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| |
|--|
| Тема работы |
| «Автоматическая система управления перекачки грунтовой пульпы на земснаряде» |
| УДК <u>621.31-027.43:622.271.53</u> |

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5AM07 | Кибалов Владислав Андреевич | | |

Руководитель ВКР:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Чернышев Игорь Александрович | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Клемашева Елена Игоревна | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Черемискина Мария Сергеевна | – | | |

По разделу на иностранном языке:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Воробьева Виктория Владимировна | к.ф.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Гарганеев Александр Георгиевич | д.т.н. | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

| Код результата | Наименование компетенции |
|---|--|
| Универсальные компетенции | |
| УК(У)-1 | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий. |
| УК(У)-2 | Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла. |
| УК(У)-3 | Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели. |
| УК(У)-4 | Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия. |
| УК(У)-5 | Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия. |
| УК(У)-6 | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки. |
| Общепрофессиональные компетенции | |
| ОПК(У)-1 | Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки. |
| ОПК(У)-2 | Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы. |
| Профессиональные компетенции | |
| ПК(У)-1 | Способен выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности. |
| ПК(У)-2 | Способен применять методы создания и анализа математических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности. |
| ПК(У)-3 | Способен разрабатывать, реализовывать и осуществлять контроль выполнения технических и организационных мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности. |
| ПК(У)-4 | Способен формулировать технические задания, анализировать различные варианты и искать компромиссные решения. |
| ПК(У)-5 | Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий. |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Гарганеев А.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|--|
| Магистерской диссертации <i>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</i> |
|--|

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------------|
| 5AM07 | Кибалову Владиславу Андреевичу |

Тема работы:

| | |
|---|---------------------|
| «Автоматическая система управления перекачки грунтовой пульпы на земснаряде» | |
| Утверждена приказом директора (номер, дата): | 344-50/с 10.12.2021 |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| | |
|--|--|
| | |
|--|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| 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> | <ul style="list-style-type: none"> - Электропривод перекачки грунтовой пульпы земснаряда; - Режим работы — повторно-кратковременный; - Обеспечение вращения двигателя по часовой стрелке. |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки и техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Изучить технологический процесс; - Выбрать преобразователь частоты и двигатель; - Рассчитать статические характеристики электродвигателей; - Разработать имитационную модель электропривода; - Осуществить управление от ПЛК; - Исследовать изменение скорости вращения; - Финансовый менеджмент; - Социальная ответственность. |
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией; • Имитационная модель системы ПЧ-АД с IR-компенсацией в среде Matlab Simulink; • Переходные характеристики скорости и электромагнитного момента электродвигателя; • Схема управления электропривода насоса в программе LOGO!Soft Comfort. |

| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | |
|---|---------------------------------|
| Раздел | Консультант |
| Социальная ответственность | Черемискина Мария Сергеевна |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Клемашева Елена Игоревна |
| Раздел на иностранном языке | Воробьева Виктория Владимировна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Введение; назначение, устройство и принцип работы установки электропривода грунтового насоса; заключение. | |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент | Чернышев Игорь Александрович | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| 5AM07 | Кибалов Владислав Андреевич | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5AM07 | Кибалову Владиславу Андреевичу |

| | | | |
|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение (НОЦ) | Электроэнергетики и электротехники |
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> | Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта. |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i> | Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий. |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ. |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> | Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. Иерархическая структура работ
5. График проведения НТИ
6. Проектная организационная структура

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОСГН ШБИП | Клемашева Елена Игоревна | канд.экон.наук | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------------|
| 5AM07 | Кибалов Владислав Андреевич | | 01.03.2022 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | | | |
|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| Группа | | ФИО | |
| 5AM07 | | Кибалов Владислав Андреевич | |
| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение (НОЦ) | Отделение электроэнергетики и электротехники |
| Уровень образования | магистратура | Направление/ специальность | 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника |

Тема ВКР:

| | |
|---|--|
| Автоматическая система управления перекачки грунтовой пульпы на земснаряде | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| <p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации | <p>Объект исследования: система автоматического управления насосом для перекачки грунтовой пульпы ГруТ 2000/63</p> <p>Область применения: гидромеханизованная сфера</p> <p>Рабочая зона: полевые условия, малые реки, водоемы (системы); операторская 5x10x3 (оператор).</p> <p>Количество и наименование оборудования: рабочая зона земснаряда, насос, преобразователь частоты, логический контроллер</p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| <p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <ol style="list-style-type: none"> 1. ГОСТ Р 12.3.048-2002 ССБТ. «Система стандартов безопасности труда. Строительство. Производство земляных работ способом гидромеханизации»; 2. ГОСТ 12.2.011-2012. «Система стандартов безопасности труда. Машины строительные, дорожные и землеройные»; 3. ГОСТ 17.4.1.02-83. «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения»; 4. ГОСТ 17.4.3.04-85. «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения»; 5. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018). |
| <p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора | <ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2. Отклонение параметров микроклимата; 3. Превышение уровня шума; 4. Электромагнитные поля на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ; 5. Статическое электричество; <p>Средства индивидуальной защиты: резиновые сапоги, резиновые перчатки при необходимости, каска, противошумные вкладыши;</p> <p>Средства коллективной защиты: средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест, средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест;</p> <p>Расчет системы общего равномерного искусственного освещения.</p> |
| <p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p> | <p>Воздействие на литосферу: загрязнение высасываемого грунта с помощью пульпы и последующим</p> |

| | |
|--|--|
| | попаданием на берег. Воздействие на селитебную зону: отсутствует; Воздействие на гидросферу: возможное загрязнение смазочным материалом; Воздействие на атмосферу: загрязнение выхлопным газом от земснаряда. |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации | Возможные ЧС: пожар, ураган, шторм, туман. Наиболее типичная ЧС: пожар |
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
| 28.02.2022 | |

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Черемискина Мария Сергеевна | — | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------------|
| 5AM07 | Кибалов Владислав Андреевич | | 28.02.2022 |

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 01.12.2021 г. | Литературный обзор | 5 |
| 15.02.2022 г. | Формирование плана диссертации | 5 |
| 14.03.2022 г. | Разработка математических моделей системы автоматического управления асинхронным двигателем | 10 |
| 21.03.2022 г. | Расчет переходных процессов системы автоматического управления асинхронным двигателем | 10 |
| 28.03.2022 г. | Построение естественных и искусственных характеристик | 10 |
| 07.04.2022 г. | Моделирование работы в программе Matlab | 10 |
| 20.04.2022 г. | Разработка программы для логического контроллера | 10 |
| 05.05.2022 г. | Социальная ответственность | 10 |
| 15.05.2022 г. | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 10 |
| 20.05.2022 г. | Раздел на английском языке | 5 |
| 26.05.2022 г. | Подготовка автореферата | 5 |
| 27.05.2022 г. | Оформление диссертации | 10 |
| 28.05.2022 г. | Итого | 100 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Чернышев Игорь Александрович | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Гарганеев Александр Георгиевич | д.т.н. | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 123 страницы, 55 рисунков, 34 таблицы, 43 источника.

Насос перекачки грунтовой пульпы, асинхронный частотно-регулируемый электропривод, преобразователь частоты, система автоматического управления, статические и динамические характеристики, показатели качества регулирования.

Объектом исследования является система автоматического управления насосом перекачки грунтовой пульпы ГрУТ 2000/63. Цель работы — разработка и исследование электропривода насоса перекачки грунтовой пульпы.

В выпускной квалификационной работе произведён расчет и выбор приводного двигателя преобразователя частоты для управления электроприводами. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики.

Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе «Финансовый менеджмент» произведена оценка инвестиций в модернизацию земснаряда.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе *Microsoft Word XP*, в работе использованы программы *WINDORA*, *MathCAD*, *Microsoft Paint*, *Microsoft Power Point*, *Microsoft Visio*.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 12 |
| 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА | 13 |
| 1.1 Структура земснаряда | 14 |
| 1.2 Схема работы земснаряда | 15 |
| 1.3 Характеристика обслуживаемого оборудования | 16 |
| 1.4 Кинематика электропривода насоса | 19 |
| 2 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ | 20 |
| 3 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ | 22 |
| 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ | 25 |
| 4.1 Расчет и построение естественной механической характеристики | 29 |
| 4.2 Расчет и построение естественной электромеханической характеристики | 31 |
| 5 СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА ПРИ СКАЛЯРНОМ УПРАВЛЕНИИ | 33 |
| 5.1 Расчет и построение механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты — асинхронный двигатель при законе регулирования $\frac{U}{f^3} = const$ | 33 |
| 6 МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ | 39 |
| 6.1 Переходные процессы в двигателе при прямом пуске | 39 |
| 7 Разработка и расчёт характеристик асинхронного двигателя при скалярном частотном регулировании скорости с компенсацией момента | 42 |
| 7.1 Разработка структурной схемы асинхронного двигателя при скалярном регулировании скорости с компенсацией момента | 42 |
| 7.2 Расчёт эквивалентных сопротивлений для построения характеристик с коэффициентами компенсации 0,25; 0,5 и 0,75 | 43 |
| 7.3 Построение искусственных характеристик электропривода по системе ПЧ-АД со скалярной ИР-компенсацией для частот 50, 25, 10 и 5 Гц | 44 |
| 7.4 Анализ полученных результатов | 47 |
| 8 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ — АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ | 49 |
| 8.1 Функциональная схема системы преобразователь частоты — асинхронный двигатель | 49 |
| 9 Управление от ПЛК | 60 |
| 9.1 Выбор программируемого контроллера | 60 |
| 9.2 Описание работы программы контроллера | 64 |
| 10 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 66 |
| 10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 66 |
| 10.2 Производственная безопасность | 69 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.3 | Экологическая безопасность при эксплуатации | 77 |
| 10.4 | Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 79 |
| 11 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 81 |
| 11.1 | Предпроектный анализ..... | 81 |
| 11.1.1 | Потенциальные потребители результатов исследования | 81 |
| 11.1.2 | Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 82 |
| 11.1.3 | SWOT-анализ | 84 |
| 11.1.4 | Оценка готовности проекта к коммерциализации | 86 |
| 11.1.5 | Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования..... | 88 |
| 11.2 | Инициация проекта | 89 |
| 11.3 | Планирование управления научно-техническим проектом | 90 |
| 11.3.1 | Иерархическая структура работ проекта | 90 |
| 11.3.2 | План проект..... | 91 |
| 11.4 | Бюджет научного исследования | 95 |
| 11.4.1 | Основная заработная плата | 96 |
| 11.4.2 | Отчисления во внебюджетные фонды..... | 97 |
| 11.4.3 | Накладные расходы | 97 |
| 11.4.4 | Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта | 98 |
| 11.5 | Организационная структура проекта | 98 |
| 11.5.1 | План управления коммуникациями проекта | 99 |
| 11.5.2 | Реестр рисков проекта | 99 |
| 11.6 | Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности | 100 |
| 11.6.1 | Оценка абсолютной эффективности исследования | 100 |
| 11.6.2 | Оценка сравнительной эффективности исследования..... | 104 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 107 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 108 |
| | Приложение А | 112 |
| | Introduction..... | 113 |
| | A1. DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS | 113 |
| | A1.1. Types of dredgers | 114 |
| | A1.2. Structure of the dredger..... | 115 |
| | A1.3. The scheme of the dredger | 117 |
| | A1.4. Characteristics of the serviced equipment | 118 |
| | A1.5. Kinematics of the pump electric drive..... | 121 |
| | Conclusion | 122 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ Б..... | 123 |

ВВЕДЕНИЕ

Разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем управления электроприводами является приоритетным направлением развития современной техники. Рост степени интеграции в микропроцессорной технике и переход от микропроцессоров к микроконтроллерам со встроенным набором специализированных периферийных устройств сделали необратимой тенденцию массовой замены аналоговых систем управления приводами на системы прямого цифрового управления.

Анализ продукции ведущих мировых производителей систем управления и материалов опубликованных научных исследований в этой области позволяет отметить следующие ярко выраженные тенденции развития электропривода: неуклонно снижается доля систем привода с двигателями постоянного тока и увеличивается доля систем привода с двигателями переменного тока. Это связано с низкой надежностью механического коллектора и более высокой стоимостью коллекторных двигателей постоянного тока. В связи с резким удешевлением статических преобразователей частоты доля частотно-регулируемых асинхронных электроприводов быстро увеличивается.

Перспективные системы управления электроприводов разрабатываются с ориентацией на комплексную автоматизацию технологических процессов и согласованную работу нескольких приводов в составе промышленной сети.

Задача синхронизации скоростей и положений механизмов, участвующих в технологическом процессе, является актуальной для многих отраслей промышленности. Согласованное управление позволяет интегрировать отдельные электроприводы в общую систему управления технологическим процессом, обеспечить необходимое качество продукции и исключить простой оборудования.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Гидромеханизация — это уникальный способ одновременной добычи, транспортировки и укладки грунта (песка), который осуществляется с помощью водного потока. Энергия воды помогает строить технические сооружения, создавать резервы (штабели) песка, очищать и углублять русла рек [1].

У гидронамыва есть свои особенности и преимущества: простота оборудования, низкая трудоемкость и высокая производительность. Кроме того, это самый эффективный способ производства работ на труднодоступных для сухой техники участках и участках с высокой заболоченностью, характерных для большинства районов Западной Сибири.

Земснаряд изображенный на рисунке 1.1 предназначен для подводной разработки грунтов, углубления и очистки дна малых водоемов и рек, транспортировки грунтов вместе с водой (пульпой) по трубопроводам к месту укладки.



Рисунок 1.1 — Земснаряд

1.1 Структура земснаряда

На земснаряде используется гидравлический способ отделения грунта от дна и его отвода по трубопроводам к месту укладки. Схема устройства речного землесоса приведена на рис. 1.2.

Корпус речного земснаряда состоит из простых грубых обводов, имеет вырез (прорезь) для размещения в нем всасывающей трубы с охватывающей ее рамой. Главным рабочим органом земснаряда является грунтовый насос, обеспечивающий всасывание грунтовой пульпы и ее перемещение по пульпопроводу. Насос приводится в действие главным двигателем земснаряда.

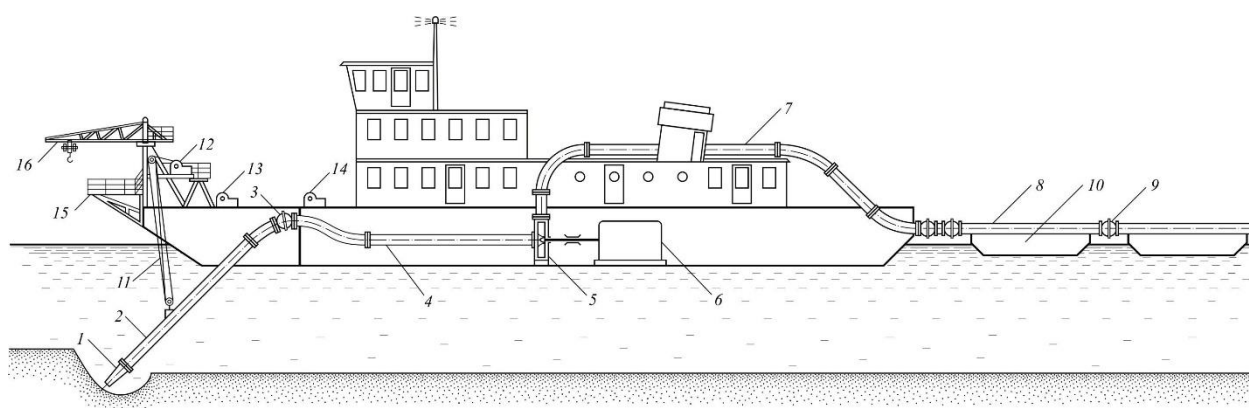


Рисунок 1.2 — Схема земснаряда

1 — всасывающий грунтоприемник; 2 — всасывающая труба; 3 — гибкое соединение; 4 — корпусная часть всасывающего пульпопровода; 5 — грунтовый насос; 6 — главный двигатель; 7 — корпусная часть напорного пульпопровода; 8 — плавучая часть напорного пульпопровода (рефулер); 9 — гибкое соединение звеньев рефулера; 10 — понтон; 11 — рамоподъемное устройство; 12 — рамоподъемная лебедка; 13 — передняя станковая лебедка; 14 — передняя боковая лебедка; 15 — промерный мостик; 16 — кран-балка для монтажных работ

Входная часть насоса соединена со всасывающим пульпопроводом, а выходная — с напорным пульпопроводом. Основную часть всасывающего трубопровода составляет наклонная всасывающая труба, поворачивающаяся

в вертикальной плоскости. Она через гибкое соединение сообщается с корпусным всасывающим пульпопроводом, присоединенным к грунтовому насосу. На конце всасывающей трубы расположен всасывающий наконечник (пульпоприемник). Подъем и опускание наклонной всасывающей трубы на необходимую глубину осуществляется при помощи рамоподъемного устройства.

Напорный пульпопровод состоит из корпусной и плавучей части. К насосу присоединяется вертикально расположенный патрубок, за которым находится имеющее большой радиус кривизны колено, направляющее грунтовую пульпу (гидросмесь) в горизонтально расположенный участок корпусного пульпопровода. Этот участок размещается на крыше верхней надстройки земснаряда. В кормовой части снаряда гидросмесь через два колена и наклонно расположенный пульпопровод спускается вниз, к месту присоединения плавучего пульпопровода. С напорным корпусным пульпопроводом плавучий пульпопровод соединен при помощи двух шаровых соединений. Такое соединение обеспечивает необходимую степень подвижности, как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальной, когда земснаряд по мере расходования топлива начинает «всплывать» по отношению к плавучей части напорного пульпопровода.

Плавучий пульпопровод (рефулер) расположен на понтонах, и его отдельные звенья (трубы) соединяются между собой при помощи гибких соединений. Понтон представляет собой два жестко соединенных вместе поплавка. Последний понтон рефулера, называемый концевым, оборудован двумя якорями, тросами и лебедками. Якоря и тросы служат для удержания понтона на месте отвала грунта, для спуска понтона по течению, а также для перемещения понтона в стороны от оси отвала.

1.2 Схема работы земснаряда

Принцип работы земснаряда по извлечению и отводу грунта состоит в следующем. Грунтовый насос заливается водой и приводится в действие

главным двигателем. С помощью рамоподъемного устройства всасывающая труба заглубляется в грунт. При работе заполненного водой насоса во всасывающей трубе создается вакуум (давление ниже атмосферного). Над грунтоприемником действует атмосферное давление и давление столба воды, соответствующее глубине опускания грунтоприемника. Под действием разницы давлений вода, находящаяся перед грунтоприемником, начинает входить в него с определенной скоростью. Подтекающая к приемнику вода захватывает и увлекает за собой частицы грунта. Пространство вокруг зева (отверстия) грунтоприемника, в пределах которого вода размывает и увлекает грунт, называют сферой всасывания. Смесь частиц грунта с водой (пульпа) перемещается по всасывающему пульпопроводу к насосу. В насосе гидросмесь попадает на вращающиеся лопасти рабочего колеса и отбрасывается в начало корпусной части напорного пульпопровода, где создается повышенное (выше атмосферного) давление. Около выходного отверстия плавучего рефулера давление равно атмосферному. Под действием разницы давлений гидросмесь движется по напорному пульпопроводу к месту отвала грунта.

1.3 Характеристика обслуживаемого оборудования

Насос с электродвигателем на общей фундаментной плите устанавливается на ровную железную станину. По уровню контролируется горизонтальность установки. В случае необходимости горизонтальность установки достигается подкладыванием клиньев. Потом насос закрепляется к станине с помощью фундаментных шпилек и гаек. Следующая операция связана с выравниванием полумуфт. Контроль соосности валов насоса и электродвигателя осуществляется с помощью индикаторов перемещения. После достижения соосности ротор насоса должен свободно, без задирааний, делать полный оборот [2].

Электродвигатель должен быть предохранён от перегрузок и короткого замыкания. От тепловых перегрузок высоким напряжением электродвигатель должен предохраняться электротепловым реле, от короткого замыкания —

предохранительным автоматом или предохранителями. Предохранители ставятся перед пусковым контактором электродвигателя.

Перед первым пуском устройства путем включения на короткое время электродвигателя необходимо определить направление вращения вала электродвигателя. Направление вращения ротора, при взгляде на насос со стороны соединительной муфты, вправо, то есть в направлении часовой стрелки.

Насос никоим образом даже на краткое время не может быть запущен влево (при взгляде на насос со стороны соединительной муфты)! Это может привести к откручиванию рабочего колеса и последующему заклиниванию его во внутреннем корпусе [3].

Направление вращения электродвигателя можно контролировать только при отключенном муфтовом сцеплении электродвигателя с насосом.

Таблица 1.1 — Характеристика главного насоса земснаряда [4].

| Тип | Диаметр раб. колеса, мм | Частота враще- ния, об/мин | Подача, м ³ /ч | Напор, м ³ | КПД насоса, %, не менее | Напряжение, В | Мощность, кВт |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| ГрУТ 2000/63 | 1030 | 750 | 2000 | 63 | 71 | 6000 | 630 |



Рисунок 1.3 — Грунтовый насос ГрУТ 2000/63

Таблица 1.2 — Характеристика электродвигателя (работающего)

| Электродвигатель | Номинальная мощность, кВт | При номинальной нагрузке | | | |
|------------------|---------------------------|--------------------------|----------------|--------|---------------|
| | | частота вращения, об/мин | ток статора, А | КПД, % | $\cos\varphi$ |
| АКН-2-15-57-10У4 | 630 | 590 | 77 | 94,5 | 0,83 |

Продолжение таблицы 1.2

| Данные ротора | | M_{max} , Мном | Маховой момент ротора, кН×м | Масса, 1000 кг |
|---------------|--------|---------------------|-----------------------------|----------------|
| напряжение, В | ток, А | | | |
| 850 | 440 | 2,3 | 5,2 | 4,8 |

При работе земснаряда используется повторно-кратковременный процесс запуска-останова главного двигателя, происходит это по причине частого удлинения и смены местоположения пульповода на территории намыва. Используется электрический двигатель АКН-2-15-57-10У4 с фазным ротором, что требует больших затрат на текущее обслуживание, а также невозможна регулировка по скорости [5].

Вследствие чего получаем:

- высокие затраты на электроэнергию,
- повышенный износ обмоток двигателя (большие пусковые токи),
- высокие перегрузки сети и, как следствие, частые отключения защитной ячейки по перегрузу.

Для устранения этих недостатков лучше применять асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

1.4 Кинематика электропривода насоса

Кинематическая схема электропривода насоса приведена на рисунке 1.4 [6].

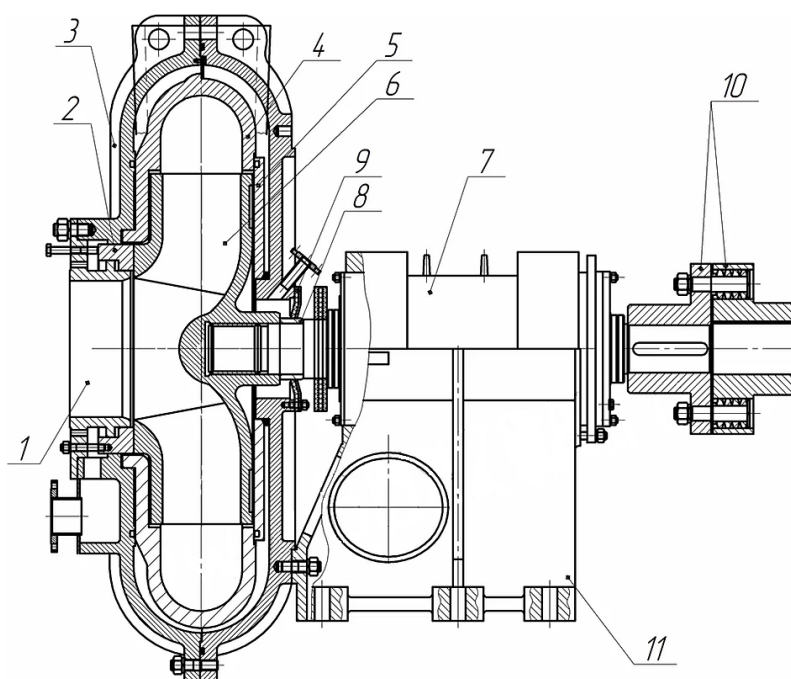


Рисунок 1.4 — Кинематическая схема электропривода насоса

- 1 — патрубок всасывающий; 2 — кольцо уплотнительное;
- 3 — корпус наружный; 4 — корпус внутренний; 5 — диск защитный;
- 6 — колесо рабочее; 7 — узел подшипниковый; 8 — втулка;
- 9 — манжета уплотнительная; 10 — муфта; 11 — консоль.

2 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

Выбор электродвигателя производим исходя из паспортных данных насоса ГруТ 2000/63 таблицы 1.1:

- Рреком. = 630 кВт
- Частота вращения = 750 об/мин

Асинхронный электродвигатель выбирается по мощности и наиболее подходящим габаритным размерам [7]. Выбираем асинхронный электродвигатель А4-450У-8МУ3, паспортные данные которого представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Паспортные данные асинхронного двигателя типа А4-450У-8МУ3

| Тип двигателя | Синх. частота вращения, об/мин | Момент инерции, кг×м ² | Мощность, кВт | При номинальной нагрузке | | | |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------|--------------|--------------|-------------|
| | | | | <i>s</i> | <i>I</i> , А | <i>η</i> , % | <i>cosφ</i> |
| А4-450У-8МУ3 | 750 | 196 | 630 | 0,02 | 1,1 | 94,5 | 0,83 |

Продолжение таблицы 2.1

| | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| $\frac{M_{\Pi}}{M_{НОМ}}$ | $\frac{M_{\max}}{M_{НОМ}}$ | $\frac{M_{\min}}{M_{НОМ}}$ | $\frac{I_{\Pi}}{I_{НОМ}}$ |
| 1,9 | 1 | 1,6 | 5 |

Асинхронный электродвигатель модели А4-450У-8МУ3 представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 — Асинхронный электродвигатель А4-450У-8МУЗ

3 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Преобразователь частоты выбирается из условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{пч}} ; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{пч}}.$$

Для двигателя мощностью $P_{\text{дв}} = 630 \text{ кВт}$ и номинальным током $I_{\text{дв}} = 75 \text{ А}$ выбираем преобразователь частоты серии *LSMV-060F12H-G1* фирмы *Leading Solution* (рисунок 3.1) с параметрами [8, 9], представленными в таблице 3.1.

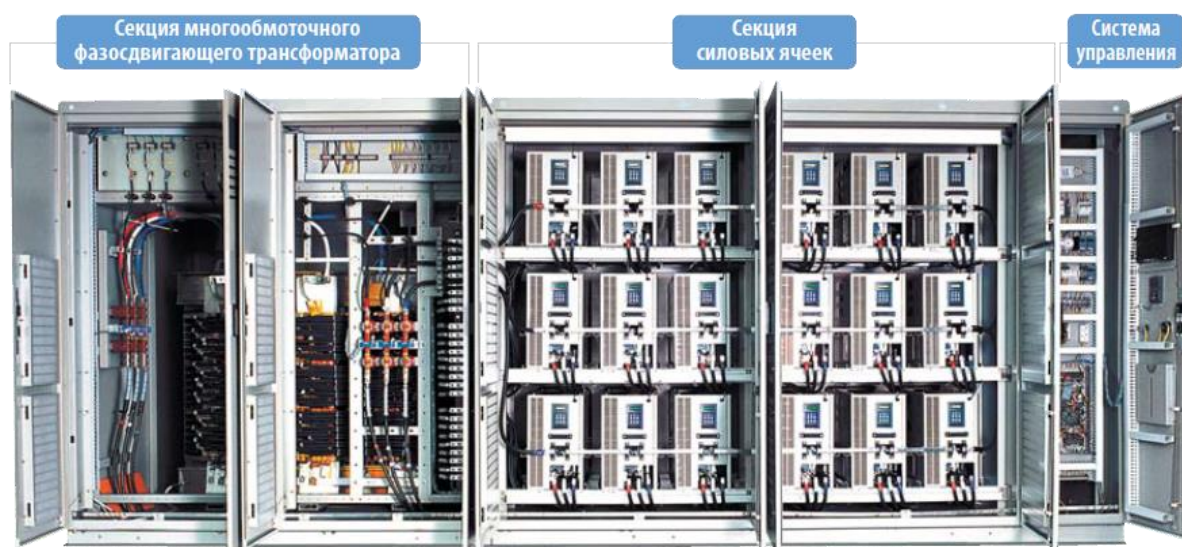


Рисунок 3.1 — Внешний вид преобразователя частоты

Таблица 3.1 — Характеристики преобразователя частоты

| Входные параметры | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Частота входного напряжения | 50/60 Гц \pm 3% |
| Уровень входного напряжения | 6 кВ (–10% / + 10%) |
| Входной коэффициент мощности | $> 0,97$ (при номинальной нагрузке) |
| КПД | $> 97\%$ (при номинальной нагрузке) |
| Выходные параметры | |
| Мощность двигателя | 1000 кВт |
| Полная мощность преобразователя | 1200 кВА |
| Номинальный ток | 105 А |

Окончание таблицы 3.1

| Общие характеристики | |
|---|---|
| Метод управления | <i>U/F</i> |
| Точность задания частоты | 0,01 Гц |
| Время разгона / торможения | 0,1–6000 с |
| Допустимая перегрузка | 120% за 1 мин |
| Функции | пуск на вращающийся двигатель, байпас ячейки |
| <i>LSD</i> клавиатура | <i>RS-232, Modbus-RTU</i> , пульт |
| Система мониторинга | сенсорный жидкокристаллический экран 8,4", широкий угол обзора, 144 цвета |
| Защита (обработка и предупреждение) | перегрузка по току, перенапряжение, низкое напряжение, ошибка заземления, перегрев преобразователя, перегрев двигателя, останов двигателя, останов вентилятора, перегрузка, ошибка связи, выключение ячейки |
| Коммуникации | встроенный <i>RS-485</i> (или <i>Modbus-RTU</i>). Опция: <i>DeviceNet, Profibus-DP, Ethernet-IP, CAN, CANopen, Lonwork</i> |
| Окружающая среда | |
| Температура окружающей среды в рабочем режиме | 0 °С до 40 °С |
| Метод охлаждения | воздушное охлаждение |
| Установка | в помещении |
| Влажность | < 85% (без конденсата) |
| Высота над уровнем моря | < 1000 м |
| Степень защиты | <i>IP 21</i> |

Высоковольтные преобразователи частоты (ВПЧ) являются эффективным решением для построения систем управления трехфазными асинхронными электродвигателями повышенной мощности. Они незаменимы для обеспечения технологической функциональности приводов насосных станций водоснабжения, теплосетей, вентиляционных систем и дымососов в ЖКХ, компрессоров, транспортеров и различного производственного оборудования, установок топливной энергетики.

