

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

---

Институт Электронного обучения

Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЫМОСОСА КОТЛОАГРЕГАТА</b>

УДК \_\_\_\_\_

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7101	Черкашин Михаил Олегович		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры электропривода и электрооборудования	Каракулов Александр Сергеевич	Кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмента	Грахова Елена Александровна	Ассистент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
кафедра Электропривод и электрооборудование	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

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

---

Институт Электронного обучения  
Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломной работы <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
---

Студенту:

Группа	ФИО
3-7101	Черкашин Михаил Олегович

Тема работы:

<b>Асинхронный электропривод дымососа котлоагрегата</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе:</b>	
<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"><li>- Электропривод вытяжного вентилятора (дымососа) котлоагрегата;</li><li>- Нагрузка – реактивная;</li><li>- Электропривод неререверсивный, диапазон регулирования D=1:10;</li><li>- Поддержания заданной частоты не более 10%;</li><li>- Управление электроприводом - ручное;</li><li>- Степень защиты не ниже IP54;</li><li>- Температура окружающей среды от 5° до 45°С и относительной влажностью не более 80%;</li><li>- Сеть трёхфазная, 380±10%В, 50±1 Гц.</li></ul>

<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Изучить технологический процесс;</li> <li>- Выбрать преобразователь частоты и двигатель;</li> <li>- Рассчитать статические характеристики электродвигателей;</li> <li>- Разработать имитационную модель электропривода;</li> </ul>

**Перечень графического материала:**

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:**

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Асинхронный электропривод дымососа котлоагрегата	Каракулов Александр Сергеевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович

**Названия разделов:**

Технологический процесс котельной

Выбор и расчёт параметров системы преобразователя частоты-асинхронный двигатель

Оптимизация САУ электропривода дымососа

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Каракулов Александр Сергеевич	Кандидат технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-7101	Черкашин Михаил Олегович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 102 страницу, 47 рисунков, 17 таблиц, 28 используемых источников, 5 листов графического материала.

КОТЛОАГРЕГАТ, ДЫМОСОС, АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом модернизации является электропривод дымососа котлоагрегата ЗИОСАБ-2000.

Цель работы - разработка частотно регулируемого электропривода в соответствии с требованиями технического задания и исследование его работы методом моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, обеспечивающий следующие показатели качества:

- диапазон регулирования скорости 1:10;
- погрешность поддержания скорости  $\delta \leq 3\%$  при изменении нагрузки  $0,2M_{двн}$ ;
- время переходного процесса  $t \leq 2c$ .

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, графическом редакторе Visio 2002 SP1, статическом редакторе Microsoft Excel 2003. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 2001 Professional Rus. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ MatLab 6.1.

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КОТЕЛЬНОЙ	9
1.1 Техническая характеристика систем автоматизации котельной	10
1.2 Вспомогательное оборудование	11
1.3 Описание котлоагрегата	14
1.3.1 Устройство котла	14
1.3.2 Характеристика топлива	15
1.4 Описание дымососа ДН-6,3-1500 в составе котельной	19
1.4.1 Назначение и область применения	19
1.4.2 Краткое описание конструкции	19
1.5 Процесс водоподготовки	21
1.6 Дымовая труба	21
1.7 Электроснабжение	21
1.8 Функциональные схемы	22
2 ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ-АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	25
2.1 Расчет параметров и характеристик асинхронного двигателя	25
2.1.1 Паспортные данные электродвигателя	25
2.1.2 Расчет и построение электромеханических характеристик	25
2.1.3 Расчет и построение механической характеристики	29
2.2 Расчет момента инерции дымососа	31
2.3 Выбор преобразователя частоты	33
2.4 Выбор измерительного преобразователя давления	37
2.5 Выбор преобразователя интерфейса	39
2.6 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода	41
3 ОПТИМИЗАЦИЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЫМОСОСА	45
3.1 Структурная схема асинхронного двигателя	45
3.2 Имитационная модель асинхронного двигателя	46

3.2.1	Проверка системы трехфазных и двухфазных напряжений	48
3.2.2	Проверка адекватности имитационной модели АД	49
3.3	САУ электропривода при скалярном управлении	51
3.3.1	Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении	51
3.3.2	Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении	51
3.3.3	Имитационная моделирование САУ ЭП при скалярном управлении	53
3.4	САУ электропривода при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения	56
3.4.1	Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения	56
3.4.2	Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения	57
3.4.3	Имитационное моделирование САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения	59
	<b>ФИНАНСОВЫЙ МЕНДЖМЕН, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</b>	<b>63</b>
4	<b>Финансовый менеджмент</b>	<b>64</b>
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности	65
4.1.1	Потенциальные потребители	65
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений	66
4.2	Структура проведения работ по модернизации электропривода переменного тока	68
4.3	Организация ПНР	70
4.3.1	Структура проведения ПНР	70
4.4	Бюджет проекта	73
4.4.1	Определение стоимости ПНР	73
4.5	Определение ресурсной, финансовой, социальной и экономической эффективности исследования	76
4.5.1	Интегральный финансовый показатель	76

4.5.2	Интегральные показатели эффективности	77
4.5.3	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	78
	<b>СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</b>	<b>80</b>
5.1	Комплексный анализ опасных и вредных факторов труда	82
5.2	Производственная санитария	83
5.3	Техника безопасности	89
5.4	Пожарная безопасность	91
5.5	Охрана окружающей среды	93
	Заключение	95
	Список использованных источников	96
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	98
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б	99
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	100
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г	101
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д	102

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России возникла ситуация, когда тепловые станции испытывают острую необходимость в модернизации технологического оборудования и особенно средств технологического контроля и управления. Оборудование большинства станций эксплуатируется 15-20 и более лет, его физический ресурс исчерпан, оно морально устарело.

Наилучшим решением в этой ситуации является внедрение современного технологического оборудования, позволяющего максимально использовать возможности систем управления и тем самым добиться качественно нового уровня технологии.

В настоящее время во всем мире широко используется частотный способ управления асинхронной машиной, который сегодня рассматривается не только с точки зрения экономии потребляемой электроэнергии, но и с точки зрения совершенствования управления технологическим процессом.

В промышленно развитых странах техника применения частотно-регулируемых приводов используется более 30 лет. В течение этого времени закладывались научные и методические основы, разрабатывались и совершенствовались технические средства управления электроприводом, совершенствовались технологические процессы и оборудование, корректировались учебные курсы для подготовки специалистов. Накоплен достаточно большой опыт в принятии технических решений при создании систем, использующих этот тип приводов, ряд решений стандартизирован.

В нашей стране сложилась несколько иная ситуация. Разработка полномасштабных интегрированных АСУ ТП взамен устаревших систем еще весьма незначительна. Не смотря на это, все же имеется опыт применения частотно-регулируемых приводов для модернизации тягодутьевых агрегатов.

Модернизация вентиляторов и дымососов путем применения частотного регулирования является задачей нижнего уровня АСУ ТП. При этом эффективно решаются вопросы энергосбережения, улучшения качества технологического процесса, срока службы агрегатов системы, а также ряд других вопросов, повышающих уровень системы в целом.

Целью данной работы является разработка частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата ЗИОСАБ-2000

## 1 Технологический процесс котельной

В состав котельной Володинской промплощадки входят три котлоагрегата общей мощностью 5 МВт (1-ый и 2-ой котёл по 2 МВт, 3-ий – 1 МВт) Основным топливом является природный газ, резервным – дизельное топливо (на первом котле горелка комбинированная).