Схема базового подключения преобразователя частоты приведена на рисунке 3.2.

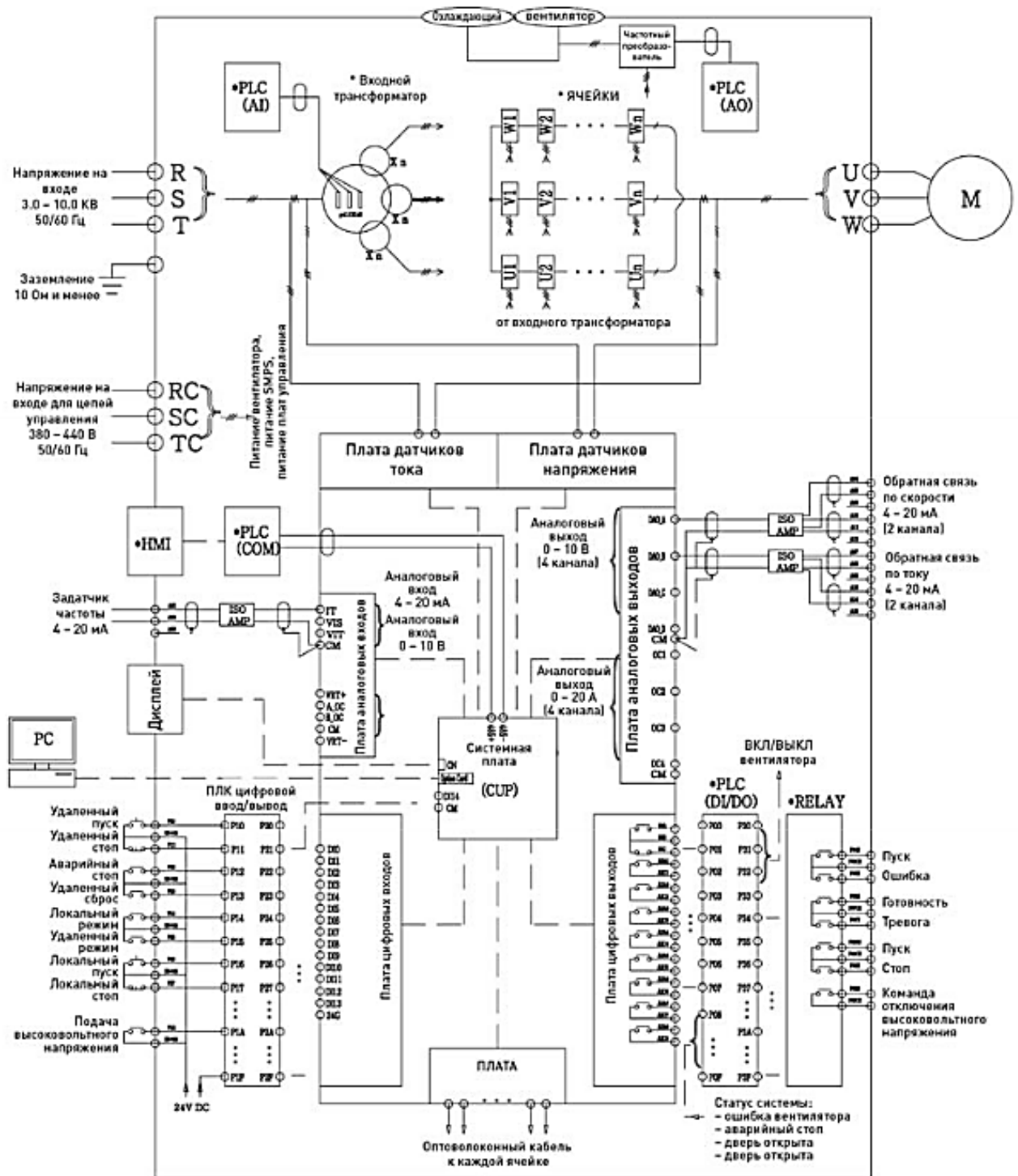


Рисунок 3.2 — Схема базового подключения преобразователя частоты

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения [10]. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, рисунок 4.1.

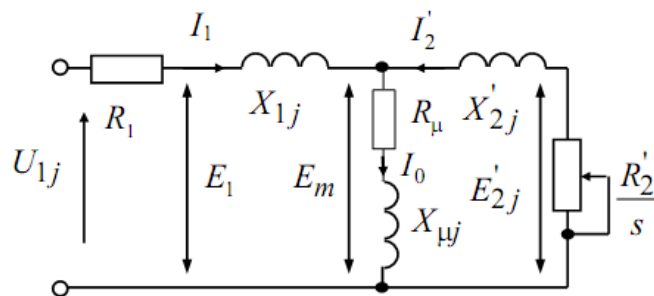


Рисунок 4.1 — Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0; \\ \bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s &= 0; \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 &= 0. \end{aligned} \quad (4.1)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих рисунку 4.1, изображена на рисунке 4.2.

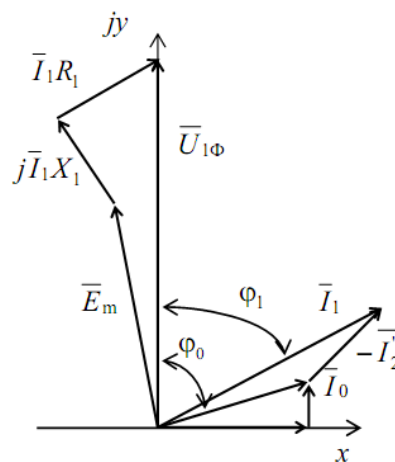


Рисунок 4.2 — Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным.

Данные таблицы 2.1 позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют $0,02P_H$;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1H}^2 - [p_* I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}}, \quad (4.2)$$

где I_{1H} — номинальный ток статора двигателя.

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{630000}{3 \cdot 580 \cdot 0,83 \cdot 0,945} = 461,62 \text{ (A)}. \quad (4.3)$$

$s_H = 0,02$ — номинальное скольжение:

$$I_{11} = \frac{p_* P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} \text{ — ток статора двигателя при частичной нагрузке;}$$

$\cos \varphi_{p_*}$ — коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{p_*} — КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_H$ — коэффициент нагрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями.

Современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10–15% меньше номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ прак-

тически равны, т.е. $\eta_H \approx \eta_{0,75}$. Коэффициент мощности при той же нагрузке $p^* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведенной на рисунке 4.3.

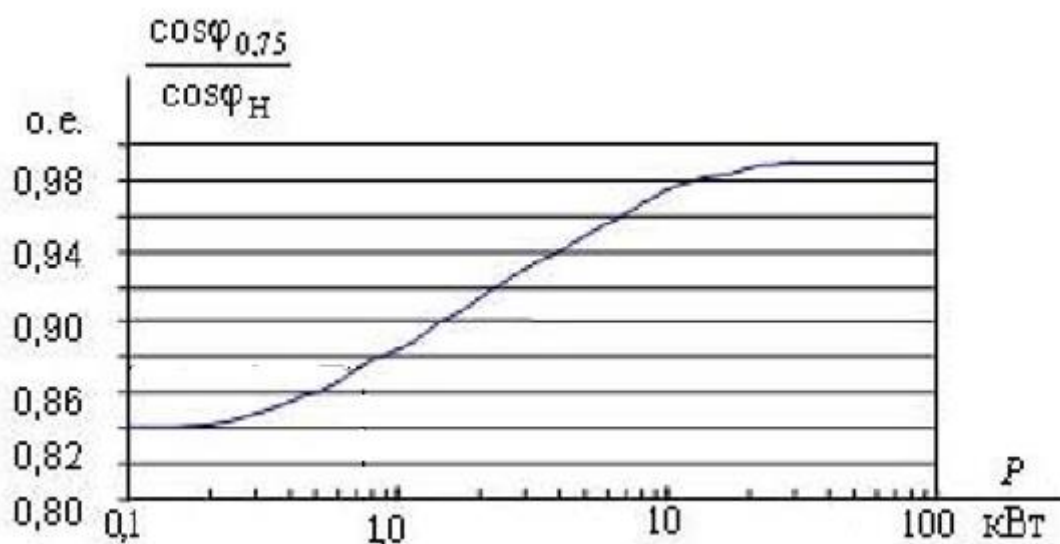


Рисунок 4.3 — Зависимость $\cos\varphi_{0,75} / \cos\varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Таким образом, для исследуемого двигателя мощностью свыше 100 кВт отношение

$$\cos\varphi_{0,75} / \cos\varphi_H = 0,99 \quad (4.4)$$

отсюда

$$\cos\varphi_{0,75} = 0,99\cos\varphi_H = 0,822. \quad (4.5)$$

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{0,73 \cdot 630000}{3 \cdot 580 \cdot 0,822 \cdot 0,945} = 340,384 \text{ (А)}. \quad (4.6)$$

Находим значение I_0

$$I_0 = \sqrt{\frac{340,384^2 - [0,73 \cdot 461,617 \cdot (1 - 0,02) / (1 - 0,73 \cdot 0,02)]^2}{1 - [0,73 \cdot (1 - 0,02) / (1 - 0,73 \cdot 0,02)]^2}} = 86,6 \text{ (А)}. \quad (4.7)$$

Принимаем $\beta = 1$.

Из формулы Клосса определим выражение для расчета критического скольжения

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

$$= 0,02 \frac{1,9 - \sqrt{(1,9)^2 - [1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1)} = 0,073. \quad (4.8)$$

Определим коэффициент C_1

$$C_1 = 1 + (I_0 / 2 \cdot k_i \cdot I_{1H}) = 1 + (86,6 / (2 \cdot 5 \cdot 461,617)) = 1,019. \quad (4.9)$$

Определим коэффициент A_1

$$A_1 = mU_{1\Phi}^2 (1 - s_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{MAX} \cdot P_H) =$$

$$= 3 \cdot 580^2 \cdot (1 - 0,02) / (2 \cdot 1,019 \cdot 1,9 \cdot 630000) = 0,406. \quad (4.10)$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя,

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1/s_k) \cdot C_1 = 0,027 \text{ (Ом)}. \quad (4.11)$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = R_2' \cdot \beta \cdot C_1 = 0,028 \text{ (Ом)}. \quad (4.12)$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH}

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta} = 13,631. \quad (4.13)$$

Тогда

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0,377 \text{ (Ом)}. \quad (4.14)$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления X_{KH} сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано:

$$X_{2H}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0,215 \text{ (Ом)}. \quad (4.15)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,158 \text{ (Ом)} . \quad (4.16)$$

По найденным значениям переменных C_1 , R_2' , R_1 и X_K определим критическое скольжение

$$s_K = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,073 . \quad (4.17)$$

Рассчитанные по формуле Клосса и по данной формуле значения критического скольжения равны по величине, следовательно, нет необходимости делать поправку на коэффициент β .

Согласно векторной диаграмме (рисунок 4.2) ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна ($R_m \approx 0$)

$$E_m = \sqrt{(580 \cdot 0,83 - 0,028 \cdot 461,617)^2 + (580 \cdot 0,558 - 0,158 \cdot 461,617)^2} = 531,357 \text{ (В)} . \quad (4.18)$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu H} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{531,357}{86,6} = 6,136 \text{ (Ом)} . \quad (4.19)$$

4.1 Расчет и построение естественной механической характеристики

Используя параметры схемы замещения, можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик [11].

Механическая характеристика асинхронного двигателя определяется следующим выражением

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\omega_{0H} \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right]} . \quad (4.20)$$

Определим характерные точки механической характеристики по паспортным данным:

1. Режим холостого хода

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f / p = 2 \cdot \pi \cdot 50 / 1 = 78,5 \text{ рад/с}; M = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (4.21)$$

2. Номинальный режим

$$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 78,5 \cdot (1 - 0,02) = 76,93 \text{ (рад/с)}; \quad (4.22)$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{630000}{76,93} = 8189 \text{ (Н}\cdot\text{м)} \quad (4.23)$$

3. Критический момент

$$M_{\max} = k_{\text{МАКС}} \cdot M_H = 1,9 \cdot 8189 = 15559 \text{ (Н}\cdot\text{м)}. \quad (4.24)$$

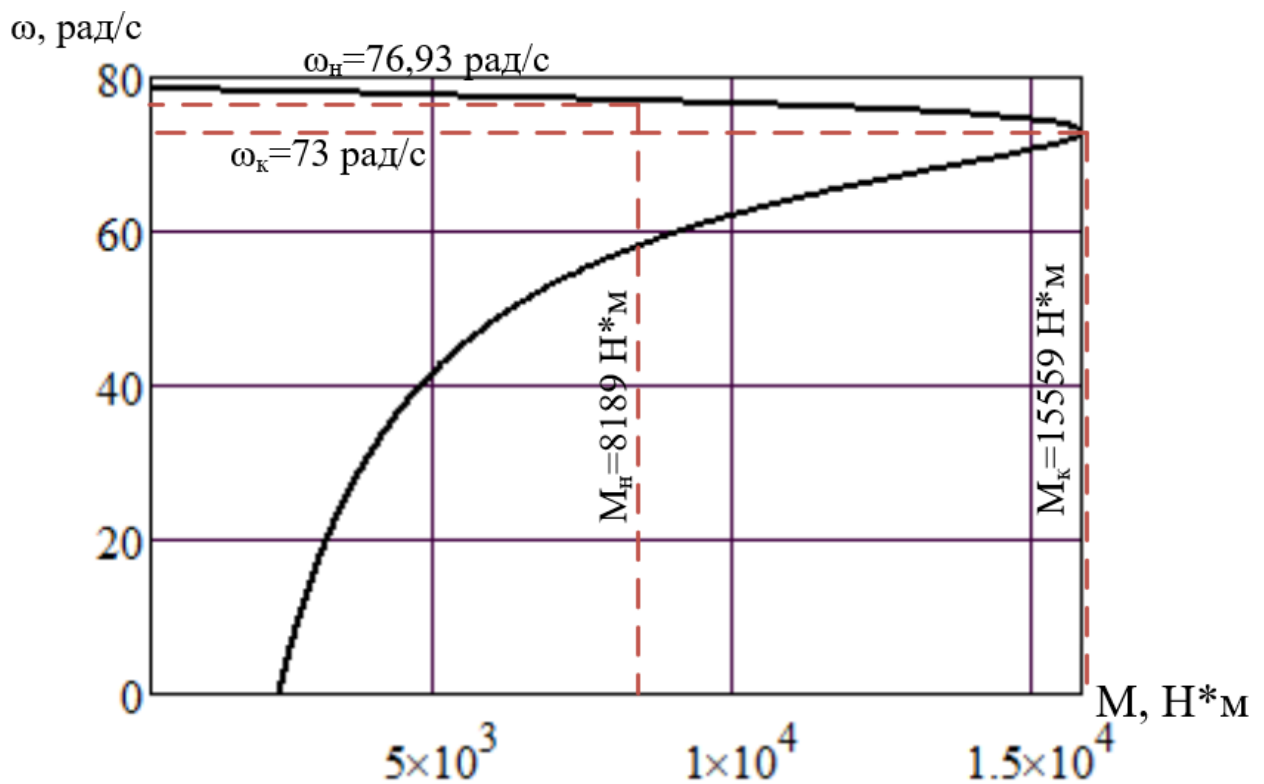


Рисунок 4.4 — Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega = f(M)$

Механическая характеристика соответствует асинхронному двигателю с ненасыщенной магнитной системой, а её своеобразие определяется зависимостью индуктивного сопротивления ротора от скольжения.

4.2 Расчет и построение естественной электромеханической характеристики

Электромеханическая характеристика АД определяется выражением

$$I_2(s) = \frac{U_1}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right]}}. \quad (4.26)$$

Электромеханическая характеристика, которая определяет зависимость тока статора от скольжения, определяется выражением

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2}. \quad (4.27)$$

Определим характерные точки механической характеристики по паспортным данным:

1. Режим идеального холостого хода

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f / p = 2 \cdot \pi \cdot 50 / 4 = 78,5 \text{ рад/с}; I_1 = 0 \text{ А}. \quad (4.28)$$

2. Номинальный режим работы

$$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 78,5 \cdot (1 - 0,02) = 76,93 \text{ (рад/с)}, \quad (4.29)$$

$$I_{1H} = 340,384 \text{ А}.$$

3. Режим короткого замыкания (режим пуска)

$$I_{\Pi} = 3 \cdot I_{1H} = 3 \cdot 340,384 = 1021,152 \text{ (А)}. \quad (4.30)$$

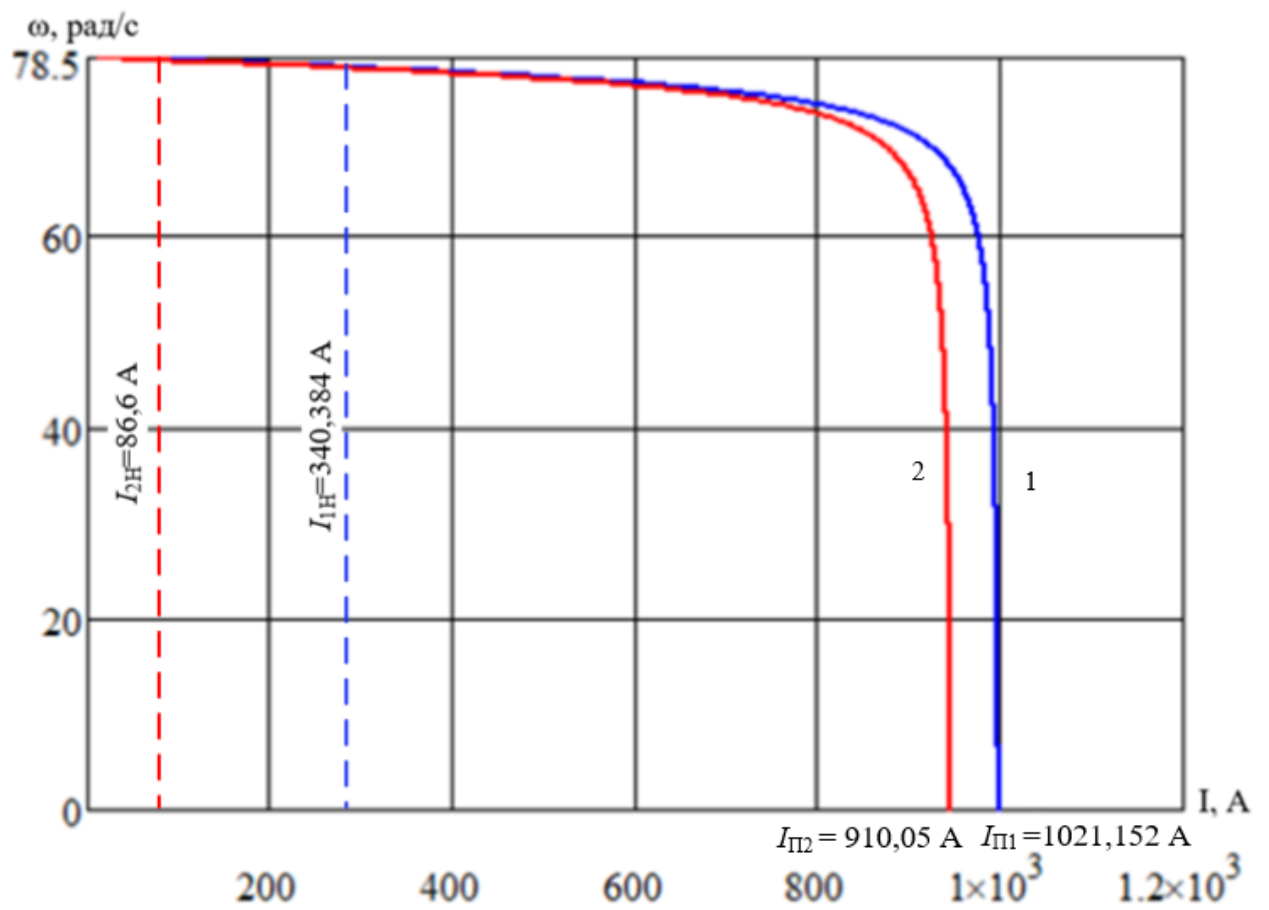


Рисунок 4.5 — Электромеханические характеристики АД

- 1 — характеристика тока обмотки статора;
- 2 — характеристика тока обмотки ротора

5 СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА ПРИ СКАЛЯРНОМ УПРАВЛЕНИИ

5.1 Расчет и построение механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты — асинхронный

двигатель при законе регулирования $\frac{U}{f^3} = const$

В электроприводах со скалярным управлением для регулирования или стабилизации скорости используются различные соотношения между частотой и напряжением. Выбор конкретного соотношения зависит от характера момента нагрузки [12].

Для двигателя типа А4-450У-8МУЗ, управляемого от преобразователя частоты фирмы *Leading Solution LSMV-060F12H-G1*, по паспортным данным и параметрам схемы замещения рассчитаем и построим электромеханические и механические характеристики при питании его от статического преобразователя частоты по закону управления $U_{1\phi} / f_1^3 = const$, т.к. имеет место вентиляторная нагрузка [13].

Таблица 5.1 — Требуемые для расчета параметры схемы замещения

| Заданные величины | Условное обозначение | Единица измерения | Численное значение |
|---|----------------------|-------------------|--------------------|
| Активное сопротивление обмотки статора | R_1 | Ом | 0,028 |
| Активное сопротивление обмотки ротора | R_2 | Ом | 0,027 |
| Индуктивное сопротивление статорной обмотки | X_1 | Ом | 0,158 |
| Индуктивное сопротивление роторной обмотки | X_2 | Ом | 0,215 |
| Индуктивное сопротивление намагничивания | $X_{\mu H}$ | Ом | 6,136 |

Для закона управления $\frac{U_{1\Phi}}{f_1^3} = const$ асинхронным двигателем произведём расчёт электромеханических и механических характеристик при выбранных частотах.

Определим значения относительных частот, напряжений и синхронных скоростей:

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}} = \frac{\{50; 40; 25; 17; 10; 0\}}{50} = \{1; 0,8; 0,5; 0,34; 0,2; 0\} \quad (\text{o.e.}); \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} U_{1j} &= U_{1\Phi} \cdot f_{1*}^3 = 580 \cdot \{1; 0,8; 0,5; 0,34; 0,2; 0\}^3 = \\ &= \{580; 464; 290; 197,2; 116; 0\} \quad (\text{В}); \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} \omega_{0j} &= \omega_{0H} \cdot f_{1*} = 78,5 \cdot \{1; 0,8; 0,5; 0,34; 0,2; 0\} = \\ &= \{78,5; 62,8; 39,25; 26,69; 15,7; 0\} \quad (\text{рад/с}); \end{aligned} \quad (5.3)$$

Расчёт электромеханических характеристик будем производить, подставляя в выражения (5.4, 5.5, 5.6) соответствующие для каждой характеристики значения (5.1, 5.2, 5.3). Далее, задаваясь диапазоном значений ω от нуля до соответствующего для каждой характеристики значения $1,25\omega_{0j}$ с шагом $0,001\omega_{0j}$, подставляем в выражение для относительного скольжения. На следующем этапе получившиеся значения относительного скольжения последовательно подставляем в выражение для тока обмотки ротора и статора.

$$S_j(\omega) = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}; \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} I_{2j}(\omega) &= \frac{U_{1j}}{\sqrt{X_{кH}^2 \cdot f_{1H}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{S_j(\omega)}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{S_j(\omega) \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_{1j}}{\sqrt{0,377^2 f_{1*}^2 + \left(0,028 + \frac{0,027}{S_j(\omega)}\right)^2 + \left(\frac{0,028 \cdot 0,027}{S_j(\omega) \cdot 6,136 \cdot f_{1*}}\right)^2}}; \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$I_{1j}(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_{2j}^2(\omega) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}(\omega) \cdot \sin \frac{X_{kH} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S_j(\omega)}\right)^2 + X_{kH}^2 \cdot f_{1*}^2}}} =$$

$$= \sqrt{86,6^2 + I_{2j}^2(\omega) + 2 \cdot 86,6 \cdot I_{2j}(\omega) \cdot \sin \frac{0,377 \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(0,028 + \frac{0,027}{S_j(\omega)}\right)^2 + 0,377^2 \cdot f_{1*}^2}}}. \quad (5.6)$$

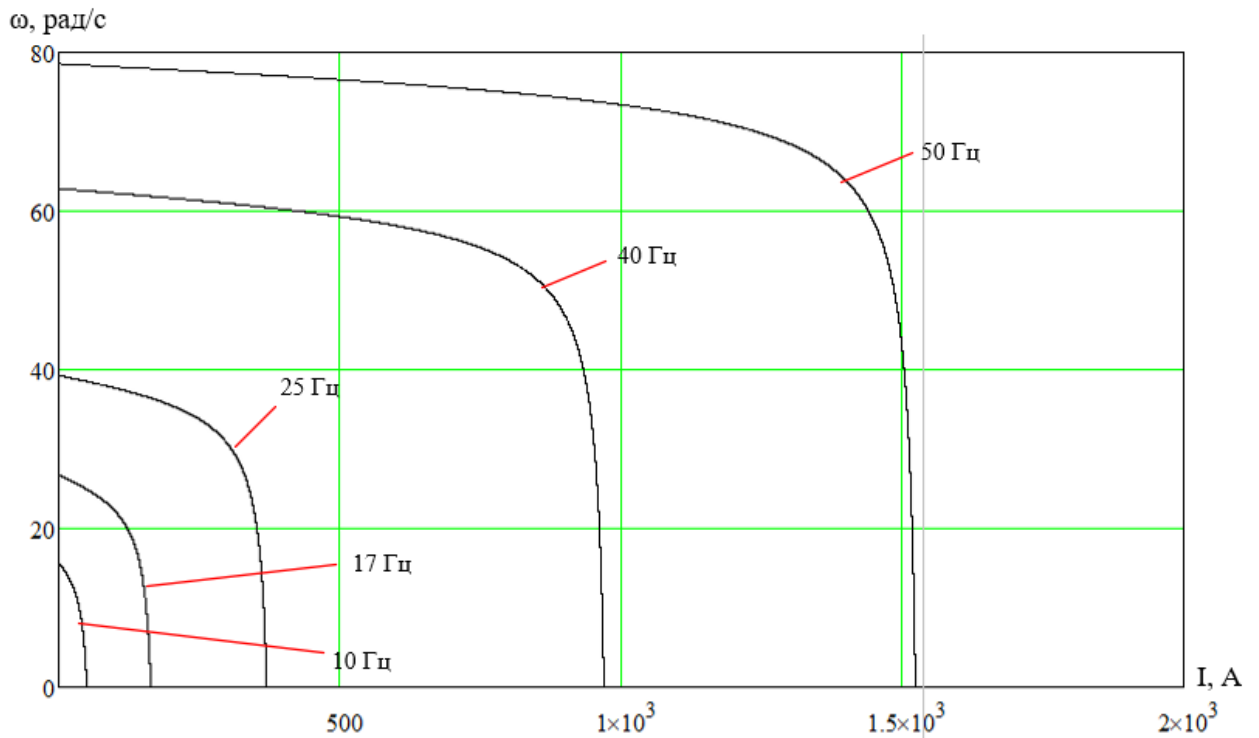


Рисунок 5.1 — Электромеханические характеристики тока ротора двигателя при законе регулирования $\frac{U}{f^3} = const$, при переменных значениях величины и частоты напряжения питания

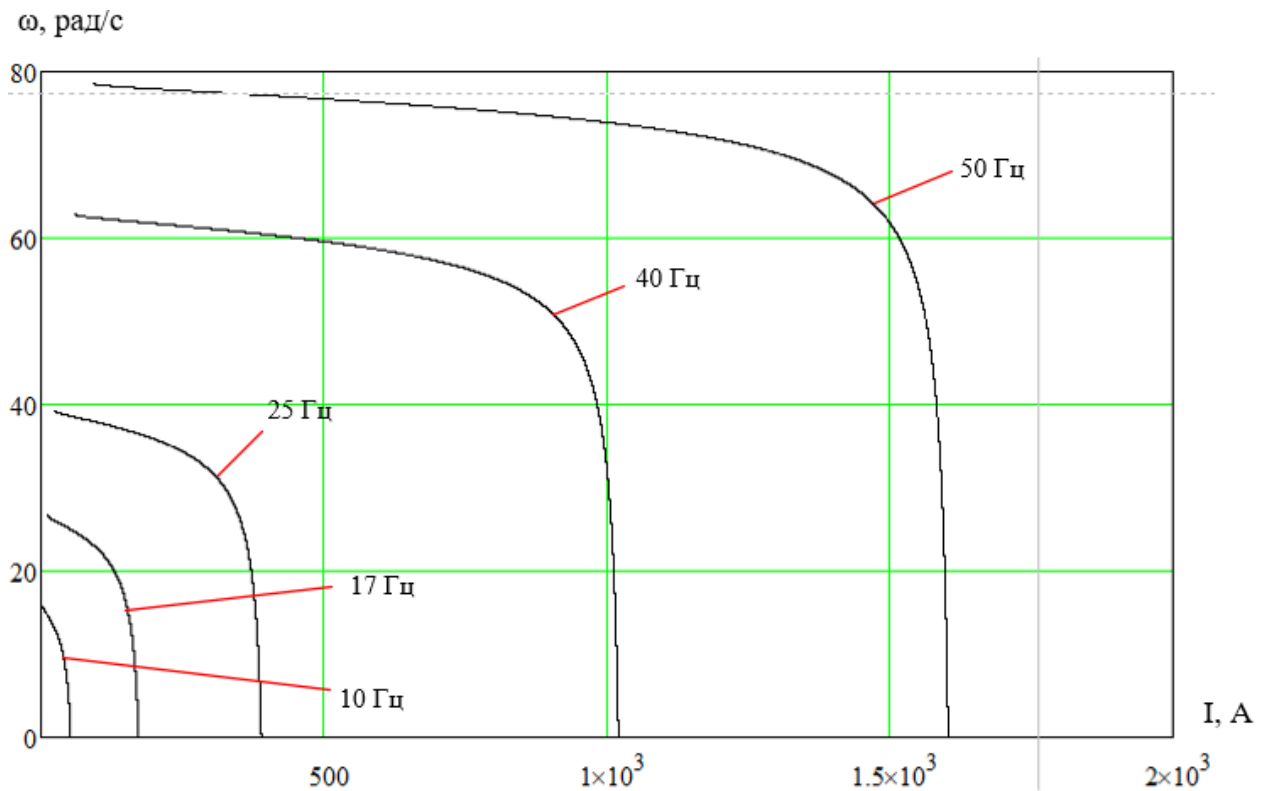


Рисунок 5.2 — Электромеханические характеристики тока статора двигателя при законе регулирования $\frac{U_{1\phi}}{f_1} = const$ при переменных значениях величины и частоты напряжения питания

Для построения механических характеристик асинхронной машины при законе управления $\frac{U_{1\phi}}{f_1^3} = const$ воспользуемся следующим выражением:

$$M_j(\omega) = \frac{3 \cdot (\Gamma_2(\omega))^2 \cdot R_2}{\omega_{0j} \cdot S_j(\omega)} = \frac{3 \cdot (\Gamma_2(\omega))^2 \cdot 0,027}{\omega_{0j} \cdot S_j(\omega)}. \quad (5.7)$$

Расчёт механических характеристик двигателя последовательно является продолжением расчёта электромеханических характеристик. Теперь соответствующие для каждой характеристики значения $\Gamma_2(\omega)$, $S_j(\omega)$, ω_{0j} подставляются в выражение для характеристики момента. Механические характеристики двигателя при законе управления $\frac{U_{1\phi}}{f_1^3} = const$ приведены на рисунке 5.3.

Для построения механических характеристик асинхронной машины для закона управления $\frac{U_{1\phi}}{f_1^3} = const$ воспользуемся следующим выражением:

$$M(S) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R'_2}{\omega_{0j} \cdot S_j \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{S_j} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{S_j \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot 0,027}{\omega_{0j} \cdot S_j \cdot \left[0,377 \cdot f_{1*}^2 + \left(0,028 + \frac{0,027}{S_j} \right)^2 + \left(\frac{0,028 \cdot 0,027}{S_j \cdot 6,136 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} \quad (5.8)$$

Электро-механические и механические характеристики двигателя А4-450У-8МУЗ для закона регулирования $\frac{U_{1\phi}}{f_1^3} = const$ построены в программной среде *MathCad*.

Для построения характеристики вентиляторной нагрузки при законе управления $\frac{U_{1\phi}}{f_1^3} = const$ воспользуемся следующим выражением:

$$M(s) = M_0 + k \cdot \omega^3 = 4 + 0.018 \cdot \omega^3 \quad (5.9)$$

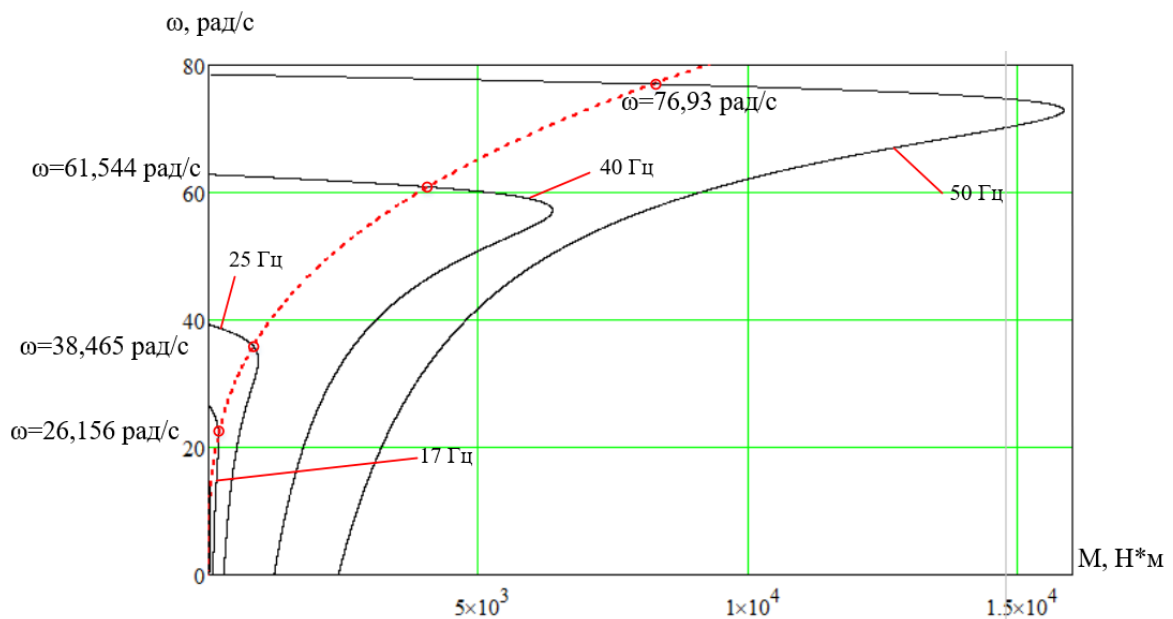


Рисунок 5.3 — Механические характеристики двигателя при законе регулирования $\frac{U}{f^3} = const$ при переменных значениях величины и частоты напряжения питания

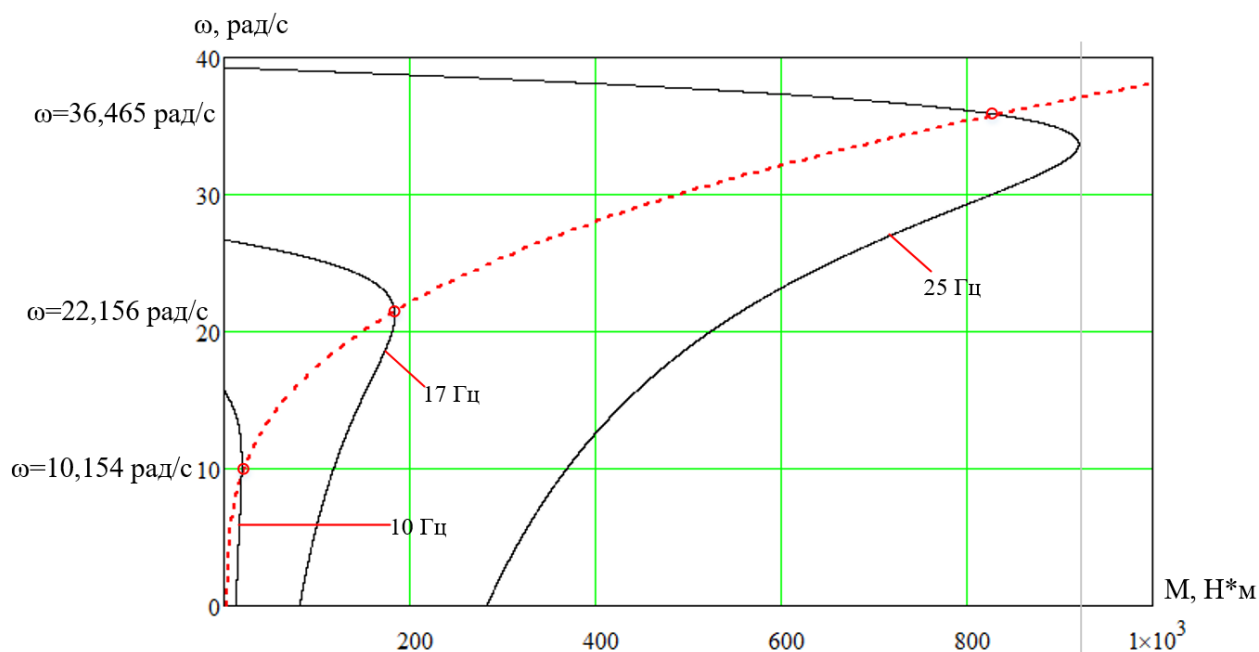


Рисунок 5.4 — Механические характеристики двигателя при законе регулирования $\frac{U}{f^3} = const$ в увеличенном размере при переменных значениях величины и частоты напряжения питания

Из построенных характеристик следует, что для данного двигателя при законе управления $\frac{U}{f^3} = const$ с уменьшением частоты питающей сети падение напряжения на сопротивлении R_l существенно снижает величину напряжения, прикладываемого к контуру намагничивания, и критический момент асинхронного двигателя уменьшается.

6 МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

6.1 Переходные процессы в двигателе при прямом пуске

Подставляя базовые расчетные значения параметров в имитационную модель двигателя, составленную в программе *Matlab* (рисунок 6.1), строим графики переходных процессов момента и скорости двигателя (рисунки 6.2 и 6.3), а также динамическую механическую характеристику (рисунок 6.4) [15,16].

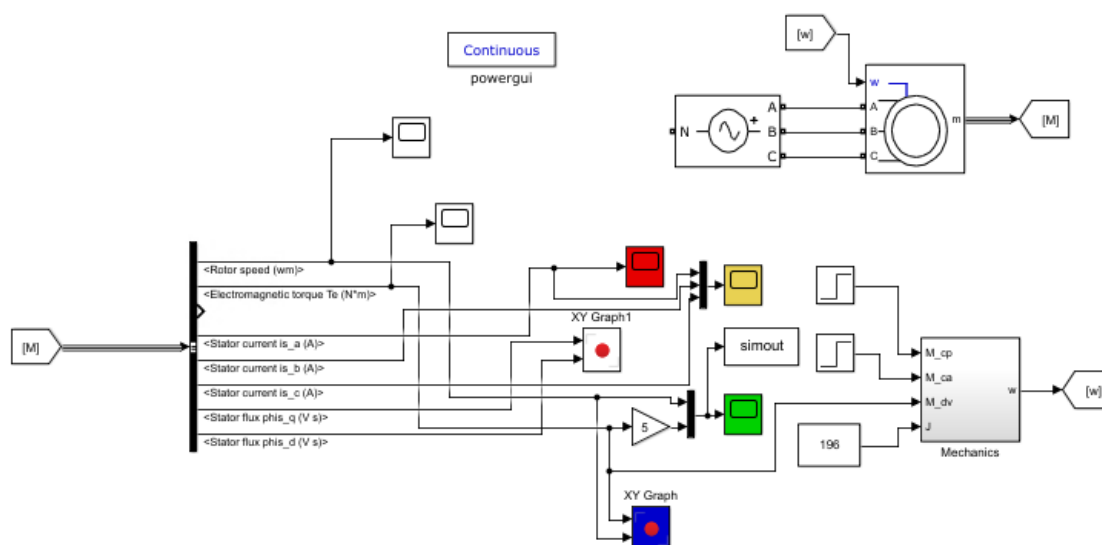


Рисунок 6.1 — Имитационная модель короткозамкнутого асинхронного двигателя.

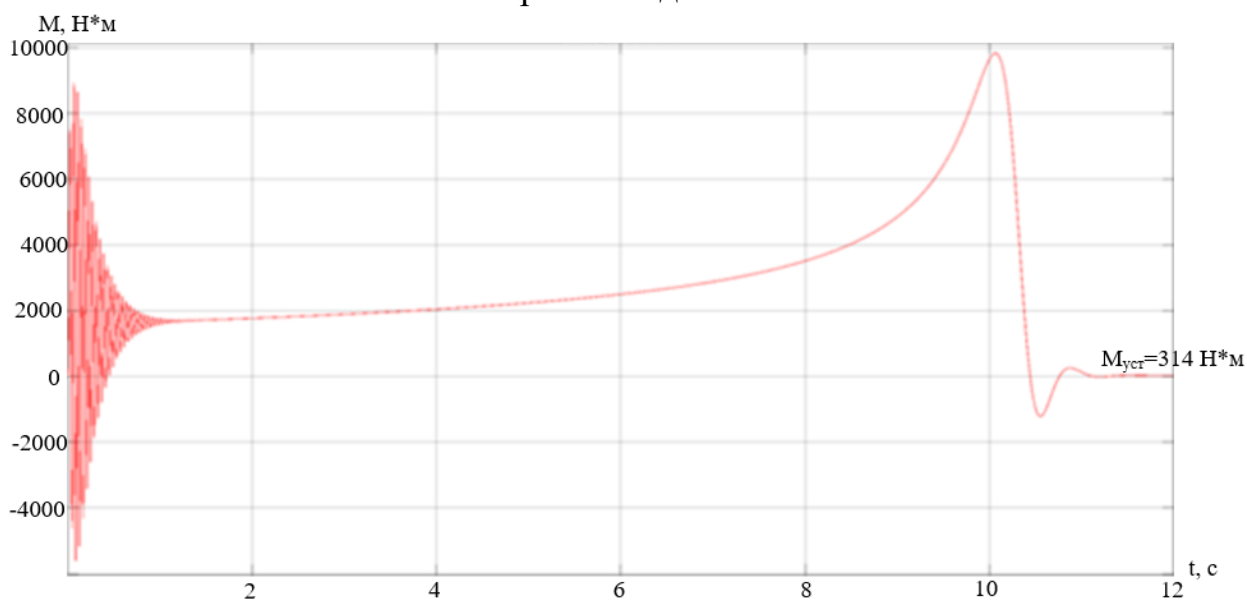


Рисунок 6.2 — Переходный процесс момента при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя с прямым включением в сеть.

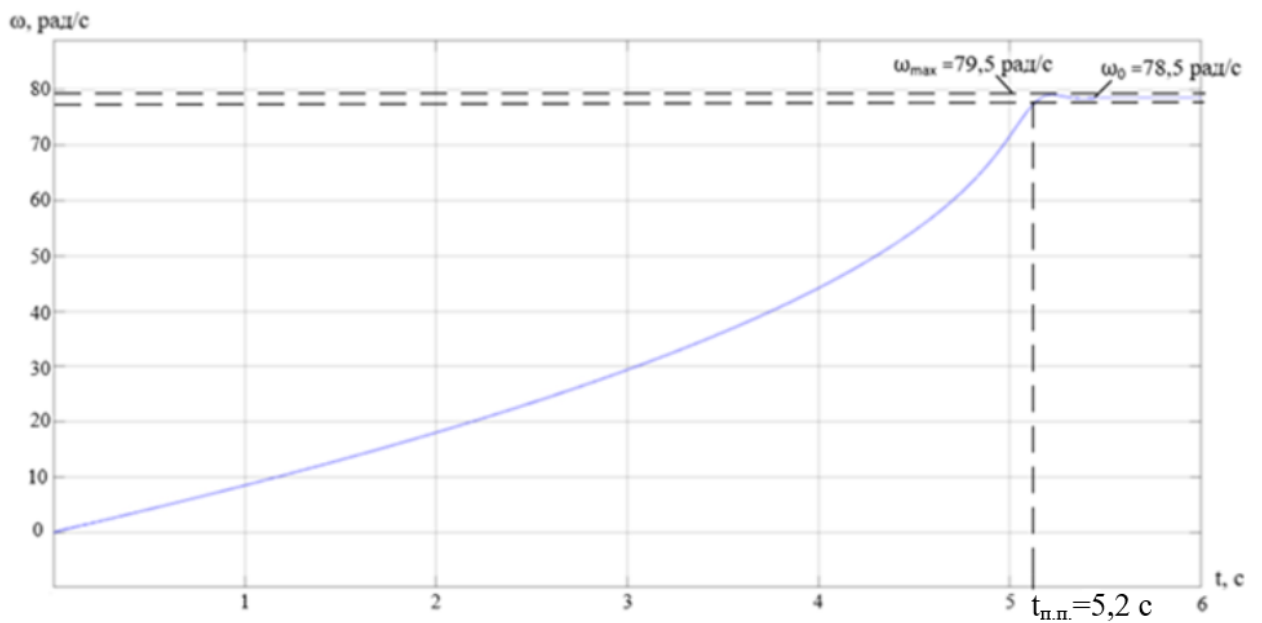


Рисунок 6.3 — Переходный процесс скорости при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя прямым включением в сеть.

Основные показатели качества для характеристики скорости [14]:

- перерегулирование $\sigma = 1,26\%$;
- установившееся значение скорости $\omega_{уст} = 78,5$ рад/с;
- время переходных процессов $T_{п.п} = 5,2$ с.

Графики $\omega=f(t)$ и $M=f(t)$ переходных процессов позволяют построить динамическую механическую характеристику (рисунок 6.4) асинхронного двигателя при пуске прямым включением в сеть.

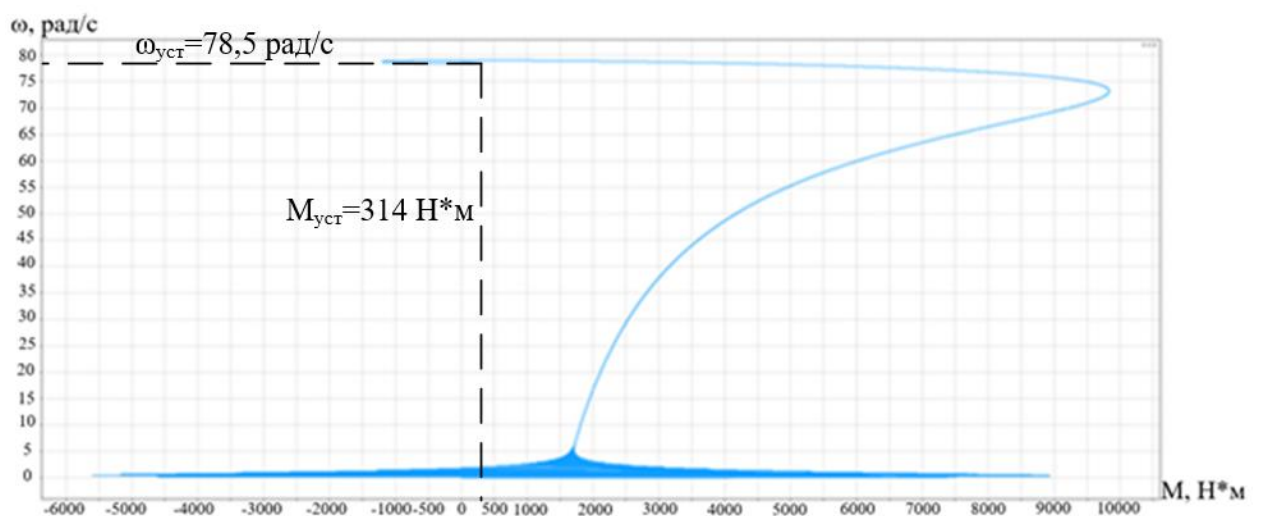


Рисунок 6.4 — Динамическая механическая характеристика короткозамкнутого асинхронного двигателя

Вид переходных процессов при прямом пуске асинхронного электродвигателя показывает наличие колебательной составляющей в кривой электромагнитного момента и затухающей составляющей по мере разгона двигателя. При достижении динамической характеристикой критического значения, двигатель имеет максимальное ускорение. Большие ударные моменты при пуске двигателя ($M_{\max} = 1,9M_{\text{ном}}$) могут приводить к выходу из строя механизма машины. Значения токов обмоток статора во время разгона двигателя достигают нескольких тысяч ампер, что приводит к выходу из строя обмотки статора двигателя, по окончании времени разгона ток уменьшается до номинального. В итоге прямой пуск асинхронного двигателя не позволяет получить удовлетворительных переходных характеристик.

7 РАЗРАБОТКА И РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ С КОМПЕНСАЦИЕЙ МОМЕНТА

7.1 Разработка структурной схемы асинхронного двигателя при скалярном регулировании скорости с компенсацией момента

T-образная схема замещения асинхронного двигателя была рассмотрена ранее. В соответствии с данной схемой можно записать уравнения для ЭДС контуров АД по закону напряжений Кирхгофа:

$$\begin{cases} U_{1j} = E_{1j} + R_1 I_1 \\ U_{1j} = E_{mj} + (R_1 + jX_{1\sigma j}) I_1 \\ U_{1j} = E'_{2j} + (R_1 + jX_{1\sigma j}) I_1 + jX'_{2\sigma j} I'_2 \end{cases}$$

Таким образом, компенсируя падения напряжения на сопротивлениях R_1 , $R_1 + jX_{1\sigma j}$, $R_1 + jX_{1\sigma j}$ и $X'_{2\sigma j}$, можно получить частотные законы регулиро-

вания скорости классов $\frac{E_{1j}}{f_{1j}}$, $\frac{E_{mj}}{f_{1j}}$, $\frac{E'_{2j}}{f_{1j}}$.

На практике наибольшее распространение получили законы регулирования класса E_{1j}/f_{1j} . В частности, для рассматриваемого электродвигателя будет использоваться закон $E_{1j}/f_{1j}^3 = const$. При регулировании скорости в данном классе законов необходимо повышать фазное напряжение статора только на величину падения напряжения $I_1 R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости АД получил название частотного регулирования с IR-компенсацией.

Реализация управления компенсирующего падения напряжения на активном сопротивлении статора возможна как по отклонению, так и по возмущению, со скалярной или векторной IR-компенсацией.

Структурная схема электропривода по системе ПЧ-АД со скалярной IR-компенсацией изображена на рисунке 7.1.

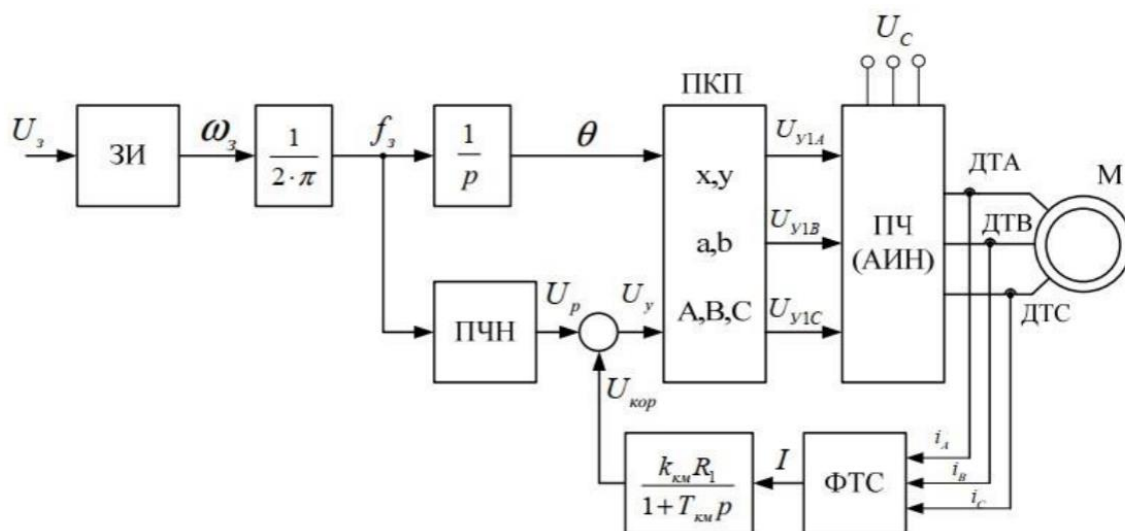


Рисунок 7.1 — Структурная схема частотного управления со скалярной IR-компенсацией

При скалярной IR-компенсации сигнал управления U_y формируется из суммы сигналов регулирования U_p и положительной обратной связи по току статора $U_{кор}$:

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} R_1 I,$$

где $k_{км}$ — коэффициент компенсации момента положительной обратной связи по току,

I — формируемый ФТС сигнал, пропорциональный действующим значениям токов i_A, i_B, i_C обмоток статора АД.

Для ПКП сигнал управления является входным. На выходе ПКП формируются синусоидальные напряжения управления $U_{y1A}, U_{y1B}, U_{y1C}$, сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудными значениями, пропорциональными сигналу управления. На основе сигналов $U_{y1A}, U_{y1B}, U_{y1C}$ формируются фазные напряжения на выходе АИН, которые затем подаются на обмотки статора АД.

7.2 Расчёт эквивалентных сопротивлений для построения характеристик с коэффициентами компенсации 0,25; 0,5 и 0,75

Для построения искусственных характеристик электропривода по системе ПЧ-АД со скалярной IR-компенсацией зададимся величинами коэффици-

циентов компенсации момента, соответствующими частотам регулирования 50 Гц, 40 Гц, 25 Гц, 17 Гц, 10 Гц соответственно: 0; 0,25; 0,5; 0,75.

При этом фактически IR-компенсация на частоте 50 Гц не производится ввиду практической недопустимости повышения напряжения АИН на основной частоте. Тогда эквивалентные сопротивления статорных обмоток при скалярной IR-компенсации:

$$R_{1\text{экв}1} = R_1(1 - k_{\text{км}1}) = 0,028 \cdot (1 - 0) = 0,028 \text{ (Ом)},$$

$$R_{1\text{экв}2} = R_1(1 - k_{\text{км}2}) = 0,028 \cdot (1 - 0,25) = 0,021 \text{ (Ом)},$$

$$R_{1\text{экв}3} = R_1(1 - k_{\text{км}3}) = 0,028 \cdot (1 - 0,5) = 0,014 \text{ (Ом)},$$

$$R_{1\text{экв}4} = R_1(1 - k_{\text{км}4}) = 0,028 \cdot (1 - 0,75) = 0,007 \text{ (Ом)}.$$

7.3 Построение искусственных характеристик электропривода по системе ПЧ-АД со скалярной IR-компенсацией для частот 50, 25, 10 и 5 Гц.

Выполним построение характеристик со скалярной IR-компенсацией по выражениям из предыдущего пункта, заменив в них величину R_1 на величины $R_{1\text{экв}j}$ на регулировочных частотах. Электромеханические и механические характеристики двигателя при частотном управлении со скалярной IR-компенсацией представлены на рисунках 7.2-7.7.