Сетевыми насосами ТРО 80-520/2 из обратного трубопровода вода подается в котлы и затем поступает в сеть. При работе котлов типа ЗИОСАБ-2000 автоматически поддерживается график подачи горячей воды 40...90 °С в зависимости от температуры наружного воздуха. Подпитка сетей осуществляется 2-мя насосами CR3-5. Исходная вода для подпитки проходит через автоматическую систему дозирования реагентов "КОМПЛЕКСОН-6" и поступает в бак умягченной воды. При падении давления в сети автоматически подпиточным насосом вода из бака подается в сеть.

Внутренний регулятор мощности в каждом менеджере горения автоматически поддерживает любую из двух заданных пользователем температур воды после котлоагрегата. Затем, при помощи подмеса обратной воды через автоматический трёхходовой клапан-смеситель вода охлаждается до необходимой температуры согласно графика. Этот график заносится в электронный регулятор ТРМ 32, который и выдаёт импульсы открытия или закрытия на шаговый двигатель клапана-смесителя.

## 1.1 Техническая характеристика систем автоматизации котельной

### Водогрейный котлоагрегат ЗИОСАБ:

Щиты автоматизации котла, установленные в котельной предусматривают, автоматический розжиг и автоматическое регулирование процесса горения.

На котлах установлены горелки фирмы «Weishaupt».



Рисунок 1 – Горелка фирмы Weishaupt

Управление режимом розжига, горения и защиты осуществляется от менеджера горения Weishaupt W-FM 100 котла и щита управления. Обработка сигналов и управление механизмами горелки (сервопривод воздушной заслонки, сервопривод газового дросселя, ) происходит в цифровой форме по CAN-шине.

Запуск электродвигателя горелки двухступенчатый. Вначале происходит его пуск в системе «звезда», а через 2сек. переключение на «треугольник».

Система безопасности котла ЗИОСАБ обеспечивает выполнение следующих функций:

- автоматическое включение - выключение горелки в заданном диапазоне температуры воды на выходе котла;
- автоматическое регулирование мощности горелки по температуре воды на выходе котла;
- индикация температуры и давления воды на выходе котла;
- аварийное отключение горелки при выходе параметров температуры, давления воды на выходе из котла и разрежения за предельные значения;
- сигнализация отключения горелки с расшифровкой причины срабатывания.
- защиту котла при запуске из холодного состояния

## 1.2 Вспомогательное оборудование

Система автоматизации вспомогательного оборудования предусматривает ручной (местный и дистанционный) и автоматический (в состоянии резерва) пуск насосов с сигнализацией выключения насоса и включения резерва. Система технологической сигнализации имеет режим опробования и выключения звукового сигнала.

**А) Подпиточные насосы т/сети** в автоматическом режиме управляются по давлению в обратном трубопроводе. Сигнал управления поступает от электроконтактного манометра ДМ2010 (SP3), установленного на обратном трубопроводе Т/сети (включение при давлении ниже  $1.5 \text{ кгс/см}^2$ , отключение при давлении выше  $2,5 \text{ кгс/см}^2$ ).



Рисунок 2 – Подпиточные насосы

При снижении давления на работающем насосе ниже  $1.0 \text{ кгс/см}^2$ , автоматически с выдержкой времени в 5 сек. включается резервный насос. Сигнал на включение поступает от электроконтактного манометра работающего насоса.

### **Б) Противоконденсатные насосы**

Для поддержания температуры обратной сетевой воды идущей к котлам не ниже  $55$  градусов между прямым и обратным трубопроводом каждого котла установлен противоконденсатный насос, управляемый от контактного датчика температуры ТУДЭ.