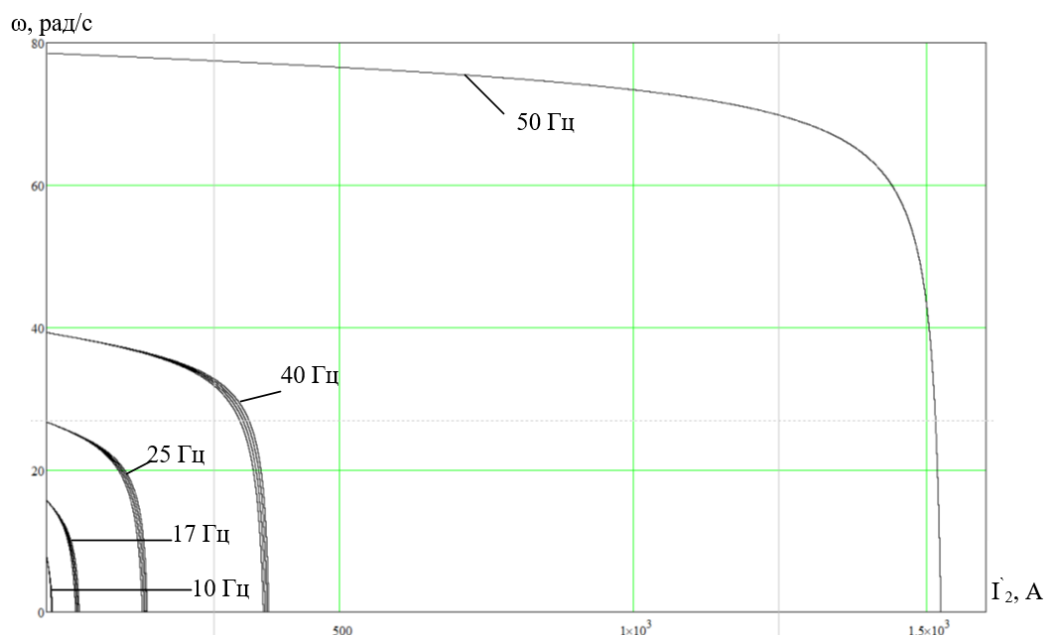


Рисунок 7.2 — Искусственные электромеханические характеристики тока ротора двигателя при частотном управлении со скалярной IR-компенсацией

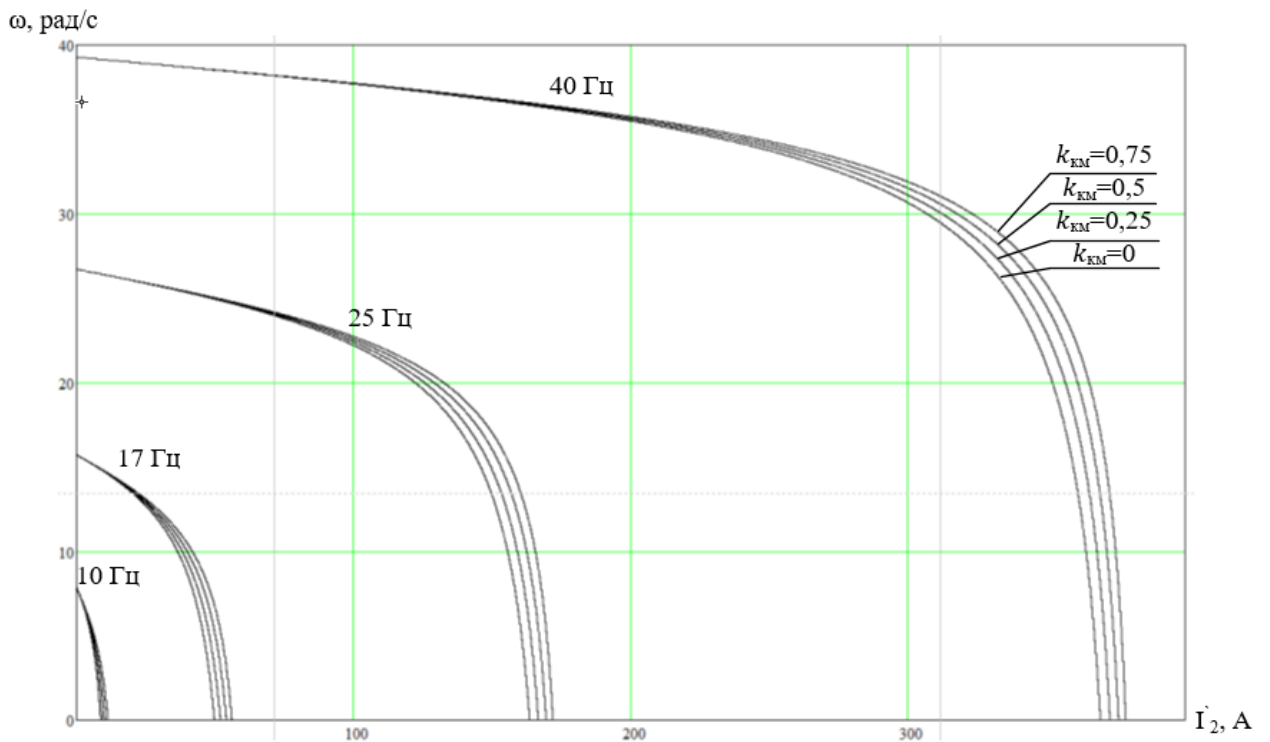


Рисунок 7.3 — Искусственные электромеханические характеристики тока ротора двигателя при частотном управлении со скалярной IR-компенсацией в увеличенном размере

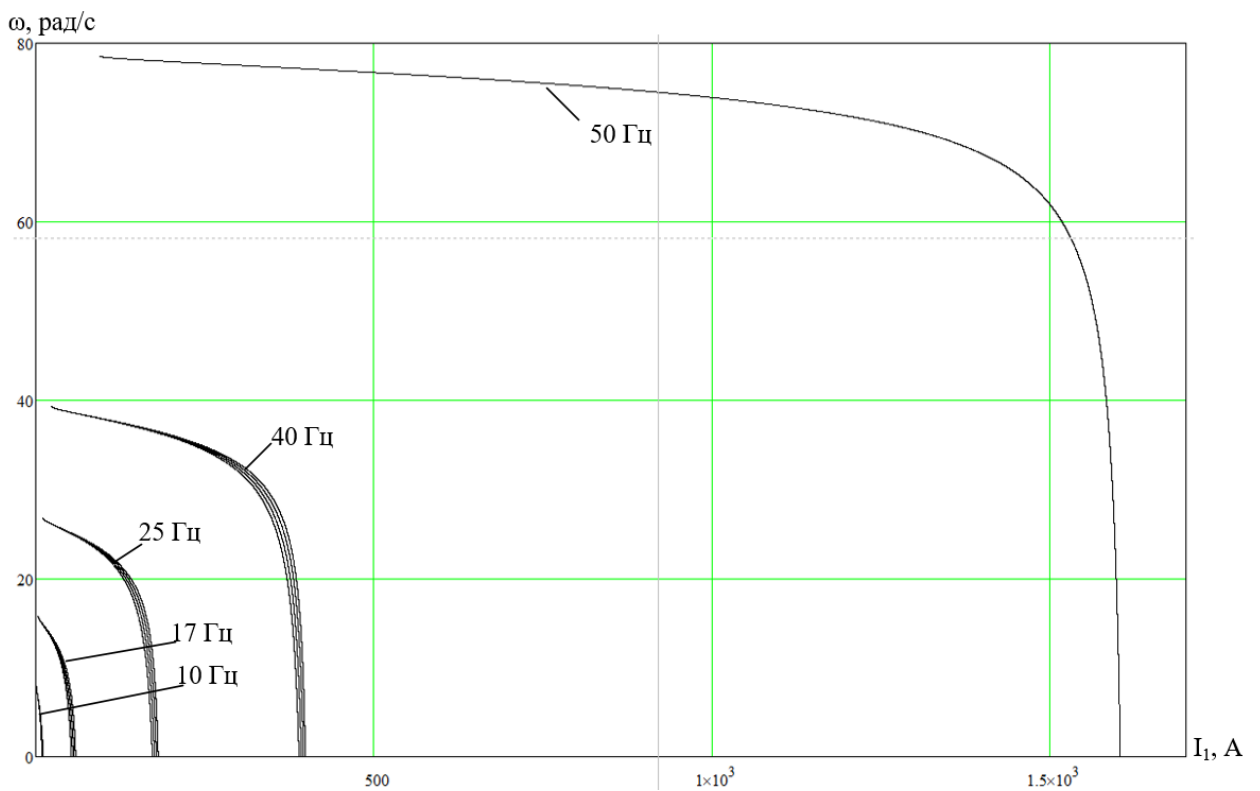


Рисунок 7.4 — Искусственные электромеханические характеристики тока статора двигателя при частотном управлении со скалярной IR-компенсацией

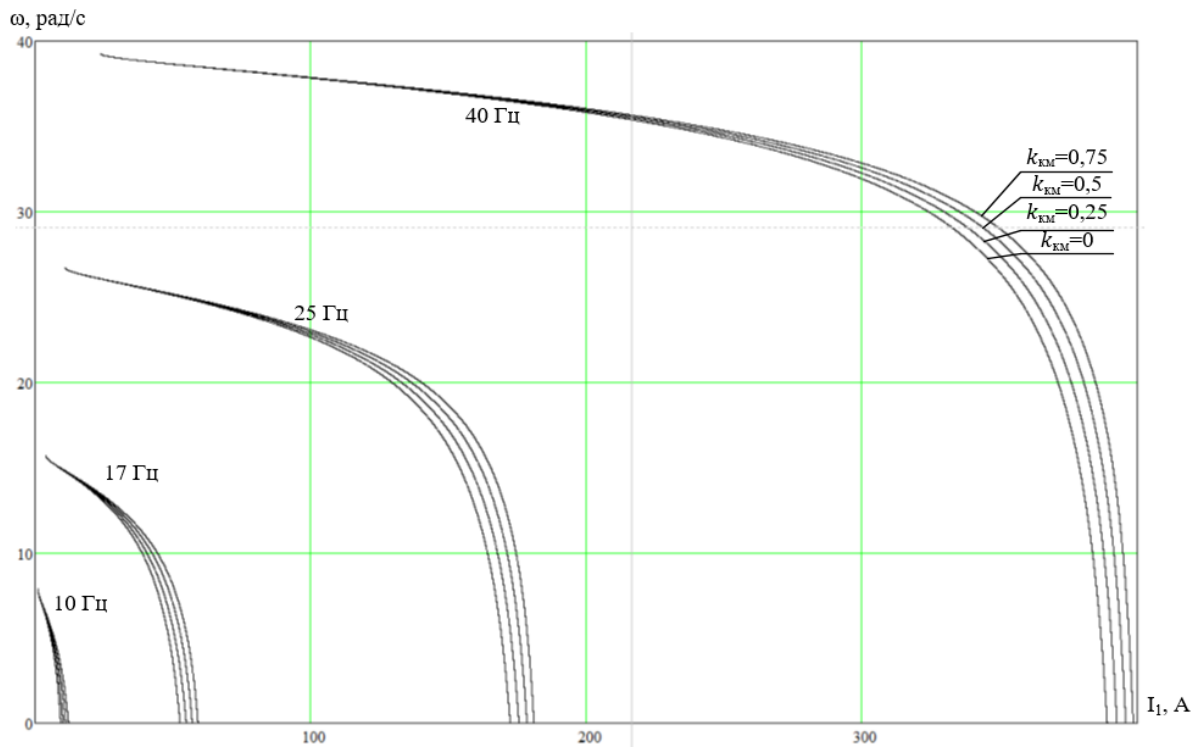


Рисунок 7.5 — Искусственные электромеханические характеристики тока статора двигателя при частотном управлении со скалярной IR-компенсацией в увеличенном размере

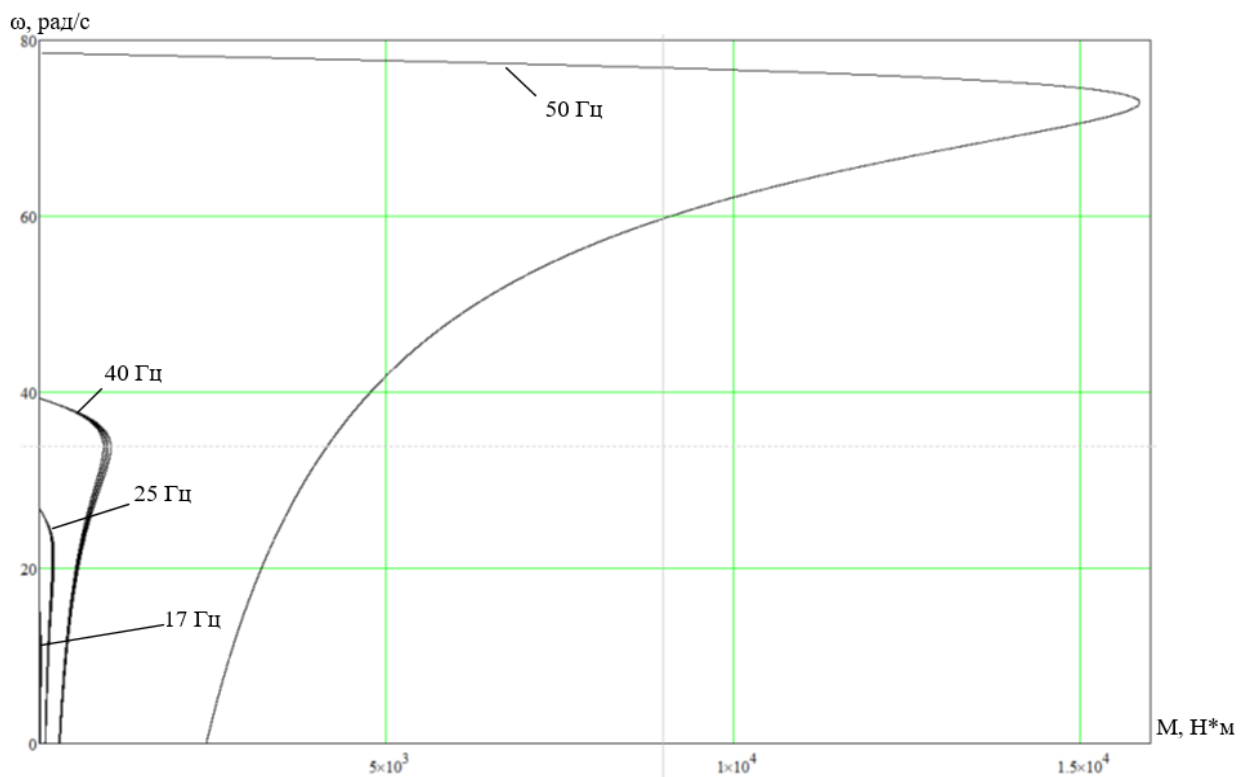


Рисунок 7.6 — Искусственные механические характеристики двигателя при частотном управлении со скалярной IR-компенсацией и механическая характеристика момента сопротивления на валу двигателя

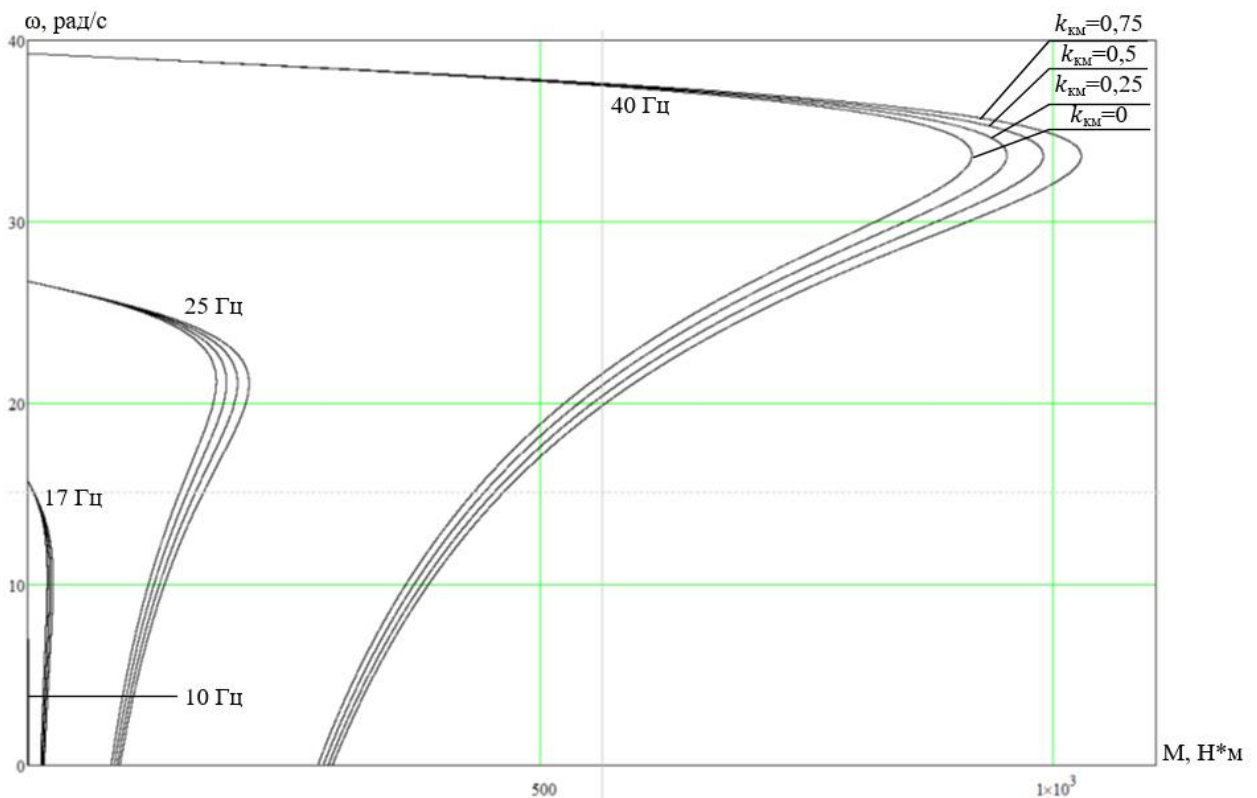


Рисунок 7.7 — Искусственные механические характеристики двигателя при частотном управлении со скалярной IR-компенсацией и механическая характеристика момента сопротивления на валу двигателя в увеличенном размере

По построенным характеристикам можно понять целесообразность компенсации и сделать выводы относительно коэффициента.

1.1 Анализ полученных результатов

По полученным электромеханическим характеристикам можно судить о том, что при частотном регулировании увеличение $k_{кмj}$ при постоянной частоте регулирования увеличивает токи короткого замыкания. То же справедливо для увеличения частоты при постоянном коэффициенте моментной компенсации. Это обусловлено тем, что при низких частотах регулирования доля падения напряжения на активном сопротивлении статора больше, а следовательно, требуется увеличивать компенсацию.

По полученным механическим характеристикам видно, что с увеличением $k_{кмj}$ увеличивается критический момент и жесткость характеристик воз-

растает. Из графиков механических характеристик видно, что критический момент не превышает момент на естественной характеристике. Это говорит о том, что использование большой компенсации на средних частотах регулирования допустимо. Также на частоте 10 Гц при отсутствии компенсации двигатель не может стабильно работать с нагрузкой, т.к. находится на границе устойчивости. Тем самым может возникнуть необходимость коррекции вольтчастотной характеристики на частоте 10 Гц при отсутствии или недостаточной IR-компенсации, тем самым обеспечив повышенный пусковой момент.

При недостаточном пусковом моменте на низких частотах возможно использование коррекции вольтчастотной характеристики. На частоте 10 Гц, с одной стороны, двигатель можно запустить и работать с нагрузкой при отсутствии IR-компенсации или ее малых величинах, с другой — при большой IR-компенсации существенно возрастают пусковые токи и моменты. При увеличении нагрузки напряжение на статоре АД оказывается недостаточным, а при уменьшении — избыточным. Также стоит отметить, что коррекцию вольтчастотной характеристики следует применять при работе электропривода с постоянной нагрузкой, что не соответствует постоянно изменяющейся нагрузке на земснаряде. Следовательно, ввиду нецелесообразности и недопустимости вольтдобавки, нет необходимости в корректировке вольтчастотной характеристики.

Анализ статических характеристик при частотном управлении показывает, что при моменте сопротивления, не зависящем от угловой скорости, следует компенсировать уменьшение момента двигателя на малой частоте и развивать повышенный пусковой момент. Это достигается при использовании IR-компенсации с коэффициентом 0,25.

8 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ — АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

8.1 Функциональная схема системы преобразователь частоты — асинхронный двигатель

Упрощенная функциональная схема системы управления асинхронным электроприводом представлена на рисунке 8.1.

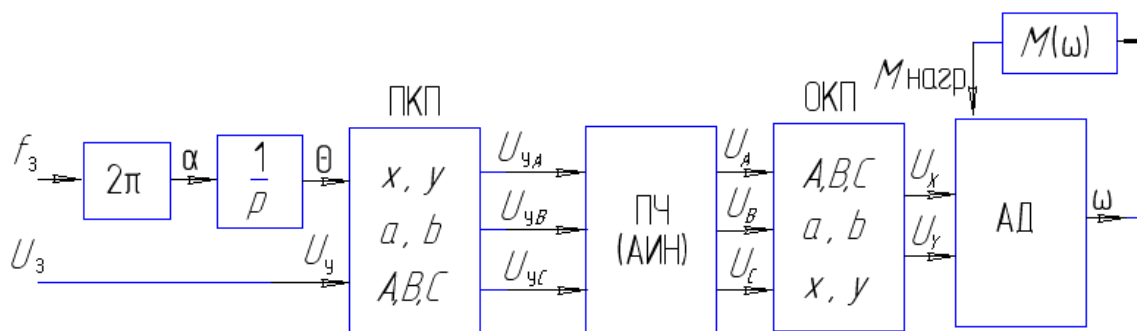


Рисунок 8.1 — Упрощенная функциональная схема системы управления асинхронным электроприводом

- ПКП — прямой координатный преобразователь;
- ОКП — обратный координатный преобразователь;
- ПЧ — преобразователь частоты;
- АД — асинхронный двигатель.

Функциональная схема системы преобразователь частоты — асинхронный двигатель приведена на рисунке 8.2.

В системе регулирования питание асинхронного двигателя осуществляется от двухзвенного преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения. Управляющими воздействиями на асинхронный двигатель являются частота и напряжение на статоре. Существенным достоинством автономного инвертора напряжения является независимость выходного напряжения от частоты и от момента нагрузки. Это упрощает формирование необходимого закона частотного регулирования, особенно если напряжение регулируется только в функции частоты. Характер нагрузки (или закона регулирования частоты от напряжения) учитывается звеном преобразователь частоты — напряжение (ПЧН). Особенности звеньев ПЧН электроприводов с микропроцессорным управлением позволяют учесть характер нагрузки в большом диапазоне регулирования скорости [17].

Continuous

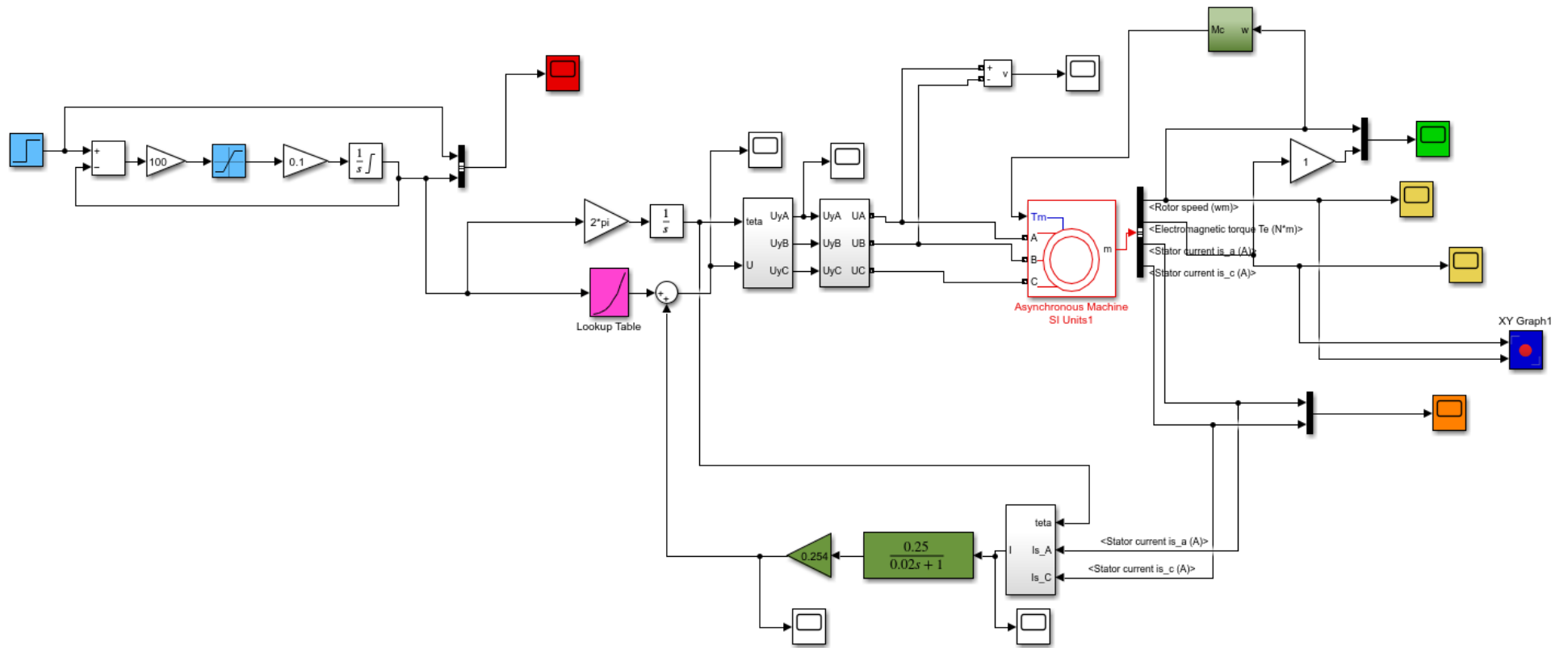


Рисунок 8.2 — Модель системы ПЧ-АД со скалярным управлением.

Моделирование процесса при 50 Гц

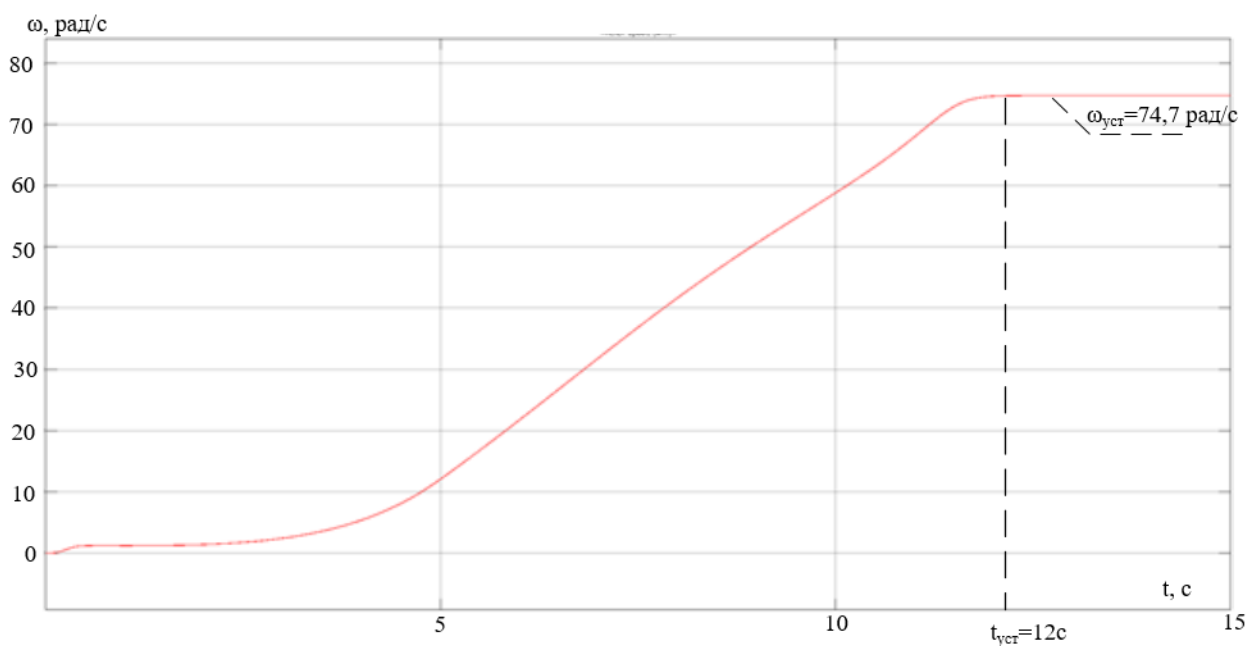


Рисунок 8.3 — Переходный процесс по скорости при частотном пуске

На рисунке 8.3 видно, что время переходного процесса составляет 12 с, а скорость равна номинальной 74,7 рад/с.

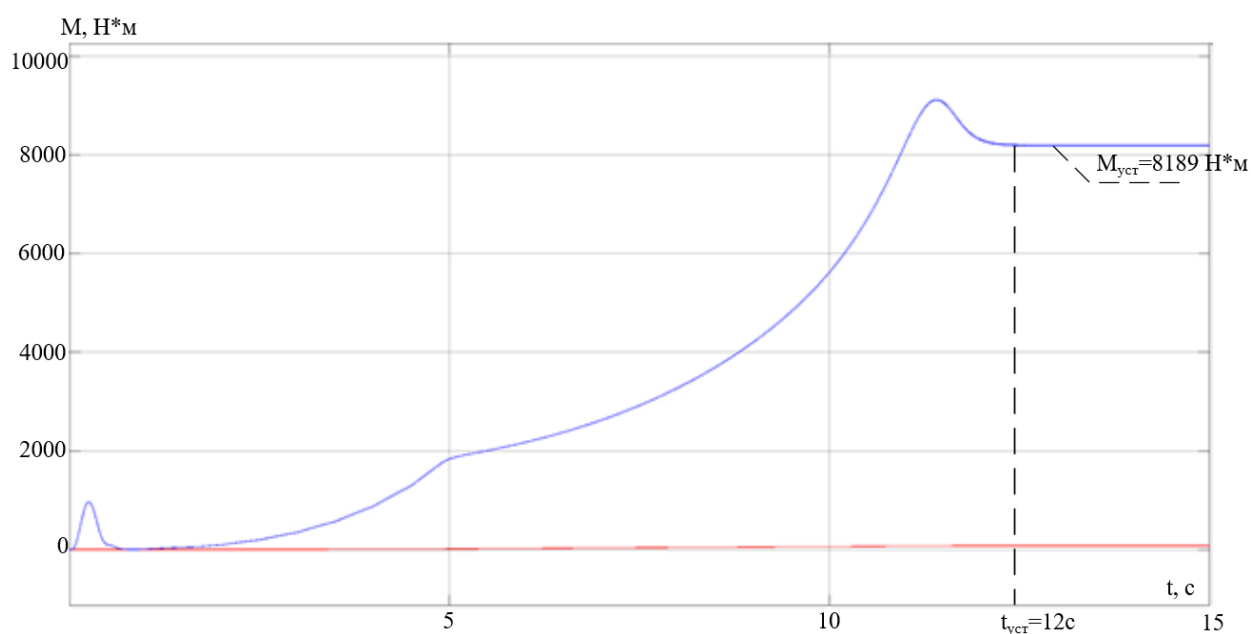


Рисунок 8.4 — Переходный процесс по моменту при частотном пуске

На рисунке 8.4 видно, что время переходного процесса составляет 12 с, а момент равен номинальному значению 8189 Н*м.

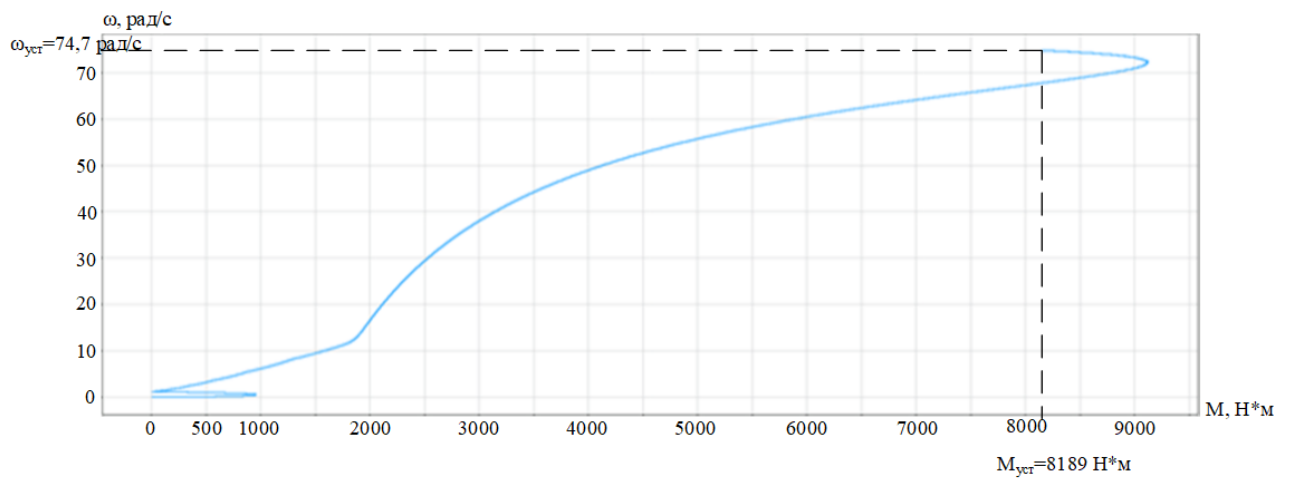


Рисунок 8.5 — Динамическая характеристика частотного пуска

Моделирование процесса при 40 Гц

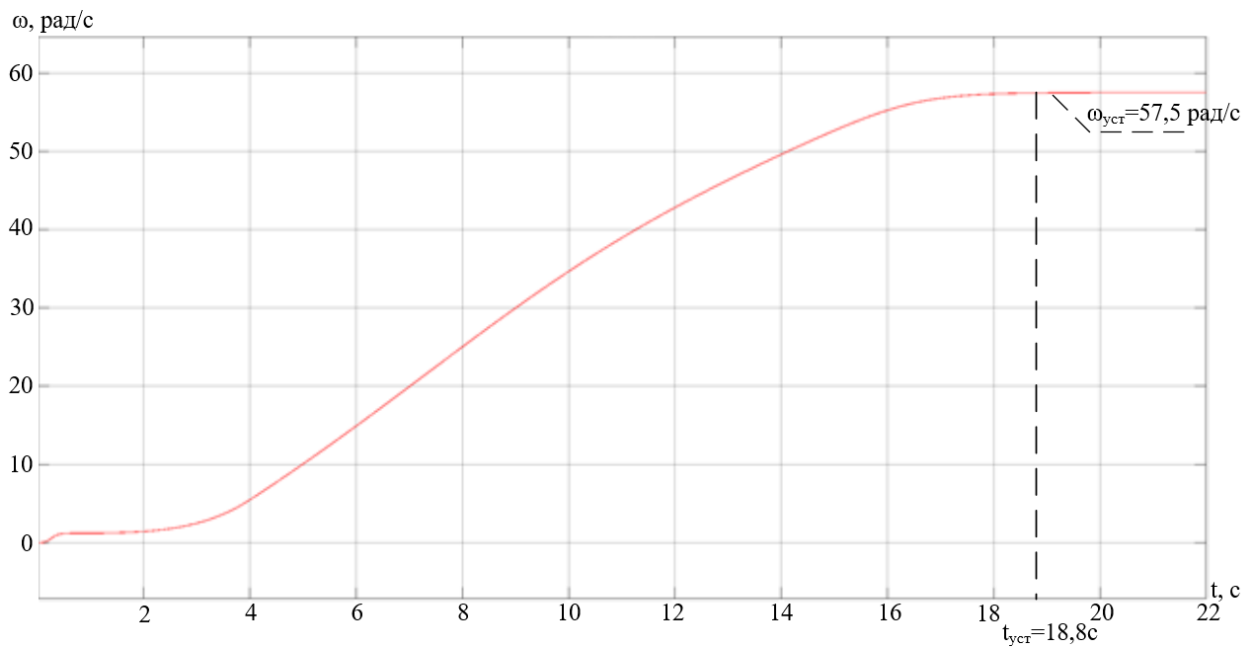


Рисунок 8.6 — Переходный процесс по скорости при частотном пуске

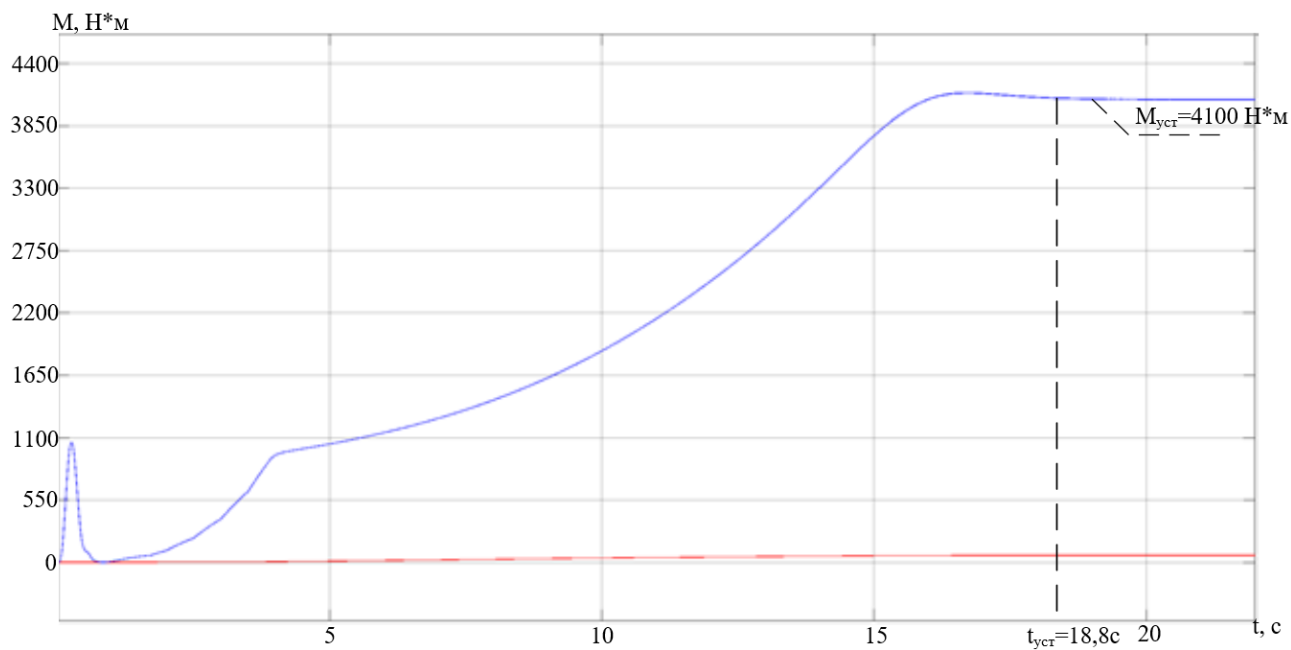


Рисунок 8.7 — Переходный процесс по моменту при частотном пуске

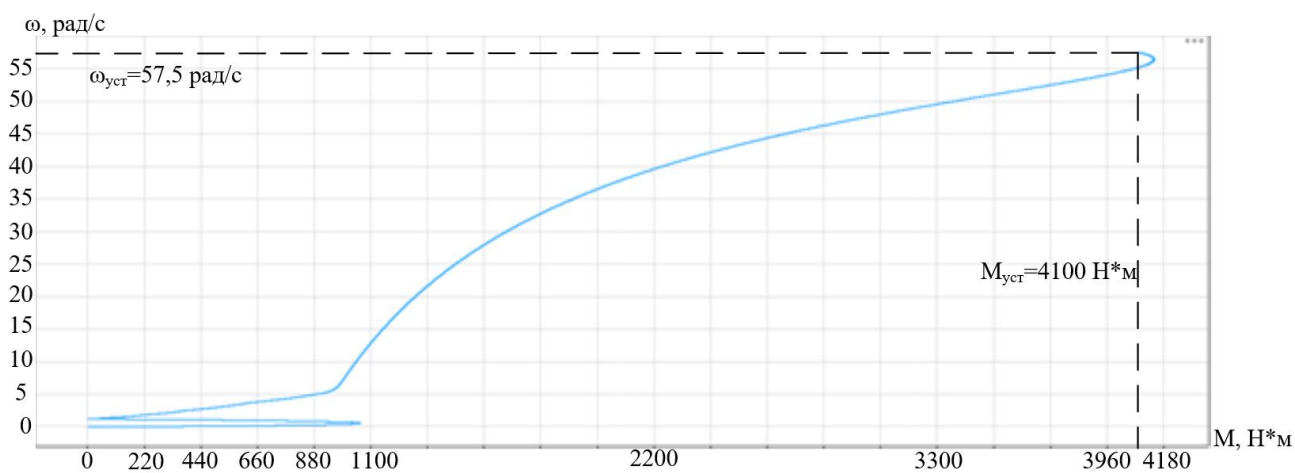


Рисунок 8.8 — Динамическая характеристика частотного пуска

Моделирование процесса при частоте 25 Гц

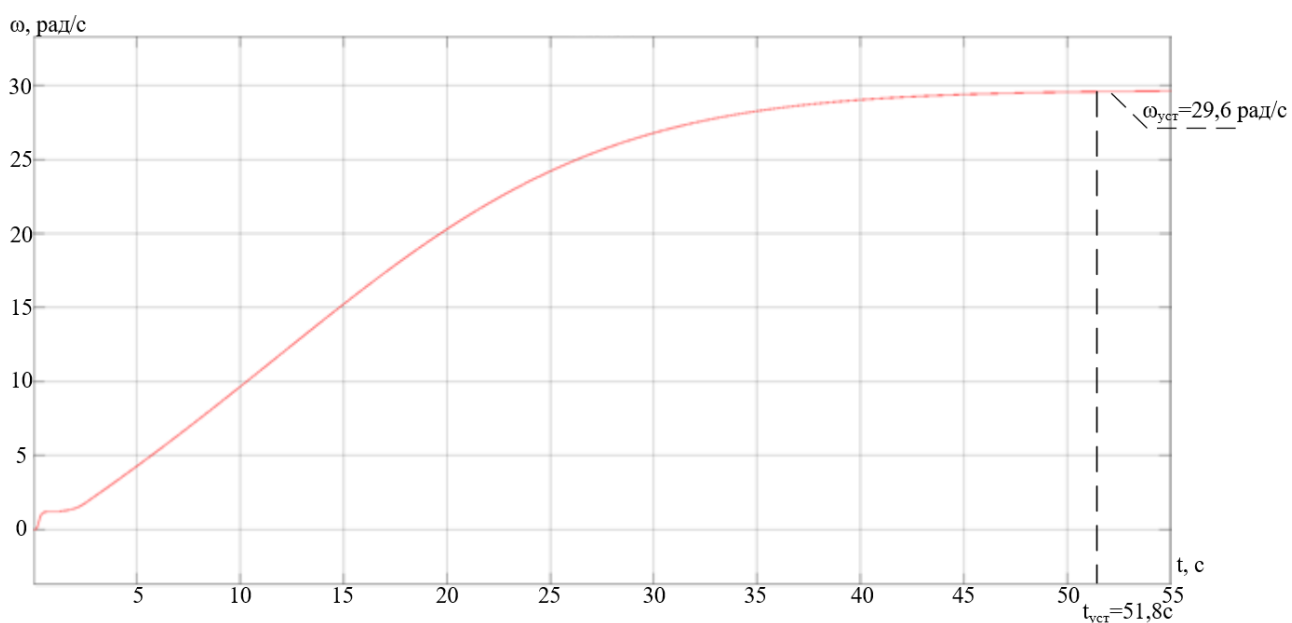


Рисунок 8.9 — Переходный процесс по скорости при частотном пуске

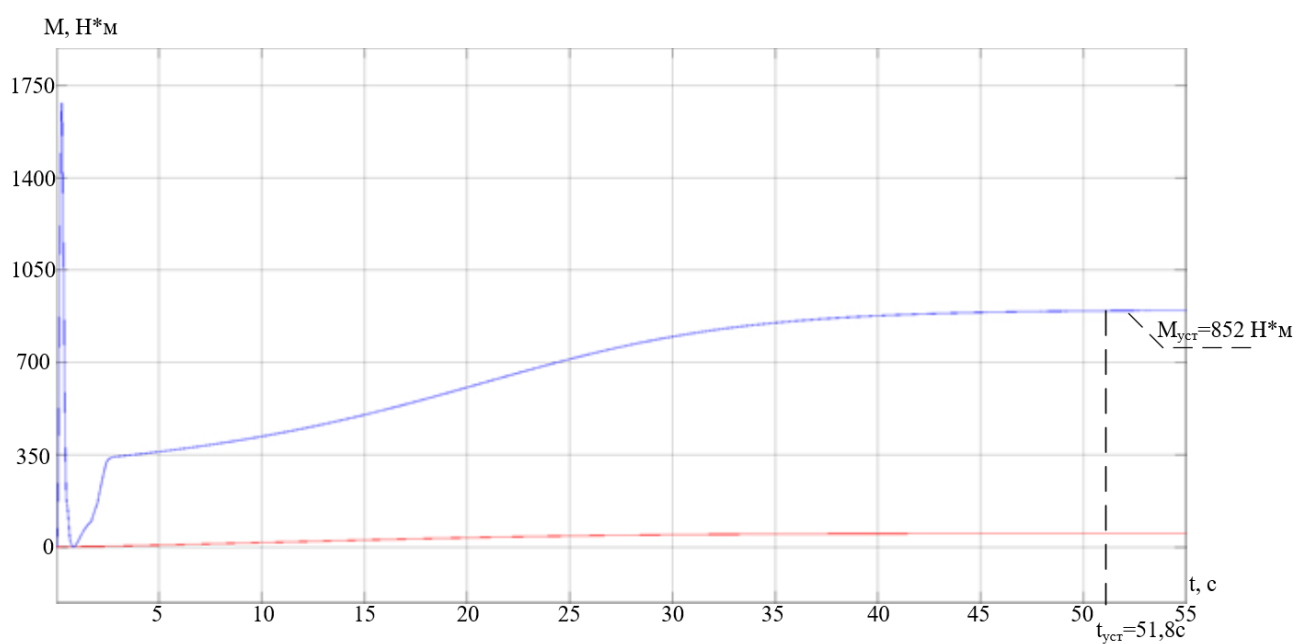


Рисунок 8.10 — Переходный процесс по моменту при частотном пуске

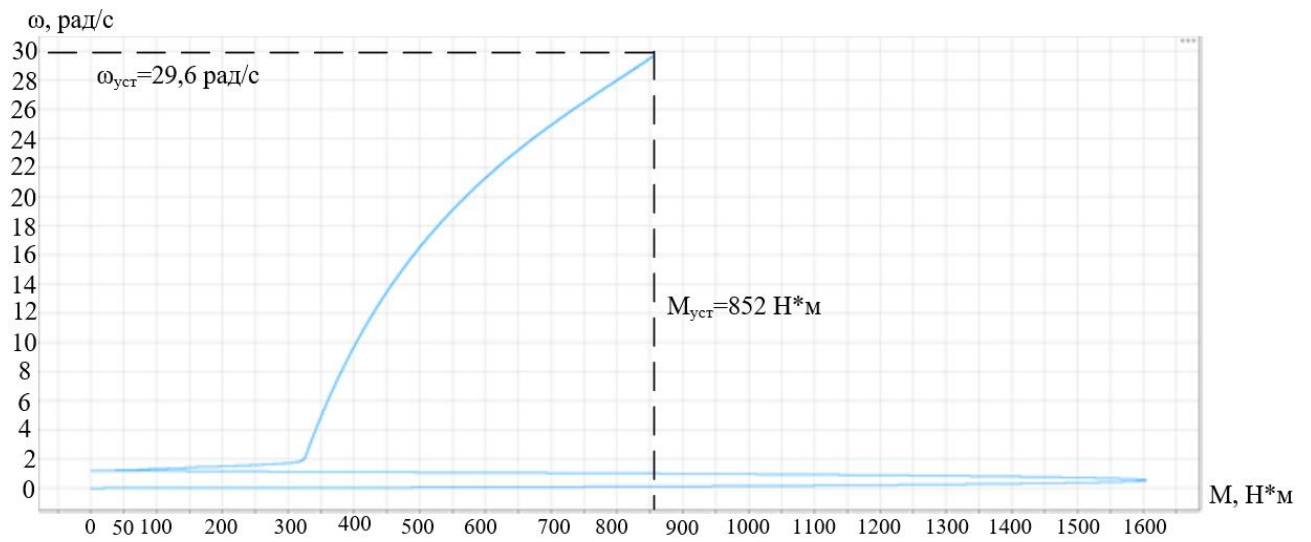


Рисунок 8.11 — Динамическая характеристика частотного пуска

Моделирование процесса при частоте 17 Гц

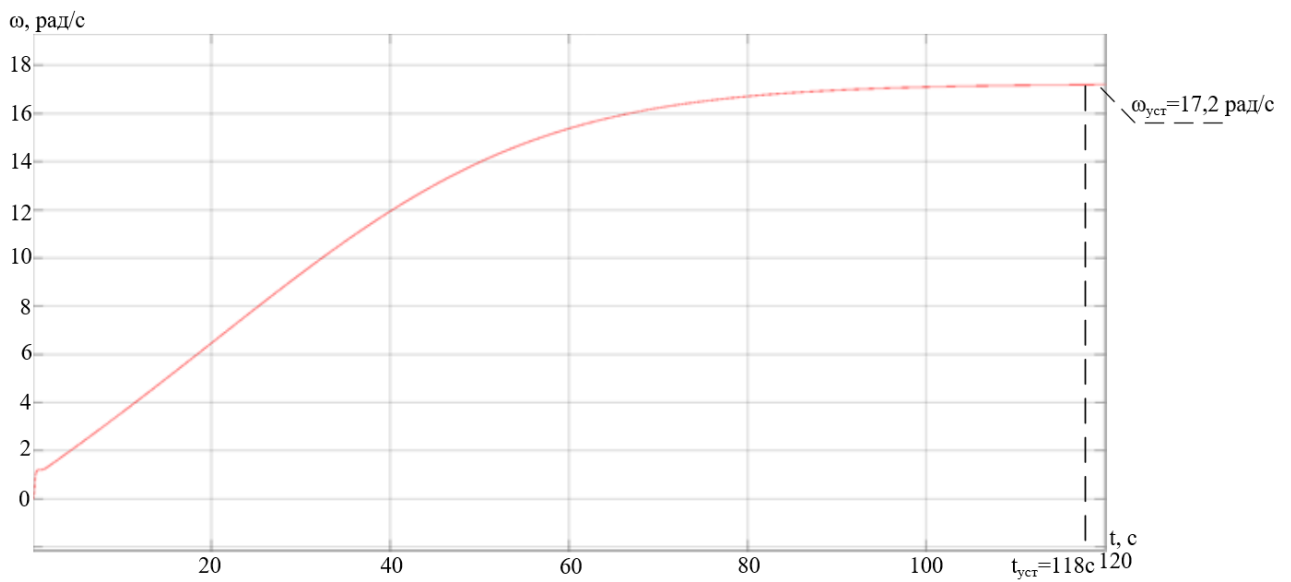


Рисунок 8.12 — Переходный процесс по скорости при частотном пуске

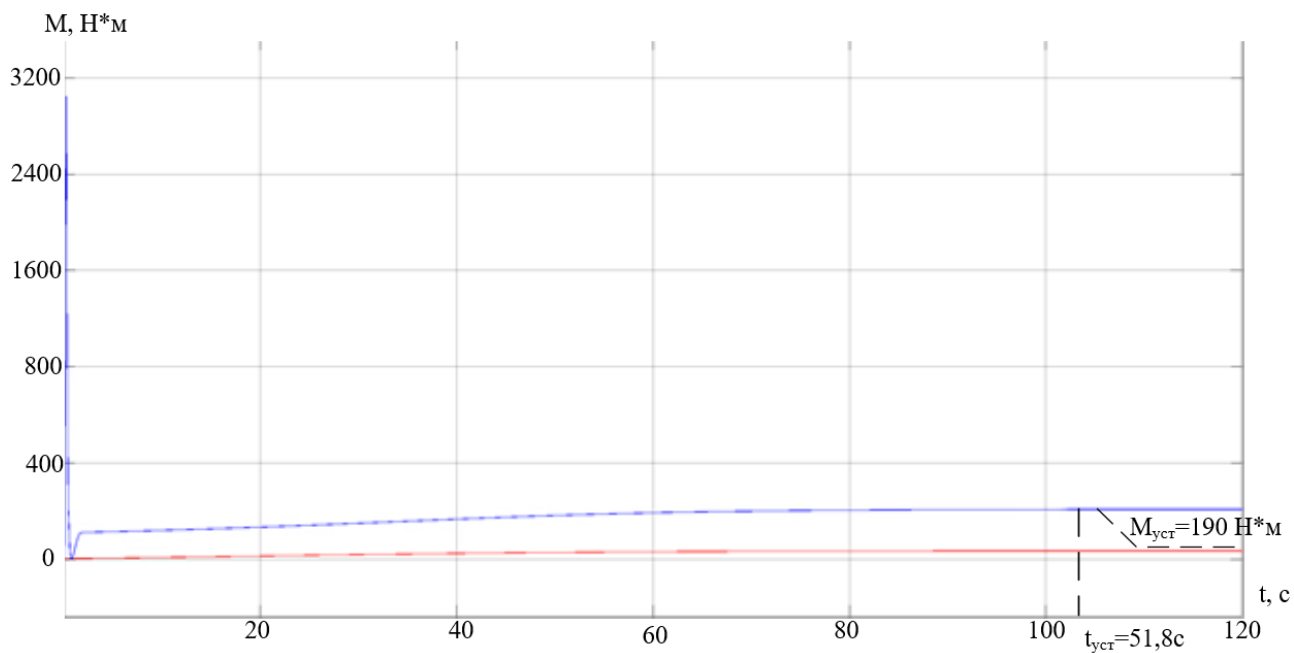


Рисунок 8.13 — Переходный процесс по моменту при частотном пуске

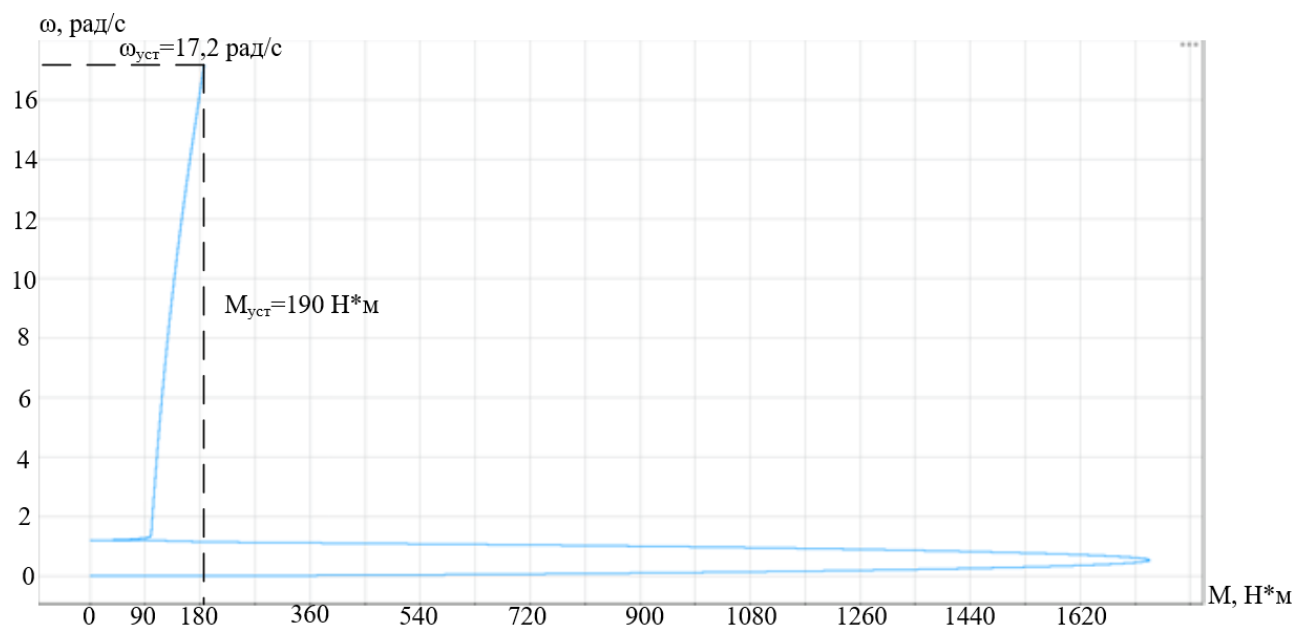


Рисунок 8.14 — Динамическая характеристика частотного пуска

Моделирование процесса при частоте 10 Гц

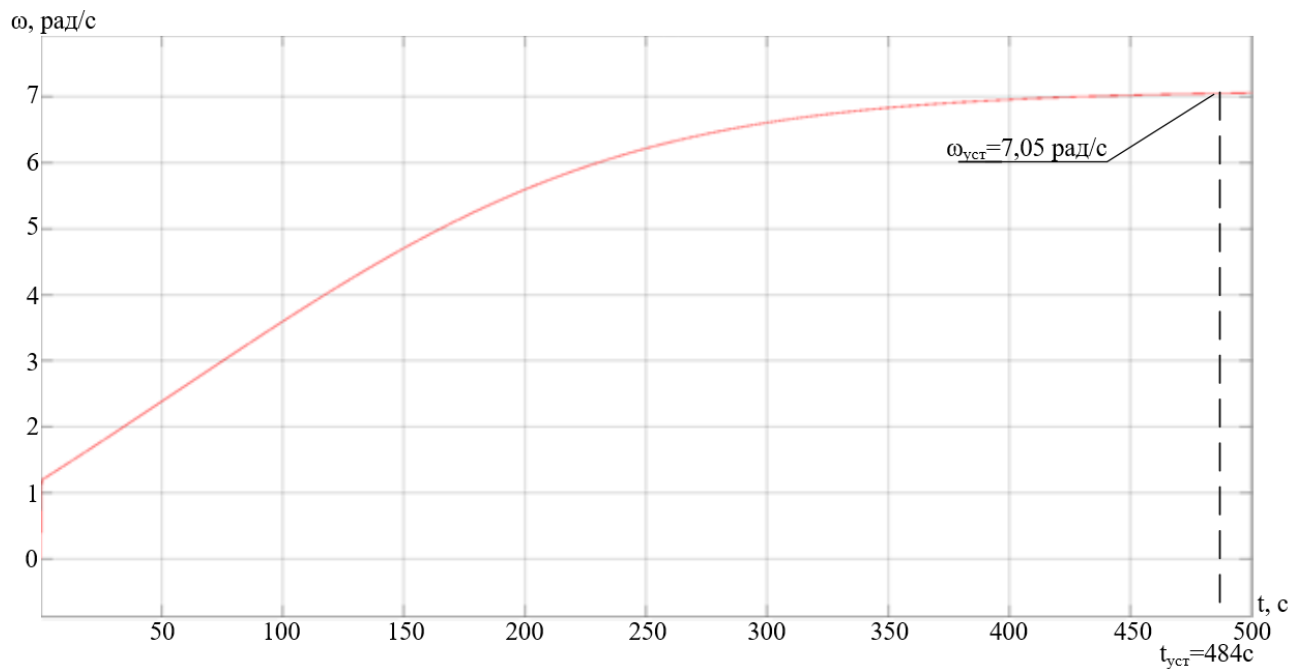


Рисунок 8.15 — Переходный процесс по скорости при частотном пуске

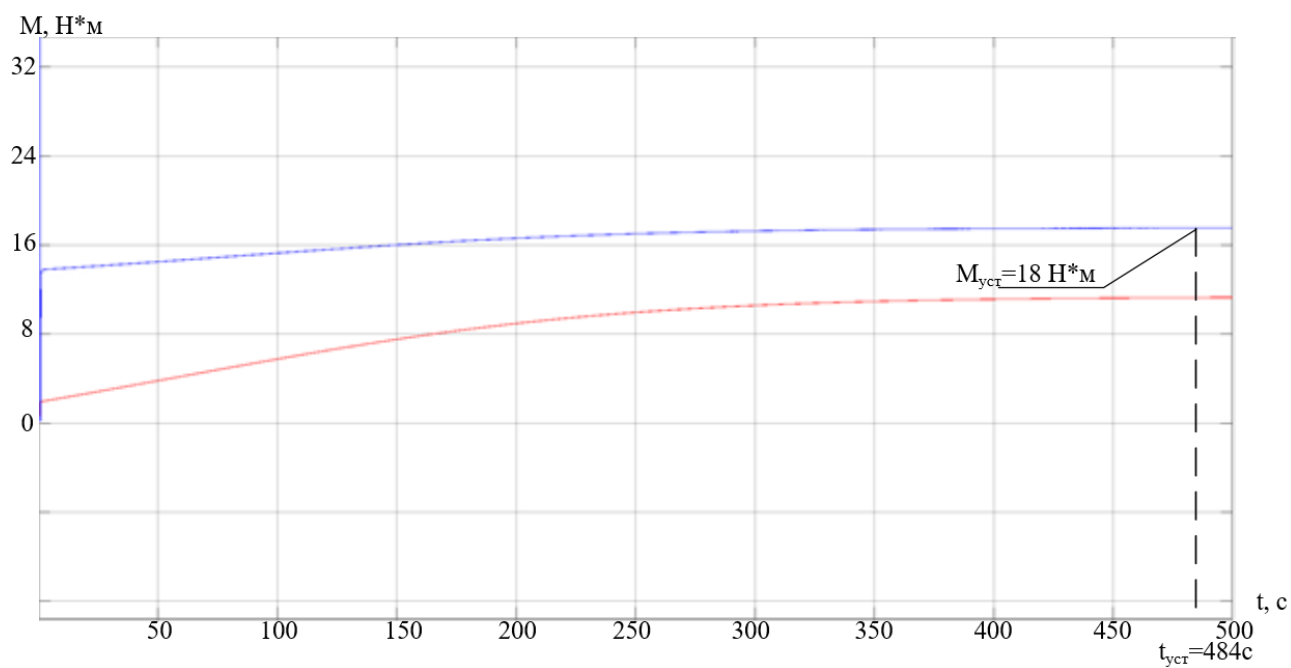


Рисунок 8.16 — Переходный процесс по моменту при частотном пуске

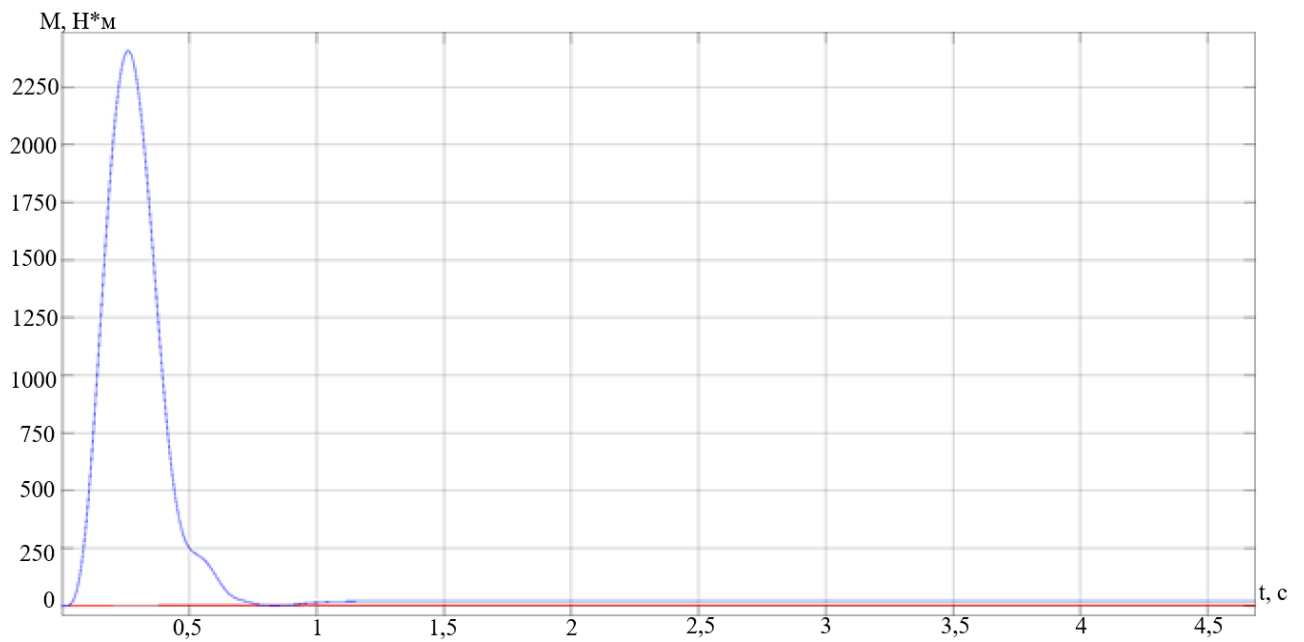


Рисунок 8.17 — Переходный процесс по моменту при частотном пуске в начальный момент времени

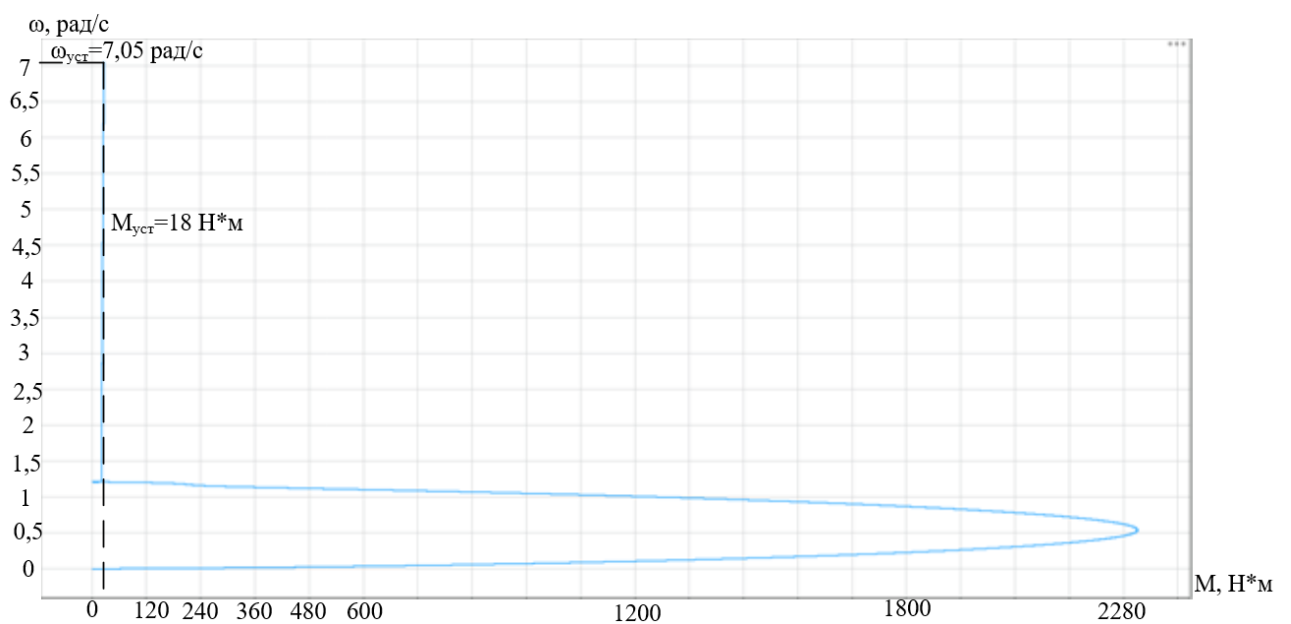


Рисунок 8.18 — Динамическая характеристика частотного пуска

Анализ полученных переходных процессов показал, что время переходного процесса при уменьшении частоты увеличивается. Так, при 50 Гц время переходного процесса составляет 12 с, при 40 Гц — 18,8 с, при 25 Гц — 51,8 с, при 17 Гц — 118 с, а при 10 Гц — 484 с. Момент нагрузки устанавливается в соответствии с рассчитанной ранее вентиляторной нагрузкой. При

частоте 50 Гц электропривод будет работать при частоте вращения 74,7 рад/с и моменте 8189 Н×м, при частоте 25 Гц — 57,5 рад/с и 512 Н×м.

Проведя анализ графиков переходных процессов, представленных на рисунках 8.3–8.18, можно сделать вывод, что разработанный электропривод земснаряда соответствует требованиям технического задания.

Погрешность поддержания скорости на нижней механической характеристике электропривода с положительной обратной связью по току в канале регулирования напряжения не превышает $\delta \leq 4\%$.

Перерегулирование по скорости практически отсутствует.

9 УПРАВЛЕНИЕ ОТ ПЛК

9.1 Выбор программируемого контроллера

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) — технические средства, используемые для автоматизации технологических процессов. Это электронное специализированное устройство, работающее в реальном масштабе времени.

ПЛК можно запрограммировать в цифровом виде и таким образом очень легко адаптировать к требованиям конкретного технологического процесса. В связи с растущими требованиями к современным машинам и производственным процессам решения с использованием ПЛК в области автоматизации стали неотъемлемой частью повседневного промышленного производства.

Основным режимом работы ПЛК выступает его длительное автономное использование, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, без серьезного обслуживания и без вмешательства человека. ПЛК обычно применяются для управления последовательными процессами, используя входы и выходы для определения состояния объекта и выдачи управляющих воздействий.

Контроллер совместим с разнообразными датчиками и исполнительными механизмами. В случае необходимости их можно подключить к компьютеру или создать сеть контроллеров. Модели промышленных контроллеров могут быть одно- и многоканальные с входами и выходами разного типа с индивидуальной логикой управления. Входы могут быть аналоговыми или дискретными, а выходы ключевыми или аналоговыми.

К достоинствам контроллеров можно отнести

- почти полное исключение влияния человеческого фактора на технологический процесс;
- уменьшение расходов сырья;
- улучшение качества исходного продукта;

- относительно низкую стоимость аппаратных средств (в зависимости от типа контроллера);
- возможность интегрирования устройства различных производителей в одну систему за счет использования открытых протоколов;
- минимальные затраты времени и средств на создание системы за счет простоты программирования и широкого спектра программного обеспечения;
- упрощение доступа к данным технологических процессов со стороны систем управления предприятием как следствие простой интеграции с системами управления более высокого уровня;
- любую логику управления в зависимости от требования заказчика.

В качестве управляющего модуля было принято решение выбрать управляемое реле производителя «Siemens» по двум причинам: во-первых, эта компания является одним из лидеров рынка оборудования для автоматизации; во-вторых, во время выполнения лабораторных работ по курсу АКТП имелся опыт работы с контроллерами данной компании. Промышленные контроллеры немецкого производителя используются в самых разных отраслях промышленности. Репутация этой компании объясняется их высоким качеством и надежностью. Программируемые контроллеры имеют ряд технологических преимуществ перед конкурентами:

- многофункциональность;
- возможность создания систем автоматизации различной сложности;
- возможность эксплуатации ПЛК в сложных условиях;
- практически полная автономность;
- простота в обслуживании.

Для проекта был выбран промышленный контроллер Siemens LOGO! 230RC 6ED1052-1FB00-0BA6 (рисунок 9.1).



Рисунок 9.1 — Логический модуль
Siemens LOGO! 230RC 6ED1052-1FB00-0BA6

Управляемые реле этого поколения являются компактными функционально законченными универсальными изделиями, предназначенными для построения простейших устройств автоматики с логической обработкой информации. Алгоритм функционирования модулей задается программой, составленной из набора встроенных функций. Программирование модулей LOGO!Basic может производиться как со встроенной клавиатуры, так и с помощью программного обеспечения. Стоимостные показатели модулей настолько низки, что их применение может оказаться экономически целесообразным даже в случае замены схем, включающих в свой состав 2 многофункциональных реле времени или 2 таймера и 3-4 промежуточных реле [18].

Характеристики:

- напряжение питания $\sim 115 \dots 240$ В;
- 8 дискретных входов;
- 4 дискретных выхода (нормально разомкнутые реле);
- память на 200 блоков;
- возможность расширения модулями ввода/вывода.

Со всеми продуктами Siemens идет программное обеспечение для про-

граммирования модулей LOGO!. На персональном компьютере поставляется программное обеспечение LOGO!Soft Comfort. Это программное обеспечение предоставляет широкие возможности, например:

- графический интерфейс для создания коммутационных программ в автономном режиме при помощи ступенчатой схемы (диаграммы контактов или принципиальной схемы) или функциональной блок-схемы (функциональной диаграммы);

- имитацию работы коммутационной программы на ПК;

- генерирование и печать обзорной диаграммы коммутационной программы;

- сохранение резервной копии коммутационной программы на жестком диске или на другом носителе;

- сравнение коммутационных программ;

- удобную настройку блоков.

Передача коммутационных программ в обоих направлениях:

- из модулей LOGO! в персональный компьютер;

- из персонального компьютера в модули LOGO!;

- чтение значений счетчика рабочего времени;

- установка времени суток;

- переход на летнее и зимнее время;

- тестирование в оперативном режиме, отображение изменений состояния и текущих значений модуля LOGO! в режиме RUN:

- 1) состояний цифровых входов и выходов, битов регистра сдвига и клавиш управления курсором;

- 2) значений всех аналоговых входов, выходов и флагов;

- 3) результатов работы всех блоков;

- 4) текущих значений (включая значения времени) выбранных блоков.

- Запуск и остановка выполнения коммутационных программ с персонального компьютера (RUN, STOP).

Воспользуемся программным обеспечением LOGO!Soft Comfort для

программирования управляющего модуля Siemens LOGO! 230RC 6ED1052-1FB00-0BA6 [16].

9.2 Описание работы программы контроллера

Первоначальная задача, которую надо выполнить, — это пуск и остановка электропривода земснаряда, соответственно, предусмотреть кнопки пуска и остановки.

Вход I1 назовем START, при поступлении на него логической единицы, сигнал поступает на блок B001 с задержкой отключения 12 секунд. Эта же логическая единица идет на RS триггер (блок B002) и запускает электропривод насоса Q1.

Отключение происходит с нажатием кнопки I2, названной STOP, и сигнал попадает на B005 (or/или), блок, работающий с сигналами от блока I2 STOP и от блоков датчиков, а дальше идет на RS триггер B004. С блока B004 сигнал идет на блок задержки времени отключения B003 (задержка 12 секунд). Данный блок позволяет отключить электродвигатель с временной задержкой, которую можно установить и регулировать по усмотрению. Сигнал с блока задержки поступает на RS триггер B002. Через 12 секунд отключается электропривод насоса Q1.

В этой же системе рассмотрим также 5 датчиков, которые помогают оценивать работу установки и которые будут извещать о неполадках в системе.

Первый датчик радарный и расположен на выходе трубы, которая всасывает насосом грунтовую пульпу. Он служит для того, чтобы знать, поступает ли грунтовая пульпа в пульпопровод, или он засорился. Если пульпопровод засорился, то датчик замыкается и подается сигнал на блок I3, затем сигнал поступает на блок B007 с задержкой 30 секунд. Интервал в 30 секунд нужен в случае перерыва между переходом разных уровней слоев в водоеме. Если пульпопровод всё же засорился, засор может сам рассосаться в течение этого времени. По истечении 30 секунд сигнал поступает на блоки B005 и

X1. На дисплее ошибок выводится сообщение для оператора «BLOCAGE», что сигнализирует о засоре. Параллельно сигнал поступает на блок В005, и дальше по предыдущей схеме осуществляется отключение приводов в заданной последовательности.

Второй датчик — это энкодер, но расположенный на грунтовом насосе, если вентилятор насоса останавливается, то блок I4 подает сигнал на блоки В006 и X2. Оператору приходит сообщение «CHIPPER STOP», что сигнализирует о остановке вентилятора грунтового насоса. Далее сигнал поступает на блок В006, затем В005 и дальше по предыдущей схеме осуществляется отключение приводов в заданной последовательности.

При срабатывании теплового реле, блок I5 подаёт сигнал на блоки В006 и X3. Оператору приходит сообщение «TERMAL RELAY», что сигнализирует о срабатывании теплового реле. Далее сигнал поступает на блок В006, затем В005, и дальше по предыдущей схеме осуществляется отключение приводов в заданной последовательности.

Блоки В009, В011, В013 являются обычными инверсными блоками и предназначены для подачи логической единицы. Чтобы быстро обнаружить неисправности датчиков и линии передачи, в качестве сигнала с датчиков используется логическая единица. Поэтому необходимо инвертировать его в логический 0, чтобы не срабатывал триггер отключения привода и табло неисправностей.

Схема рабочей программы представлена на рисунке приложения Б.

10 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В процессе трудовой деятельности человек подвергается воздействию производственных факторов, которые способны влиять на его здоровье. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда. Реальные условия труда характеризуются различными вредными и опасными факторами. При этом между опасными и вредными факторами не существует чёткой границы, каждый фактор может рано или поздно привести к потере здоровья.

Объектом изучения в ВКР является электропривод насоса перекачки грунтовой пульпы земснаряда. Данный насос применяется в гидротехнической сфере для подводной разработки грунтов, углубления и очистки дна малых водоемов и рек, транспортировки грунтов вместе с водой (пульпы) по трубопроводам к месту укладки. В ходе выполнения настоящей работы необходимо разработать и провести имитационное моделирование привода насоса с меньшим потреблением и износом, способным выдерживать большие перегрузки.

Работа данной системы производится на открытом пространстве: полевые условия, малые реки, водоемы, в то время как управление пульпопроводом происходит из операторского помещения площадью 5x10 м, поэтому целесообразно рассмотреть требования к работе оператора и при работе с машинами строительными, землеройными.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Целями трудового законодательства являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей.

Согласно статье 212 ТК РФ работодатель должен обеспечить безопасные условия и охрану труда. Для работников, чьи условия труда на рабочих местах по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вред-

ным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда, устанавливается сокращенная продолжительность рабочего времени — не более 36 часов в неделю [19].

На работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами, которые устанавливаются в порядке, определяемом ТК РФ [19].

Санитарно-бытовое обслуживание и медицинское обеспечение работников в соответствии с требованиями охраны труда возлагается на работодателя. В этих целях работодателем по установленным нормам оборудуются санитарно-бытовые помещения, помещения для приема пищи, помещения для оказания медицинской помощи, комнаты для отдыха в рабочее время и психологической разгрузки; организуются посты для оказания первой помощи, укомплектованные аптечками для оказания первой помощи; устанавливаются аппараты (устройства) для обеспечения работников горячих цехов и участков газированной соленой водой и другое [19].

Помимо этого, льготы и компенсации за вредные условия труда ТК РФ позволяет расширить в коллективном договоре и других актах предприятия.

Продолжительность рабочего времени для работников тяжелых производств сокращается на четыре часа в неделю [35, ст.92, 94].

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда. [35, ст.147].

Рабочие места проектируются с учетом усредненных размеров человеческого организма, так как если размещение органов управления не соответствует возможностям оператора, то выполняемая работа будет тяжелой и утомительной [27].

Рабочее место оператора должно быть удобным [28]. Рабочее место человека-оператора характеризуется рабочей средой. Комфортной рабочей средой рабочего места называется такое состояние внешней среды на рабочем месте, которое обеспечивает оптимальную динамику работоспособности оператора, хорошее самочувствие и сохранение его здоровья.

Оптимальные параметры рабочего места установлены в таблице 10.1 [36].

Таблица 10.1 — Оптимальные параметры рабочего места

| Параметры | Значения параметров | Реальные значения |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| Высота сидения | 400–500 мм | 450 мм |
| Высота клавиатуры | 600–750 мм | 700 мм |
| Удаленность клавиатуры | ≥ 80 мм | 80 мм |
| Высота от стола до клавиатуры | 20 мм | 20 мм |
| Удаленность экрана | 500–700 мм | 600 мм |
| Высота рабочей поверхности | ≥ 600 мм | 680 мм |
| Угол наклона экрана | 0–30° | 15° |
| Угол наклона клавиатуры | 7–15° | 15° |

Исходя из требований достижения оптимальных условий труда, в положении сидя рабочее место должно иметь следующие параметры:

- ширина не менее 700 мм;
- длина не менее 1400 мм;
- высота рабочей поверхности над полом 680 мм;
- высота сидения 430 мм.

Главным органом управления компьютером является клавиатура, с помощью которой в компьютер вводятся тексты программ и команды. Поэтому большое значение имеет размещение клавиатуры на рабочем столе, насколько

ко удобны клавиши и как они расположены на панели клавиатуры. Нормальным ее расположением является расположение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15° . Для удобства клавиатура не связана жестко с монитором.

Немаловажное значение для условий работы имеет размещение органов отображения информации, то есть экрана дисплея. Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500–700 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30° . Конструкция дисплея позволяет выбрать угол наклона экрана. Оптимальный угол наклона к вертикали равен $15\text{--}20^\circ$. Кроме того, есть возможность выбрать свой уровень контрастности и яркости изображения на экране. Все это позволяет создать оптимальные условия для работы.

10.2 Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных факторов на рабочем месте

В процессе работы человек вступает во взаимодействие с предметами труда, орудиями труда, другими людьми. Также на него воздействуют параметры окружающей среды рабочей обстановки. От условий труда зависит отношение человека к труду и, естественно, результат труда. При плохих условиях труда резко снижается работоспособность, соответственно, повышается процент профессиональных заболеваний и травм. Под условиями труда подразумевается совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и производительность труда человека в процессе труда (таблица 10.2).

Таблица 10.2 — Возможные опасные и вредные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Нормативные документы |
|--|---|
| 1. Повышенный уровень шума | СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания ГОСТ 12.1.003 – 2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности |
| 2. Отклонение параметров микроклимата | |
| 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны | ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений |
| 4. Электромагнитные поля на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ | Правила устройства электроустановки (ПУЭ) |
| 5. Опасность электропоражения | |

Превышение уровня шума

В результате исследований установлено, что повышенные шумы ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно, оно затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает изменения в органах слуха человека, ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Допустимые эквивалентные и максимальные уровни звука на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях, на площадках промышленных предприятий, в помещениях жилых и общественных зданий и на территориях жилой застройки для проникающего шума следует принимать по таблице 10.3 [20].

Таблица 10.3 — Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука

| Назначение помещений или территорий | Уровни звукового давления(эквивалентные уровни звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровень звука L_A (эквивалентный уровень звука $L_{Aэкв}$), дБА |
|--|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами | 102 | 90 | 82 | 77 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 | 75 |

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение также может являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Основные требования, которые предъявляются к освещению, заключаются в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека. Кроме того, оно должно удовлетворять вопросам экономичности, надежности и безопасности [31].

В помещении старшего смены земснаряда используется комбинированное освещение — искусственное и естественное. Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности.

Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий.

Размеры помещения составляют:

высота — $H = 3$ м; длина — $A = 10$ м; ширина — $B = 5$ м.

Объем комнаты: $V_{\text{комн}} = A \cdot B \cdot H = 3 \cdot 10 \cdot 5 = 150$ м³.

Принимаем для искусственного освещения люминесцентные лампы ШОД-2-80 мощностью по 80 Вт.

Величина светового потока лампы:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta},$$

где F — световой поток каждой из ламп, лм. Для люминесцентных ламп 220 В и 80 Вт — $F = 3800$ лм;

E — минимальная освещенность, лк. Для зрительной работы разряда 3а при общем освещении $E = 400$ лк;

k — коэффициент запаса, для помещений с малым выделением пыли при использовании ламп накаливания $k = 1,3$;

S — площадь помещения $S = 10 \cdot 5 = 50$ м²;

n — число ламп в помещении;

η — коэффициент использования светового потока (в долях единицы);

Z — коэффициент неравномерности освещения.

Коэффициент использования светового потока — это отношение полезного светового потока, достигающего освещаемой поверхности, к полному световому потоку в помещении. Для определения коэффициента исполь-

зования необходимо знать индекс помещения i , значения коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n и тип светильника.

Коэффициент отражения стен $\rho_c = 50 \%$ для свежепобеленных стен с окнами без штор [32].

Коэффициент отражения стен $\rho_n = 70 \%$ для побеленного потолка.

Индекс помещения

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{50}{2 \cdot (10 + 5)} = 1,66,$$

где S — площадь помещения, м^2 ;

h — высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м . Для шара молочного стекла при лампе в прозрачной колбе $h = 2 \text{ м}$ для ламп до 200 Вт включительно;

A, B — стороны помещения: $A = 10 \text{ м}$, $B = 5 \text{ м}$.

Коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами ШОД-2-80 равен 41% [32].

Коэффициент неравномерности освещения Z введен в формулу светового потока лампы потому, что освещенность, посчитанная без этого коэффициента, является не минимальной, как требуют нормы, а средней. Введением коэффициента Z это устраняется. Z зависит от отношения L/h , где L — расстояние между светильниками, h — высота подвеса светильников над рабочей поверхностью. Наиболее выгодное расположение светильников ЛОД $\lambda = 1,4$.

Тогда $Z = 1,2$.

Количество ламп для требуемого общего искусственного освещения

$$n = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{F \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 1,3 \cdot 50 \cdot 1,2}{4300 \cdot 0,41} \approx 18 \text{ (шт.)}.$$

Так как светильники двухламповые, их нужно в два раза меньше, чем ламп, поэтому считаем, что нам нужно 9 светильников.

Размещение светильников показано на рисунке 10.1.

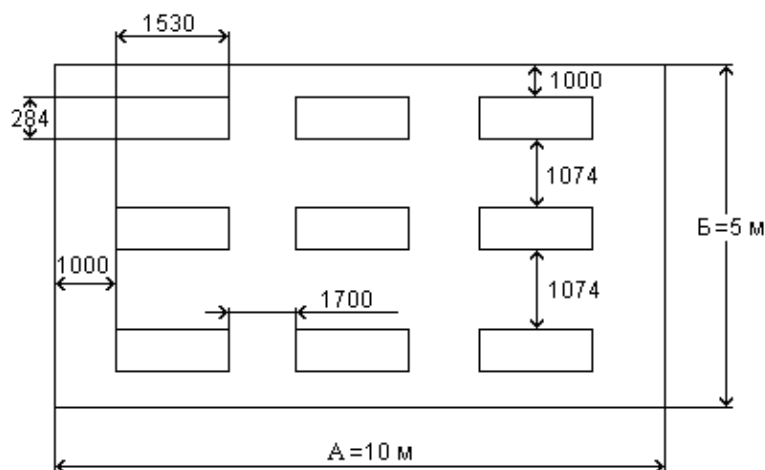


Рисунок 10.1 — План освещения рабочего помещения

Микроклимат

Под микроклиматом производственных помещений понимается состояние внутренней среды помещения, которая оказывает воздействие на человека. Микроклимат определяется воздействием на человека температуры воздуха и окружающих поверхностей, насыщенность воздуха механическими частицами (пылью), освещенностью, уровнем шума, биологическими и химическими загрязнениями воздуха.

Работа при пониженных температурах провоцирует сердечно-сосудистые, простудные заболевания, оказывает пагубное влияние на позвоночник и суставы. Повышенные температуры ухудшают работоспособность, могут вызывать головные боли, слабость, интенсивное потоотделение, повышение артериального давления, тепловые удары. Влажность воздуха оказывает влияние на терморегуляцию организма.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих места производственных помещений представлены в таблице 10.4 [29]. Работа в производственном цеху относится к средней тяжести — Па.

Таблица 10.4 — Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный | Ia | 22–24 | 21–25 | 40–60 | 0,1 |
| Теплый | Ia | 23–25 | 22–26 | 40–60 | 0,1 |

Для достижения оптимальных параметров микроклимата в производственных помещениях используются системы кондиционирования воздуха, для допустимых параметров — обычные системы вентиляции и отопления.

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы [29], по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10 мг/м^3 .

Одновременно в рабочем помещении находятся в среднем 2 человека, следовательно, вентиляция в помещении искусственная. Для поддержания в рабочем помещении в холодное время года температуры воздуха (21–23) °С используется система водяного отопления.

Электромагнитные поля на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Нарушения в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер.

При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах пользователей, а также в помещениях образовательных, дошкольных и культурно-развлекательных учреждений, представлены в таблице 10.5 [34].

Таблица 10.5 — Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

| Наименование параметров | | ВДУ |
|--|----------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля | В диапазоне частот 5 Гц–2 кГц | 25 В/м |
| | В диапазоне частот 2 кГц–400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока | В диапазоне частот 5 Гц–2 кГц | 250 нТл |
| | В диапазоне частот 2 кГц–400 кГц | 25 нТл |
| Напряженность электростатического поля | | 15 кВ/м |

По существующим представлениям, статическое электричество возникает в результате сложных процессов. При включенном питании компьютера на экране дисплея накапливается статическое электричество. В этом можно убедиться, если провести рукой по экрану. Будет слышно легкое потрескивание и ощущение легкого покалывания в ладони. Электрический ток искрового разряда статического электричества мал и не может вызвать поражение человека, но этот разряд может вызвать у человека испуг.

Для снижения величин возникающих зарядов целесообразно применение полов из антистатического материала.

Электробезопасность

К опасным факторам можно отнести питание источника бесперебойного питания однофазным электрическим током напряжением 220 В и частотой 50 Гц, наличие высокого напряжения до 500 В постоянного тока.

Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения электрическим током практически отсутствует, однако существуют аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое со-

единение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями [34].

Поражение человека током может произойти в следующих случаях:

- при возникновении короткого замыкания в электроприборе;
- при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование токоведущих частей, исключаящее возможное соприкосновение с ними;
- установки защитного заземления и зануления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- малое напряжение;
- соблюдение техники безопасности ГОСТ 12.0.004–2015;
- соблюдение мер безопасности в ходе выполнения задач;
- регулярный контроль за состоянием оборудования, организация необходимого планового ремонта, технического обслуживания и инструктажи сотрудников на местах.

10.3 Экологическая безопасность при эксплуатации

Проблема защиты окружающей среды — одна из важнейших задач современности.

Защита окружающей среды — это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологиче-

ских, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений [25].

При гидромеханизированных работах в зависимости от поставленных задач и технологий выполнения, применяемого оборудования, места и времени проведения работ воздействие на окружающую среду может быть как положительным, так и отрицательным.

Положительное влияние на окружающую среду создается при образовании новых территорий на пойменных и заболоченных участках, при замыве и освоении непригодных земель. При выполнении очистных работ на водных объектах удаление донных отложений с помощью земснарядов приводит к восстановлению водоемов, увеличению резерва чистой воды.

К отрицательно влияющим факторам при выполнении гидромеханизированных работ можно отнести следующие [26]:

- при разработке грунта земснарядом увеличивается мутность воды в водоеме;
- на работающем земснаряде имеются источники загрязнения водоема смазочными материалами;
- избыток взвешенных веществ в воде может вызывать физиологические изменения у живых обитателей водной среды.

Одна из самых серьезных проблем — потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличился и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как: изменение климата — накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект); загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами; загрязнение водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Из этого следует, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При работе в полевых условиях могут возникнуть различные чрезвычайные ситуации: пожар, ураган, шторм, туман.

Пожар — наиболее вероятная ЧС, которая может возникнуть. Операторское помещение по техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, согласно [19] по степени огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности относится к классу Ф4.1. Так как в помещении находятся и используются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, то по пожарной опасности данное помещение можно отнести к классу Д. Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования, брошенные непотушенные спички и сигареты, нарушение правил хранения легко воспламеняющихся жидкостей и ГСМ.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 [22], пожарная профилактика обеспечивается:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;

К мерам предотвращения пожара относятся:

- применение средств защитного отключения возможных источников загорания;
- применение искробезопасного оборудования;
- выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

При обнаружении возгорания обнаружившему следует немедленно сообщить об этом в пожарную охрану и руководителю, после чего приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Ликвидация пожара осуществляется первичными средствами пожаротушения с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается первая медицинская помощь, также необходимо вызывать скорую медицинскую помощь.

Выводы по разделу

В разделе «Социальная ответственность» описано рабочее место источника бесперебойного питания и связанные с ним опасные и вредные факторы производства. Были найдены источники и меры предотвращения данных факторов. Установлено, что рабочее место соответствует всем нормативам.

Анализ вредных и опасных факторов и мер по уменьшению их влияния на работников позволит создать более безопасную обстановку. Кроме того, был произведен расчет системы искусственного освещения для обеспечения необходимого уровня освещения, согласно которому были выбраны люминесцентные лампы ШОД-2-80 мощностью по 80 Вт в количестве 9 штук.

Выявление и применение мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций, а также планирования мер по их ликвидации с минимальными последствиями позволяет свести к минимуму риски возникновения чрезвычайных ситуаций, количество жертв и ущерб, нанесённый предприятию. Согласно выявленным факторам выбранное помещение относится к категории «безопасных» помещений [37]. Персонал, работающий в данном помещении, должен иметь группу по электробезопасности не ниже III [34]. В соответствии с [35] категория тяжести труда определяется как вторая. В соответствии с [36] рассматриваемое помещение по критерию взрывопожарной и пожарной опасности можно отнести к категории Д.

11 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов [38].

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

11.1 Предпроектный анализ

11.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Электропривод для перекачки пульпы требуется во многих сферах промышленности: лакокрас-

сочное производство, строительство, фармацевтика, пищевая промышленность, нефтедобыча и нефтепереработка.

Карта сегментирования рынка показана в таблице 11.1.

Таблица 11.1 — Карта сегментирования по отрасли применения и типам используемых двигателей

| | | Сферы применения | | |
|-----------------|--|------------------|----------------|------------------------------|
| | | Металлургическая | Угледобывающая | Пищевая/ перерабатывающая |
| Типы двигателей | Асинхронные двигатели с фазным ротором | | | |
| | Синхронные двигатели с КЗ ротором | | | |

Основными недостатками системы электропривода с асинхронными электродвигателями с фазным ротором (АДФР) являются необеспечение требуемых динамических и статических показателей, повышенное энергопотребление. В настоящее время существует тенденция применения электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), которые обладают простой и надежной конструкцией.

В связи с появлением современной преобразовательной техники становится актуальным построение системы электропривода переменного тока с АДКЗ вкуче с преобразователем частоты.

11.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 11.2.

Таблица 11.2 — Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|--|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | Б _ф | Б _{к1} | Б _{к2} | К _ф | К _{к1} | К _{к2} |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| повышение производительности труда пользователя | 0,05 | 1 | 1 | 1 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,1 | 4 | 4 | 4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| уровень шума | 0,1 | 4 | 3 | 2 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| надежность | 0,075 | 4 | 3 | 3 | 0,3 | 0,225 | 0,225 |
| безопасность | 0,05 | 4 | 4 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| энергоэкономичность | 0,1 | 4 | 1 | 2 | 0,4 | 0,1 | 0,2 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| Конкурентоспособность продукта | 0,1 | 4 | 2 | 2 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| уровень проникновения на рынок | 0,05 | 4 | 2 | 2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| цена | 0,1 | 4 | 3 | 2 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| предполагаемый срок эксплуатации | 0,1 | 3 | 3 | 3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| послепродажное обслуживание | 0,075 | 4 | 3 | 4 | 0,3 | 0,225 | 0,3 |
| финансирование научной разработки | 0,05 | 2 | 1 | 1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 |
| наличие сертификации разработки | 0,05 | 2 | 2 | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| Итого | 1 | 44 | 32 | 31 | 3,55 | 2,55 | 2,475 |

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 — наиболее слабая позиция, а 5 — наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i ,$$

где K — конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i — вес показателя (в долях единицы);

Б_i — балл i -го показателя.

Итог анализа:

Данный асинхронный электропривод является энергоэффективным, а также среди конкурентов он имеет наиболее привлекательную цену.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен и может заинтересовать инвесторов, т.к. экономия энергии и ресурсов является одной из главных задач современности.

11.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Он представляет собой комплексное исследование технического проекта. *SWOT*-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проекту по разработке грунтовой пульпы земснаряда *SWOT*-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения *SWOT*-анализа составляется матрица *SWOT*, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, возможности и угрозы.

При составлении матрицы *SWOT* удобно использовать следующие обозначения:

С — сильные стороны проекта;

Сл — слабые стороны проекта;

В — возможности;

У — угрозы.

Матрица *SWOT* приведена в таблице 11.3. На основании матрицы *SWOT* строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

Таблица 11.3 — Матрица SWOT

| | |
|--|---|
| Сильные стороны проекта: С1. Замена физически и морально устаревшего оборудования С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации | Слабые стороны проекта: Сл1. Высокие затраты электрической энергии Сл2. Требуется узкая специальность по данному электрооборудованию |
|--|---|

| | |
|--|--|
| С3. Простота эксплуатации С4. Повышенная безопасность производства | Сл3. Повышенный шум Сл4. Большие затраты на ремонт преобразователя частоты |
| Возможности: В1. Снижение нагрузки на собственные нужды В2. Повышение износостойкости деталей электроприводов В3. Замена оборудования на более новое В4. Перекрестное взаимное резервирование электроприводов | Угрозы: У1. Ошибочные действия персонала У2. Сокращение бюджета со стороны государства У3. Негативные изменения в отношениях с поставщиком У4. Отключение питания на электродвигатель |

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» — сильное соответствие; «-» — слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц (таблица 11.4), показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Самой сильной стороной проекта является повышенная безопасность производства и надежность системы защиты, так как при сбое в работе электропривода без необходимых мер защиты, может повлечь за собой нарушение сложного технологического процесса, а также поломку электропривода. Кроме того, снижение нагрузки на собственные нужды и дополнительное резервное питание показывает перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 11.4 — Интерактивная матрица проекта

| | Сильные стороны проекта | | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | С1 | С2 | С3 | С4 |
| Возможности | В1 | + | + | - | + |
| | В2 | + | + | + | + |
| | В3 | + | + | - | + |
| | В4 | + | + | + | + |
| | Слабые стороны проекта | | | | |
| | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| | В1 | + | - | - | + |
| | В2 | + | - | + | + |
| | В3 | + | - | + | + |
| | В4 | - | - | - | - |
| Угрозы | Сильные стороны проекта | | | | |
| | | С1 | С2 | С3 | С4 |
| | У1 | + | - | - | + |
| | У2 | - | - | + | - |
| | У3 | + | - | - | + |

| | | | | | |
|--|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | У4 | – | + | – | + |
| | Слабые стороны проекта | | | | |
| | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| | У1 | + | + | – | + |
| | У2 | + | – | + | + |
| | У3 | – | – | – | – |
| | У4 | – | – | – | – |

Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в таблице 11.5.

Таблица 11.5 — SWOT-анализ

| | | |
|--|--|---|
| | <p>Сильные стороны проекта: С1. Замена физически и морально устаревшего оборудования С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации С3. Простота эксплуатации С4. Повышенная безопасность производства</p> | <p>Слабые стороны проекта: Сл1. Высокие затраты электрической энергии Сл2. Требуется узкая специальность по данному электрооборудованию Сл3. Повышенный шум Сл4. Большие затраты на ремонт преобразователя частоты</p> |
| <p>Возможности: В1. Снижение нагрузки на собственные нужды В2. Повышение износоустойчивости деталей электроприводов В3. Замена оборудования на более новое В4. Перекрестное взаимное резервирование электроприводов</p> | <p>Взаимное резервирование увеличивает вероятность роста спроса.</p> | <p>Отсутствие квалификационных кадров и потенциальных потребителей может усложнить процесс эксплуатации.</p> |
| <p>Угрозы: У1. Ошибочные действия персонала У2. Сокращение бюджета со стороны государства У3. Негативные изменения в отношениях с поставщиком У4. Отключение питания на электродвигатель</p> | <p>Повышение надежности и простоты эксплуатации упрощает использование.</p> | <p>Рост затрат на обслуживание.</p> |

11.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка, полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для

этого заполнена специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенций разработчика научного проекта (таблица 11.6).

При проведении анализа таблицы 11.5 по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла — слабую проработанность, 3 балла — выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла — выполнено качественно, 5 баллов — имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 — в объеме теоретических знаний, 3 — знаю теорию и практические примеры применения, 4 — знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 — знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 11.6 — Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

| № п/п | Наименование | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|-------|--|--|---|
| 1 | Определен имеющийся научно-технический задел | 4 | 4 |
| 2 | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 4 | 4 |
| 3 | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке | 3 | 3 |
| 4 | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок | 3 | 3 |
| 5 | Определены авторы и осуществлена охрана их прав | 2 | 2 |
| 6 | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности | 2 | 3 |
| 7 | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта | 1 | 2 |
| 8 | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 3 | 3 |
| 9 | Определены пути продвижения научной разработки на рынок | 3 | 3 |
| 10 | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки | 2 | 3 |
| 11 | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 1 | 2 |

| | | | |
|----|---|-----------|-----------|
| 12 | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 1 | 1 |
| 13 | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 1 | 1 |
| 14 | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 1 | 1 |
| 15 | Проработан механизм реализации научного проекта | 4 | 4 |
| | ИТОГО БАЛЛОВ: | 35 | 39 |

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где $B_{\text{сум}}$ — суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_{\text{сум}}$ — балл по i -му показателю.

Перспективность средняя, следовательно, необходимо увеличивать объемы инвестирования и улучшать направления проведения оценки интеллектуальной стоимости, повышать уровень компетенций, недостающих разработчику в данном вопросе, и предусматривать возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

11.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец преследует вполне определенную цель, куда он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной (именуемой консультантом) другой стороне (именуемой заказчиком) комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершен-

шенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

Данный вид применим, т.к. источник бесперебойного питания создается по техническому заданию для конкретного потребителя.

11.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В таблице 11.7 представлена иерархия целей проекта и критерии их достижения.

Таблица 11.7 — Цели и результат проекта

| | |
|--------------------------------------|--|
| Цели проекта: | Разработка электропривода насоса перекачки грунтовой пульпы |
| Ожидаемые результаты проекта: | Разработана схема электропривода насоса, позволяющая снизить критические моменты пуска АД. |
| Критерии приемки результата проекта: | Сниженные электрические нагрузки на электродвигатель |
| Требования к проекту | Разработана система электропривода, выбрано электрооборудование согласно ТЗ |
| | Проведено имитационное моделирование привода для прямого пуска и системы ПЧ-АД в среде Matlab Simulink |
| | Получены графики переходных процессов работы системы имитационной модели со скалярной компенсацией в среде Matlab Simulink |

В таблице 11.8 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 11.8 — Рабочая группа проекта

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции | Трудозатраты, час. |
|--------|---------------------------------------|------------------------|--|--------------------|
| 1 | Чернышев И. А., НИ ТПУ, доцент ИШЭ | Руководитель проекта | Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения | 21 |
| 2 | Кибалов В.А., магистрант ИШЭ | Исполнитель по проекту | Анализ литературных источников, проведение расчета, моделирование, анализ полученных результатов, написание работы | 74 |
| ИТОГО: | | | | 95 |

Ограничения проекта — это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «гра-

ницы проекта» — параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта (таблица 11.9).

Таблица 11.9 — Ограничения проекта

| Фактор | Ограничения / допущения |
|--|-------------------------|
| Бюджет проекта | 1 435 416 руб. |
| Источник финансирования | НИ ТПУ |
| Сроки проекта | 01.09.2021–31.05.2022 |
| Дата утверждения плана управления проектом | 15.03.2022 |
| Дата завершения проекта | 13.06.2022 |

11.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

11.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 11.1 представлена иерархическая структура работ.



Рисунок 11.1 — Иерархическая структура работ

11.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта (таблицы 11.10 и 11.11).

Таблица 11.10 — Календарный план проекта

| Название | Длительность, дни | Дата начала работ | Дата окончания работ | Состав участников |
|--|-------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Составление и утверждение технического задания | 1 | 20.03.22 | 21.03.22 | научный руководитель |
| Подбор и изучение материалов по теме | 5 | 22.03.22 | 27.03.22 | Исполнитель |
| Описание объекта модернизации | 7 | 28.03.22 | 03.04.22 | Исполнитель |
| Разработка структурной схемы ЭП | 3 | 04.04.22 | 07.04.22 | Исполнитель |
| Кинематическая схема механизма | 2 | 09.04.22 | 11.04.22 | Исполнитель |
| Расчет мощности и выбор электродвигателя | 4 | 12.04.22 | 16.04.22 | Исполнитель совместно с руководителем |
| Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления (ПЧ, контроллер, датчики) | 10 | 17.04.22 | 27.04.22 | Исполнитель совместно с руководителем |
| Создание скалярных систем управления. Компенсация потерь | 6 | 28.04.22 | 02.05.22 | Исполнитель |

| | | | | |
|--|----|----------|----------|---------------------------------------|
| Разработка математической модели системы АУ ЭП | 8 | 03.05.22 | 11.05.22 | Исполнитель |
| Разработка программы имитационного моделирования | 8 | 12.05.22 | 20.05.22 | Исполнитель |
| Разработка экономического раздела и раздела социальной ответственности | 5 | 21.05.22 | 26.05.22 | Исполнитель |
| Оформление пояснительной записки | 6 | 27.05.22 | 02.06.22 | Исполнитель |
| Сдача проекта | 10 | 03.06.22 | 13.06.22 | Исполнитель совместно с руководителем |
| Итого: | | | 75 | |

Таблица 11.11 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

| # | Вид работы | Исполнители | Тк | Продолжительность выполнения работ по декадам | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------------------------|----|---|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|---|--|--|
| | | | | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | | | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Научный руководитель | 1 | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Исполнитель | 5 | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 3 | Описание объекта модернизации | Исполнитель | 7 | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 4 | Разработка структурной схемы ЭП | Исполнитель | 3 | | | | ■ | | | | | | | | | | |
| 5 | Кинематическая схема механизма | Исполнитель | 2 | | | | | ■ | | | | | | | | | |
| 6 | Расчет мощности и выбор электродвигателя | Исполнитель совместно с руководителем | 4 | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 7 | Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления (ПЧ, контроллер, датчики) | Исполнитель совместно с руководителем | 10 | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 8 | Создание скалярных систем управления. Компенсация потерь | Исполнитель | 6 | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|---------------------------------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 9 | Разработка математической модели системы АУ ЭП | Исполнитель | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Разработка программы имитационного моделирования | Исполнитель | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Разработка экономического раздела и раздела социальной ответственности | Исполнитель | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Оформление пояснительной записки | Исполнитель | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Сдача проекта | Исполнитель совместно с руководителем | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



— исполнитель



— руководитель

Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного проекта потребуется 75 рабочих дней.

11.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- специальное оборудование;
- материальные затраты;
- заработную плату исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

В настоящую смету включаются основная и дополнительная заработные платы научных и инженерно-технических работников, отчисления во внебюджетные фонды, материальные и накладные расходы.

Материальные затраты представлены в таблице 11.12.

Таблица 11.12 — Расчет затрат по статье «Материальные расходы»

| № п/п | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | Цена единицы оборудования, руб. | Общая стоимость оборудования, руб. |
|---------------------|---|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Асинхронный электродвигатель А4-450У-8МУЗ (630 кВт) | 1 | 1 265 250 | 1 265 250 |
| 2 | Преобразователь частоты <i>Leading Solution</i> | 1 | 225 000 | 225 000 |
| 3 | Насос тип ГруТ 2000/63 | 1 | 22 600 | 22 600 |
| 4 | Модуль <i>PROFibus</i> | 1 | 27 300 | 27 300 |
| 5 | Логический контролер Siemens LOGO! 230RC 6ED1052-1FB00-0BA6 | 1 | 9 940 | 9 940 |
| 6 | Комплектующие(болты, винты, гайки и т.д.) | | | 5 000 |
| Итого, руб.: | | | | 1 555 090 |

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования и программного обеспечения, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 11.13).

Таблица 11.13 — Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

| № п/п | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | Цена единицы оборудования, руб. | Общая стоимость оборудования, руб. |
|---------------------|--|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Компьютер (НР) | 1 | 53 000,0 | 53 000,0 |
| 2 | Программное обеспечение Microsoft Office | 1 | 5 190,0 | 5 190,0 |
| 3 | MathCad | 1 | 7 818 | 7 818 |
| Итого, руб.: | | | | 66 008 |

11.4.1 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 11.14.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты), и дополнительную заработную плату: $Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$,

где, $Z_{осн}$ — основная заработная плата;

$Z_{доп}$ — дополнительная заработная плата (12–15 % от $Z_{осн}$).

Величина расходов по основной заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок: $Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m + Z_d + Z_{рк}}{F_d},$$

где Z_m — месячный должностной оклад работника, руб.;

Z_d — доплата за руководство расчетного проектирования;

$Z_{рк}$ — доплата с учетом районного коэффициента $K_{рк}$;

$K_{рк}$ равен 1,3 (для Томска).

F_d — фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Таблица 11.14 — Расчёт основной и дополнительной заработной платы

| Исполнители | Зт, руб. | Здоп, руб. | Зрк, руб. | Зм, руб. | Здн, руб. | Тр, дн. | Зосн, руб. | Здоп, руб. | |
|--------------|-------------|---------------|--------------|----------|--------------|------------|---------------|---------------|----------|
| Руководитель | 43570 | 871,4 | 13332,42 | 57773,82 | 3052,0 | 21 | 64091,4 | 9613,71 | |
| Исполнитель | 20140 | | 6042 | 26182 | 1383,1 | 74 | 102349,1 | 15352,36 | |
| ИТОГО | | | | | | | | 166440,5 | 24966,07 |

11.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы: $Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$,

где $k_{внеб}$ — коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), для Томского Политехнического Университета равный 30% + 0,2% учитывающие травматизм.

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 73705,1 = 22258,9 \text{ руб.}$$

11.4.3 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 80% от суммы основной и дополнительной заработных плат.

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,8 \cdot (166440,5 + 24966,1) = 153125,24$$

11.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11.15.

Таблица 11.15 — Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | Структура затрат, % |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Материальные затраты | 1555090,00 | 78,23 |
| Затраты на специальное оборудование | 66008 | 3,32 |
| Основная заработная плата | 166440,5 | 8,37 |
| Дополнительная заработная плата | 24966,07 | 1,26 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 22258,94 | 1,12 |
| Накладные расходы | 153125,24 | 7,70 |
| Бюджет затрат НИИ | 1987888,73 | 100 |

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 1 987 888,7 руб., из которых 78,23% составят материальные затраты.

11.5 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 11.2.

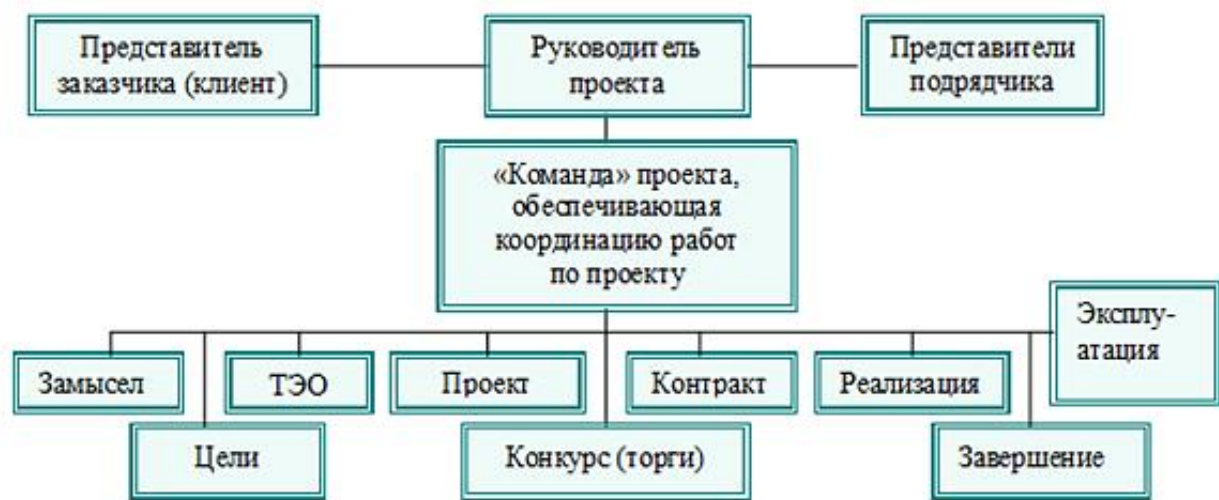


Рисунок 11.2 — Проектная организационная структура проекта

11.5.1 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 11.16).

Таблица 11.16 — План управления коммуникациями

| Какая информация передается | Кто передает информацию | Кому передается информация | Когда передается информацию |
|---|-------------------------|----------------------------|---|
| Статус проекта | Исполнитель | Руководителю | Еженедельно (понедельник) |
| Обмен информацией о текущем состоянии проекта | Исполнитель | Руководителю | Ежемесячно (конец месяца) |
| Документы и информация по проекту | Исполнитель | Руководителю | Не позже сроков графиков и контрол. точек |
| О выполнении контрольной точки | Исполнитель | Руководителю | Не позже дня контрольного события по плану управления |

11.5.2 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 11.17.

Таблица 11.17 — Реестр рисков

| № | Риск | Вероятность наступления | Влияние риска | Уровень риска | Способы смягчения риска | Условия наступления |
|---|--|-------------------------|---------------|---------------|---|-------------------------------------|
| 1 | Неточность метода анализа | 2 | 5 | Низкий | Внешний и внутренние анализы | Низкая точность метода анализа |
| 2 | Неточность модели | 2 | 4 | Средний | Учет допущений | Особенность программ |
| 3 | Отсутствие интереса к результатам исследования | 2 | 5 | Низкий | Привлечение предприятий, публикация результатов | Отсутствие результатов исследования |

11.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

11.6.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели [39]:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) — это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{on_t}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: $ЧДП_{opt}$ — чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 — разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t — номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$)

n — горизонт расчета;

i — ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчет NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 11.18. При расчете рентабельность проекта составляла 20–25 %, норма амортизации — 10 %.

Таблица 11.18 — Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

| № | Наименование показателей | Шаг расчета | | | | |
|----|---|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Выручка от реализации, руб. | 0 | 2484860,9 | 2484860,9 | 2484860,9 | 2484860,9 |
| 2 | Итого приток, руб. | 0 | 2484860,9 | 2484860,9 | 2484860,9 | 2484860,9 |
| 3 | Инвестиционные издержки, руб. | 1987889 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Операционные затраты, руб. (35 % от бюджета) | 0 | 695761,1 | 695761,1 | 695761,1 | 695761,1 |
| 5 | Налогооблагаемая прибыль (1–4) | 0 | 1789099,9 | 1789099,9 | 1789099,9 | 1789099,9 |
| 6 | Налоги 20 %, руб. (5*20%) | 0 | 357820,0 | 357820,0 | 357820,0 | 357820,0 |
| 8 | Чистая прибыль, руб. (5–6) | 0 | 1431279,9 | 1431279,9 | 1431279,9 | 1431279,9 |
| 9 | Чистый денежный поток (ЧДП), руб. | -1987889 | 1630068,8 | 1630068,8 | 1630068,8 | 1630068,8 |
| 10 | Коэффициент дисконтирования при $i = 25 \%$ (КД) | 1 | 0,800 | 0,640 | 0,512 | 0 |
| 11 | Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб. (9*10) | -1987889 | 1304055,0 | 1043244,0 | 834595,2 | 667676,2 |
| 12 | $\sum ЧД$ | 3 843 570,4 руб. | | | | |
| 12 | Итого NPV, руб. | 1 861 681,7 руб. | | | | |

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1 435 416,3 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) — показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 = 1,94$$

где: ЧДД — чистый денежный поток, руб.;

I_0 — начальный инвестиционный капитал, руб.

Проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой она обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или 10. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 11.19 и на рисунке 11.3.

Таблица 11.19 — Зависимость NPV от ставки дисконтирования

| № | Наименование показателя | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | NPV, руб. |
|---|------------------------------|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | Чистые денежные потоки, руб. | -1987889 | 1630068,8 | 1630068,759 | 1630068,8 | 1630068,8 | |
| 2 | Коэффициент дисконтирования | | | | | | |
| | 0,1 | 1 | 0,909 | 0,826 | 0,751 | 0,683 | |
| | 0,2 | 1 | 0,833 | 0,694 | 0,578 | 0,482 | |
| | 0,3 | 1 | 0,769 | 0,592 | 0,455 | 0,350 | |
| | 0,4 | 1 | 0,714 | 0,510 | 0,364 | 0,260 | |

| | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0,5 | 1 | 0,667 | 0,444 | 0,295 | 0,198 | |
| | 0,6 | 1 | 0,625 | 0,390 | 0,244 | 0,153 | |
| | 0,7 | 1 | 0,588 | 0,335 | 0,203 | 0,112 | |
| | 0,8 | 1 | 0,556 | 0,309 | 0,171 | 0,095 | |
| | 0,9 | 1 | 0,526 | 0,277 | 0,146 | 0,077 | |
| | 1 | 1 | 0,500 | 0,250 | 0,125 | 0,062 | |
| 3 | Дисконтированный денежный поток, руб. | | | | | | |
| | 0,1 | -1987889 | 1481732,5 | 1346436,8 | 1224181,6 | 1113337,0 | 3177799,2 |
| | 0,2 | -1987889 | 1357847,3 | 1131267,7 | 942179,7 | 785693,1 | 2229099,1 |
| | 0,3 | -1987889 | 1253522,9 | 965000,7 | 741681,3 | 570524,1 | 1542840,2 |
| | 0,4 | -1987889 | 1163869,1 | 831335,1 | 593345 | 423817,9 | 1024478,3 |
| | 0,5 | -1987889 | 1087255,9 | 723750,5 | 480870,3 | 322753,6 | 626741,6 |
| | 0,6 | -1987889 | 1018793 | 635726,8 | 397736,8 | 249400,5 | 313768,4 |
| | 0,7 | -1987889 | 958480,4 | 546073 | 330904,0 | 182567,7 | 30136,4 |
| | 0,8 | -1987889 | 906318,2 | 503691,2 | 278741,8 | 154856,5 | -144281 |
| | 0,9 | -1987889 | 857416,2 | 451529 | 237990 | 125515,3 | -315438,2 |
| | 1,0 | -1987889 | 815034,4 | 407517,2 | 203758,6 | 101064,3 | -460514,3 |

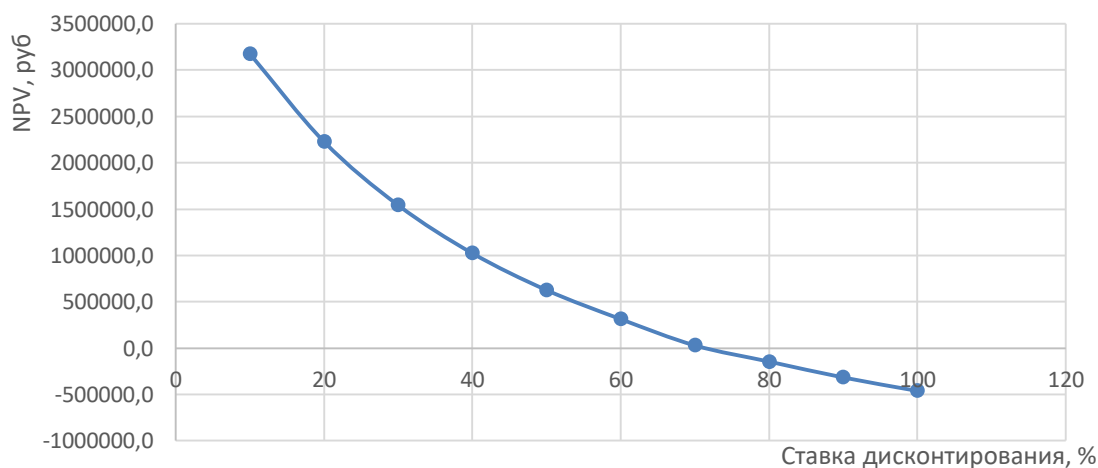


Рисунок 11.3 — Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 73% — проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $73\% - 25\% = 48\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени. Этот недостаток

устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 11.20).

Таблица 11.20 — Дисконтированный срок окупаемости

| № | Наименование показателя | Шаг расчета | | | | |
|---|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,25$), руб. | -1987889 | 1304055,0 | 1043244,0 | 834595,2 | 667676,2 |
| 2 | То же нарастающим итогом, руб. | -1987889 | -683833,7 | 359410,3 | 1194005,5 | 1861681,7 |
| 3 | Дисконтированный срок окупаемости | $DP_{диск} = 1 + (683833,7/1043244) = 1,65$ года | | | | |

11.6.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} — интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i — весовой коэффициент разработки;

b_i — балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 11.21.

Таблица 11.21 — Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| ПО Критерии | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Аналог 1 | Аналог 2 |
|---|-------------------------------|----------------|----------|----------|
| 1. повышение производительности труда пользователя | 0,15 | 1 | 1 | 1 |
| 2. удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,2 | 4 | 4 | 4 |

| | | | | | |
|--------|---------------------|------|----|----|----|
| 3. | уровень шума | 0,2 | 4 | 3 | 2 |
| 4. | надежность | 0,15 | 4 | 3 | 3 |
| 5. | безопасность | 0,1 | 4 | 4 | 4 |
| 6. | энергоэкономичность | 0,2 | 4 | 1 | 2 |
| Итого: | | 1 | 21 | 16 | 16 |

$$I_m^p = 1 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 = 3,55$$

$$I_1^A = 1 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,2 = 2,6$$

$$I_2^A = 1 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 = 2,6$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}; \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где: $\mathcal{E}_{ср}$ — сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ — интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ — интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 11.22.

Таблица 11.22 — Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Разработка | Аналог 1 | Аналог 2 |
|-------|---|------------|----------|----------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,18 | 0,16 | 0,20 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 3,55 | 2,6 | 2,60 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 19,72 | 16,25 | 13,00 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1,00 | 1,13 | 0,90 |

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость (NPV), равная 1 861 682 руб.; индекс доходности $PI = 1,93$, внутренняя ставка доходности $IRR = 73\%$, срок окупаемости $DPP_{дск} = 1,65$ года.

Таким образом, был разработан ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и достаточно коротким сроком окупаемости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был разработан и исследован асинхронный частотно-регулируемый электропривод насоса перекачки грунтовой пульпы.

В работе осуществлен выбор оборудования. Предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Выбран электродвигатель серии А4-450У-8МУЗ, преобразователи частоты фирмы *Leading Solution*.

Разработана структурная схема асинхронного короткозамкнутого электропривода со скалярным управлением. Проведены имитационные исследования в программной среде *MathCad*, которые показали, что при прямом пуске АД ударные (критические) моменты очень велики, что приводит к выходу из строя как АД, так и кинематики привода в целом. Для работы электропривода была выбрана система со скалярным управлением и законом $U/f^3 = const$, как наиболее подходящая для насосной установки и имеющая достаточный диапазон регулирования. Также была разработана схема управления от ПЛК.

По результатам исследования был сделан вывод, что частота вращения и электромагнитный момент при различных частотах устанавливаются в соответствии с вентиляторной нагрузкой.

Разработанный электропривод полностью удовлетворяет требованиям технического задания, а предложенные принципы организации управления позволяют обеспечить нужную скорость работы механизма.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 СТАРИКОВ А.С. Технологические процессы земснарядов. – М.: Транспорт, 1989. – с.114.
- 2 Автоматизированный электропривод / под ред. И.И. Петрова и др. – М.: Энергия, 1980.
- 3 Автоматизированный электропривод / под ред. Н.Ф. Ильинского и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 4 Насос ГрУТ 2000/63. Техническая документация.
- 5 Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 255 с.
- 6 Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отделение, 1982.
- 7 Браславский И.Я. Электросберегающий асинхронный двигатель. – М.: Энергоатомиздат, 2004.
- 8 Преобразователь частоты *LSMV-060F12H-G1* фирмы *Leading Solution*. Руководство пользователя.
- 9 Преобразователь частоты *LSMV-060F12H-G1* фирмы *Leading Solution*. Технические характеристики.
- 10 Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Высш. шк., Логос, 2000.
- 11 Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. – Чебоксары: Издательство Чувашии, 1998. – 172 с.
- 12 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416с.

- 13 Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 2002.
- 14 Чернышев А.Ю., Ланграф С.В., Чернышев И.А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Учебно-метод. пособие. /Томск. Политехн. Ун-т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 29 с.
- 15 Современные системы автоматизации. 1/2002.
- 16 Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.
- 17 Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчёт характеристик электропривода переменного тока. Часть 1. – Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.
- 18 Нестеров К.Е., Зюзев А.М. Программирование промышленных контроллеров. Учебно-метод. пособие. /Екатеринбург: Уральский университет, 2019. – 96 с.
- 19 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
- 20 ГОСТ 12.1.003 – 2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 21 ГОСТ 12.0.003-2015 – «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- 22 ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- 23 ГОСТ 12.2.011-2012. «Система стандартов безопасности труда. Машины строительные, дорожные и землеройные».

- 24 ГОСТ Р 12.3.048-2002 ССБТ. «Система стандартов безопасности труда. Строительство. Производство земляных работ способом гидромеханизации».
- 25 ГОСТ 17.4.1.02-83. «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения».
- 26 ГОСТ 17.4.3.04-85. «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения».
- 27 ГОСТ 21889-76 Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
- 28 ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
- 29 ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (введен в действие Приказом Росстандарта от 12.07.2012 N 191-ст).
- 30 ГОСТ Р 53692–2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 15.12.2009 N 1092-ст).
- 31 ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
- 32 Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева, О.А. Антоневиц, И.И. Авдеева. Социальная ответственность: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – 27 с.
- 33 Постановление Правительства РФ от 28.12.2020 №2314. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения.
- 34 Правила устройств электроустановок. 6-е и 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2003. – 640 с.

35 СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

36 СНиП 3.05.06-85 Строительные нормы и правила. Электротехнические устройства.

37 СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

38 Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-метод. пособие. /Томск. Политехн. Ун-т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.

39 Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений «Методы менеджмента качества», – №. – 2003.

40 Gerard L. M. van der Schrieck. Dredging Technology Book 1: The Basics / Gerard L. M. van der Schrieck – Independently Published, 2020. – 438 p.

41 Dave McCracken. Gold Dredger's Handbook – How to Find a Lot of Gold Using a Suction Dredge Kindle Edition / Dave McCracken – New Era Productions, 2012. – 254 p.

42 Ioan Sarbu. Ground-Source Heat Pumps: Fundamentals, Experiments and Applications 1st Edition / Ioan Sarbu – Academic Press; 1st edition, 2015. – 216 p.

43 David H. Myszka. MACHINES AND MECHANISMS / David H. Myszka – University of Dayton, 2012. – 385 p.

Приложение А
(справочное)

Control system for pumping soil pulp on a dredger

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5AM07 | Кибалов Владислав Андреевич | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------------|------------------------------|---------|------|
| Доцент | Чернышев Игорь Александрович | Кандидат технических наук | | |

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------------|---------|------|
| Доцент | Воробьева Виктория Владимировна | Кандидат филологических наук | | |

Introduction

The development of high-performance, compact and economical control systems for electric drives is a priority direction in the development of modern technology. The growing degree of integration in microprocessor technology and the transition from microprocessors to microcontrollers with a built-in set of specialized peripherals have made the trend of mass replacement of analog drive control systems with direct digital control systems irreversible.

An analysis of the products of the world's leading manufacturers of control systems and materials of published scientific research in this area allows us to note the following pronounced trends in the development of the electric drive: the share of drive systems with DC motors is steadily decreasing and the share of drive systems with AC motors is increasing. This is due to the low reliability of the mechanical collector and the higher cost of DC collector motors. Due to the sharp reduction in the cost of static frequency converters, the share of frequency-controlled asynchronous electric drives is rapidly increasing.

Promising control systems for electric drives are being developed with a focus on integrated automation of technological processes and the coordinated operation of several drives as part of an industrial network.

The task of synchronizing the speeds and positions of the mechanisms involved in the technological process is relevant for many industries. Coordinated control allows integrating individual electric drives into a common process control system, ensuring the required product quality and eliminating equipment downtime.

A1. DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS

Hydromechanization is a unique method of simultaneous extraction, transportation and laying of soil (sand), which is carried out with the help of a water stream. The energy of water helps to build technical structures, create reserves (piles) of sand, clean and deepen river beds [40].

The hydraulic refill has its own characteristics and advantages: simplicity of equipment, low labor intensity and high productivity. In addition, this is the most effective way to carry out work in hard-to-reach areas for dry-moving equipment and areas with high swampiness, which are typical for most regions of Western Siberia.

The dredger shown in Figure A1.1 is designed for underwater excavation of soils, deepening and cleaning the bottom of small reservoirs and rivers, transporting soils along with water (pulp) through pipelines to the installation site.



Figure A1.1 – Dredger

A1.1. Types of dredgers

According to their type, dredgers, clamshell, multi-bucket and rod dredgers are distinguished.

Suction-type dredgers are equipped with pumping equipment, through which the eroded soil is pumped out through the slurry pipeline.

The ground pump with water poured inside is lowered to the bottom of the reservoir, after which the engine and gearbox are started, as a result of which the air mass is pumped out of the suction pipe. With the formation of a vacuum, the

slurry is sucked into the unit, from where it is pumped to the storage site. Such special equipment can pump mixtures with a very large volume of abrasive particles, which helps the dredge to wash sands or sand and gravel mixtures with huge masses of water.

Grab shells, as a rule, are non-self-propelled machines of cyclic action, mounted on the basis of a floating crane. The main working tool of the «vacuum cleaner» is a grab – a load-gripping device in the form of a bucket with swivel jaws.

The grab is suspended on ropes from a crane boom or a dredger cargo cart. The lifting device is lowered to a depth, captures and lifts the water-ground mixture, and then, using a crane or a cargo trolley, turns to the place of unloading. After dumping the material, the grab returns to the next dredging site. To a greater extent, this type of dredger is suitable for sand mining in difficult conditions or at great depths – up to 250 m.

The design of multi-bucket type suction dredgers includes a closed chain of links with buckets. Under the action of a special mechanism, the buckets of the device are set in motion, collect the soil mixture and feed it to a special outlet tray or conveyor line that delivers the mass to the cargo barge.

Rod shells are actually a «floating» offshoot of hydraulic excavator technology. The only difference is that the car is mounted on a pontoon. The ship-excavator performs all operations with the usual bucket or with the help of a long crane boom. Rod-type shells can be used for all types of earthmoving work, but only at shallow depths.

A1.2. Structure of the dredger

The dredger uses a hydraulic method of separating the soil from the bottom and transporting it through pipelines to the place of laying. The scheme of the device of a river dredger is shown in fig. A1.2.

The body of the river dredger consists of simple rough contours, has a cutout (slot) for placing a suction pipe in it with a frame covering it. The main working body of the dredger is the soil pump, which provides suction of the soil pulp and its movement along the slurry pipeline. The pump is driven by the main engine of the dredger.

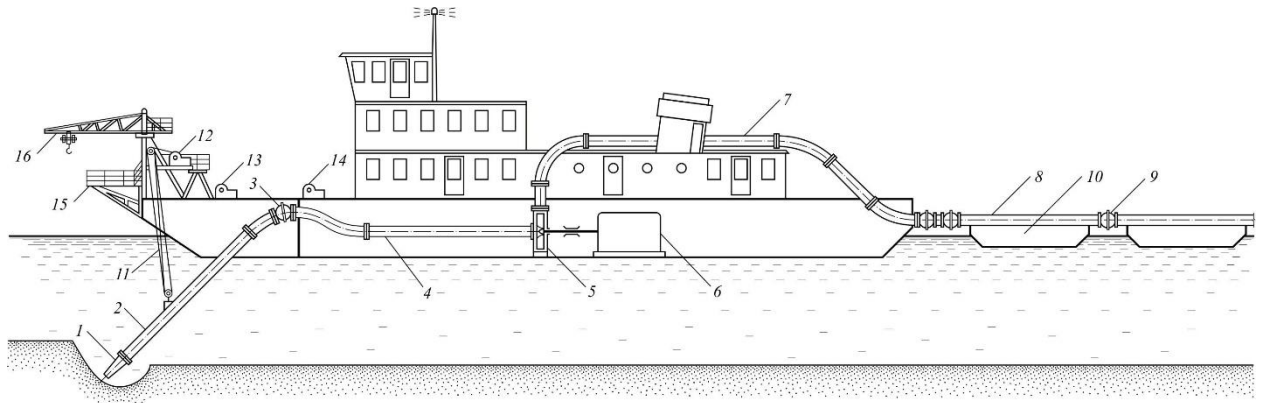


Figure A1.2 – Scheme of the dredger

1 – suction soil receiver; 2 – suction pipe; 3 – flexible connection; 4 – body part of the suction slurry pipeline; 5 – soil pump; 6 – main engine; 7 – body part of the pressure slurry-wire; 8 – floating part of pressure slurry pipeline (refuller); 9 – flexible connection of refuller links; 10 – pontoon; 11 – frame-lifting device; 12 – frame-lifting winch; 13 – front camp winch; 14 – front side winch; 15 – measuring bridge; 16 – crane-beam for installation work

The inlet part of the pump is connected to the suction slurry pipeline, and the outlet part – to the pressure slurry pipeline. The main part of the suction pipeline is an inclined suction pipe, which rotates in a vertical plane. It communicates through a flexible connection with the casing suction slurry pipeline connected to the soil pump. At the end of the suction pipe there is a suction tip (pulp receiver). Raising and lowering the inclined suction pipe to the required depth is carried out using a frame-lifting device.

The pressure slurry pipeline consists of a hull and a floating part. A vertically located branch pipe is connected to the pump, behind which there is an elbow having a large radius of curvature, which directs the soil pulp (slurry) to the hori-

zontally located section of the casing slurry pipeline. This site is located on the roof of the upper superstructure of the dredger. In the aft part of the projectile, the slurry through two elbows and an inclined slurry pipeline descends down to the point of attachment of the floating slurry pipeline. The floating slurry pipeline is connected to the pressure body slurry pipeline by means of two ball joints. Such a connection provides the necessary degree of mobility, both in the horizontal plane and in the vertical one, when the dredger, as the fuel is consumed, begins to “float” in relation to the floating part of the pressure slurry pipeline.

The floating slurry pipeline (refuller) is located on pontoons and its separate links (pipes) are interconnected by means of flexible connections. The pontoon consists of two floats rigidly connected together. The last refuller pontoon, called the end pontoon, is equipped with two anchors, cables and winches. Anchors and cables serve to hold the pontoon at the dump site, to lower the pontoon downstream, and also to move the pontoon away from the dump axis.

A1.3. The scheme of the dredger

The principle of operation of the dredger for the extraction and removal of soil is as follows. The ground pump is filled with water and driven by the main engine. With the help of a frame-lifting device, the suction pipe is buried in the ground. When the pump is filled with water, a vacuum is created in the suction pipe (pressure below atmospheric pressure). Atmospheric pressure and the pressure of the water column, corresponding to the depth of lowering of the soil receiver, act above the soil receiver. Under the action of the pressure difference, the water in front of the soil receiver begins to enter it at a certain speed. The water flowing to the receiver captures and drags the soil particles with it. The space around the throat (hole) of the soil receiver, within which water erodes and entrains the soil, is called the suction sphere. A mixture of soil particles with water (pulp) moves through the suction slurry pipeline to the pump. In the pump, the slurry enters the rotating blades of the impeller and is thrown to the beginning of the body part of

the pressure slurry pipeline, where an increased (above atmospheric) pressure is created. Near the outlet of the floating refuler, the pressure is equal to atmospheric. Under the influence of the pressure difference, the slurry moves along the pressure slurry pipeline to the place of soil dumping.

The performance of the dredger on the ground, m^3/h , is determined by the expression (A1.1):

$$Q_g = (P/100) \cdot Q_{cm} = (P/100) \cdot V_{cm} \cdot (\pi D_n^2 / 4) \cdot 3600, \quad (A1.1)$$

where: Q_{cm} – slurry flow rate (dredger capacity for the mixture), m^3/h ;

P – the consistency of the porous soil (soil content in the slurry), %;

V_{cm} – the speed of movement of the slurry in the pressure slurry pipeline, m/s ;

D_n – the diameter of the pressure slurry pipeline, m .

The content of soil in the slurry is usually characterized by consistency (saturation). In dredging, the consistency P is understood as the ratio of the volume of the soil together with the pores (with the porosity inherent in the soil at the bottom before its development) to the volume of the slurry. Saturation of 15-18% is considered satisfactory in the development of light soils and 12% in the development of heavy soils.

The soil productivity of river dredgers operated on inland waterways ranges from 200 to 2500 m^3/h .

Dredgers are usually used in the development of non-cohesive, mainly sandy and sandy-gravelly soils. To work on cohesive (clay) soils, dredgers are equipped with mechanical looseners, with the help of which the soil is cut off and brought to the suction hole of the soil receiver.

A1.4. Characteristics of the serviced equipment

The pump with an electric motor on a common foundation plate is installed on a flat iron frame. The horizontality of the installation is controlled by the level. If necessary, horizontal installation is achieved by placing wedges. Then the pump

is fixed to the frame with the help of foundation studs and nuts. The next operation is related to the alignment of the coupling halves. The alignment of the shafts of the pump and the electric motor is carried out using movement indicators. After achieving alignment, the pump rotor should freely, without scuffing, make a full turn [41].

The electric motor must be protected against overloads and short circuits. From thermal overloads with high voltage, the electric motor must be protected by an electrothermal relay, from a short circuit – by a safety circuit breaker or fuses. Fuses are placed in front of the starting contactor of the electric motor.

Before the first start-up of the device, by switching on the electric motor for a short time, it is necessary to determine the direction of rotation of the motor shaft. The direction of rotation of the rotor, when viewed from the side of the coupling, to the right, that is, in the clockwise direction.

The pump must under no circumstances be started to the left even for a short time (when looking at the pump from the side of the coupling)! This can lead to loosening of the impeller and its subsequent jamming in the inner casing [42].

The direction of rotation of the electric motor can only be controlled when the coupling clutch of the electric motor with the pump is disconnected.

Table A1.1 – Characteristics of the main pump of the dredger

| Type | Working wheel diameter, mm | Rotation frequency, rpm | Feed, m ³ /h | Head, m ³ | Pump efficiency, %, not less | Voltage, V | Power, kWt |
|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------|------------|------------|
| Groot 2000/63 | 1030 | 750 | 2000 | 63 | 71 | 6000 | 630 |



Figure A1.3 – Ground pump Groot 2000/63

Table A1.2 – Characteristics of the electric motor (running)

| Electric motor | Rated power, kW | At rated load | | | |
|------------------|-----------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| | | speed, rpm | stator current, A | Efficiency, % | $\cos\varphi$ |
| AKN-2-15-57-10U4 | 630 | 590 | 77 | 94,5 | 0,83 |

Continuation of table A1.2

| Rotor data | | Mmax, Mnom | Flywheel moment of the rotor, kN×m | Weight, 1000 kg |
|------------|------------|------------|------------------------------------|-----------------|
| voltage, V | current, A | | | |
| 850 | 440 | 2,3 | 5,2 | 4,8 |

During the operation of the dredger, a repeated-short-term process of starting-stopping the main engine is used, this happens due to the frequent lengthening and changing the location of the slurry pipeline in the alluvium area. An electric motor AKN-2-15-57-10U4 with a phase rotor is used, which requires high costs for ongoing maintenance, and speed control is also impossible [43].

As a result, we get:

- high energy costs
- increased wear of the motor windings (high starting currents),
- high network overloads and, as a result, frequent shutdown of the protective cell due to overload.

To eliminate these shortcomings, it is better to use an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor.

A1.5. Kinematics of the pump electric drive

The kinematic diagram of the pump electric drive is shown in Figure A1.4.

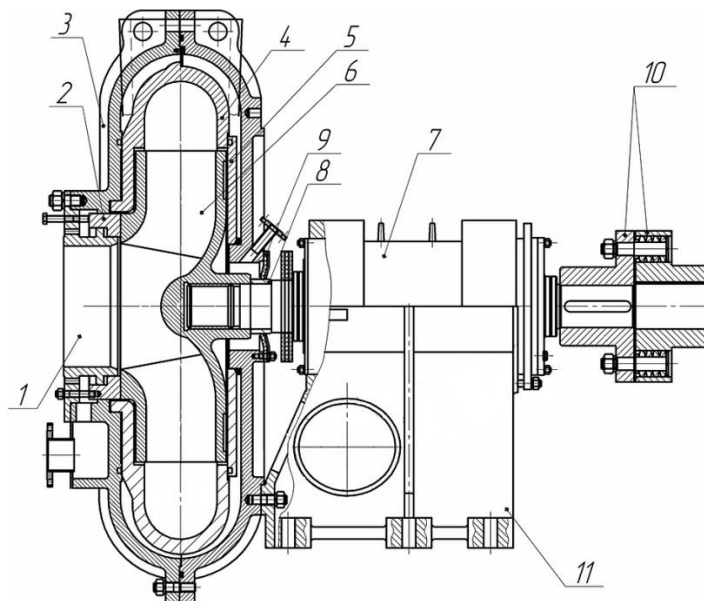


Figure A1.4 – Kinematic diagram of the pump electric drive

- 1 – suction pipe; 2 – sealing ring; 3 – outer case; 4 – internal body; 5 – protective disk; 6 – working wheel; 7 – bearing assembly; 8 – sleeve; 9 – sealing cuff; 10 – clutch; 11 – console.

Conclusion

In conclusion, we can say that dredgers are used in many industries and the national economy. Powerful, high-performance devices handle a wide range of tasks with ease and allow you to automate many processes in mining, shore protection, cleaning the bottom of reservoirs and in many other cases when the use of other equipment is impossible.

The dredger is in great demand in the service market. These devices make it possible to establish the extraction of non-metallic materials from the bed of rivers and quarries surrounded by water. In addition, they are indispensable during bottom dredging, and, thanks to the use of the hydromechanization method, when soils are simultaneously developed and transported, the entire range of required activities is carried out much faster and at minimal financial cost.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

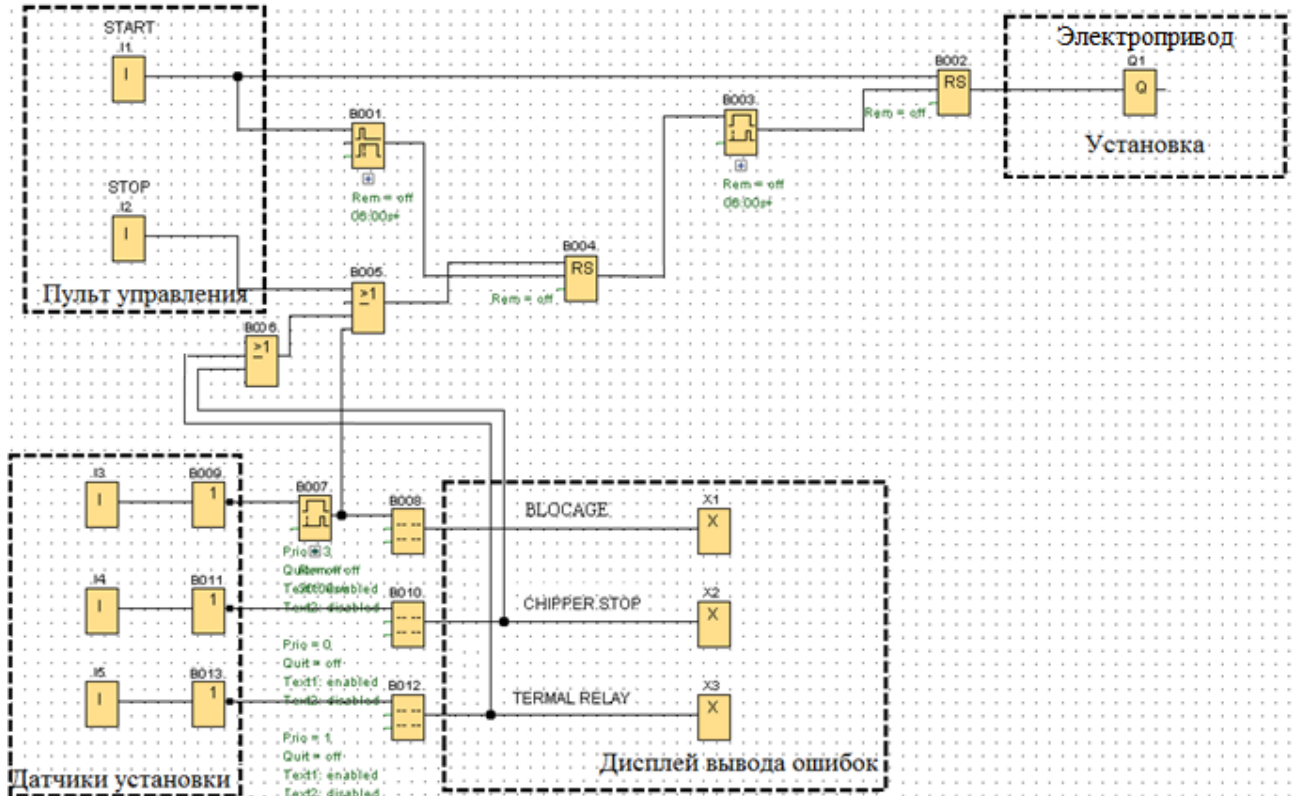


Рисунок Б.1 — Схема управления электропривода насоса в программе LOGO!Soft Comfort