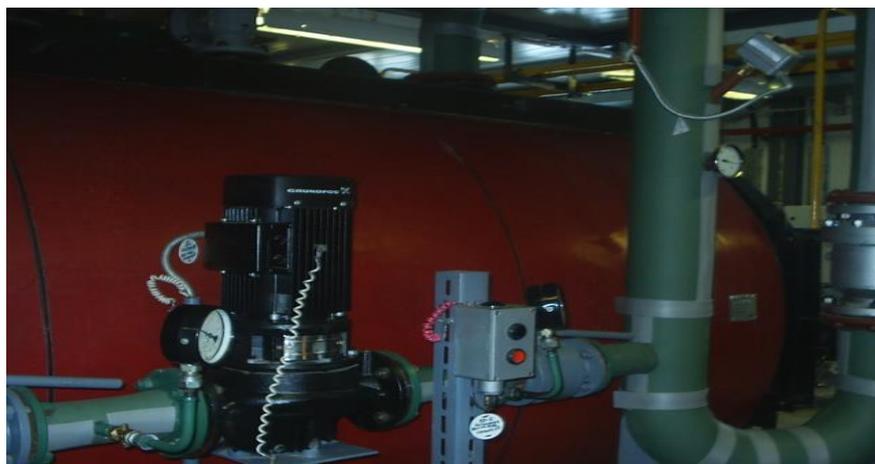


Рисунок 3 – Противоконденсатные насосы

Насос может работать в автоматическом (от датчика ТУДЭ ) или в ручном режиме (от кнопок управления, установленных возле насоса). Режим работы выбирается ключом на общекотельном щите. Как правило, эти насосы необходимо включать в межсезонный период (май, сентябрь), когда температура теплоносителя составляет 40-60°С.

### В) Затвор ЗР1

Для автоматического поддержания заданного уровня в баке запаса воды используется регулирующий затвор ЗР1, работающий от сигнализатора уровня РОС 301. При уровне воды в баке ниже 90см. затвор открывается, а при уровне 145см. – закрывается.



Рисунок 4 – Сигнализаторы уровня

### Г) Газораспределительный узел (ГРУ).

На ГРУ установлен газовый счетчик TZ/FLUXI фирмы «Actaris» с электронным корректором объема газа по давлению и температуре.



Рисунок 5 – Газовый распределительный узел

Электромагнитный клапан - отсекающий газ отключает подачу газа на котельную при превышении концентрации газа  $\text{CH}_4$  или  $\text{CO}$  в воздухе помещения котельной.

Диффманометр ДСП-160 подключен параллельно газовому фильтру и контролирует степень его загрязнения. При увеличении показаний прибора до 10кПа – провести чистку фильтра.

Электроконтактный манометр ДМ2010 контролирует давление газа, идущего к котлам. При отклонении показаний прибора за выставленные уставки срабатывает звуковая и световая сигнализация.

#### Д) Щит управления сетевыми насосами и дымососом.



Рисунок 6 – Щит управления насосами и дымососом

Электродвигатели сетевых насосов имеют встроенную температурную защиту. Датчик температуры (позистор) непосредственно встроен в обмотку двигателя и контролирует ее температуру. При превышении температуры, происходит отключение электродвигателя и включение резервного с выдачей аварийного сигнала в щит ЩА.

### 1.3 Описание котлоагрегата

Водогрейные котлы ЗИОСАБ-2000 предназначены для получения горячей воды с номинальной температурой 90°C, используемой в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий и сооружений промышленного и бытового назначения, а также для технологических целей. Котлы устанавливаются в котельных, оборудованных системой водоподготовки и работают с принудительной циркуляцией воды при рабочем давлении на входе до 0,6 МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>).

Вид топлива для котлов типа ЗИОСАБ-2000:

- комплектация I – лёгкое жидкое топливо;
- комплектация II – природный газ;

#### 1.3.1 Устройство котла

Котел представляет собой горизонтальную цилиндрическую конструкцию (рисунок 1 и 2), включающую корпус, дверцу топки, короб дымовых газов, опору, теплоизоляцию и декоративную облицовку. На верхней образующей корпуса расположены патрубки подвода и отвода воды с фланцами, два патрубка для установки предохранительных клапанов и серьги для подъема котла. С нижней части корпуса отводится дренажная труба с наружной резьбой на конце G1-B. К патрубку, отводящему подогретую воду от котла, с помощью фланцевого соединения крепится коллектор с гнездами G1/2-B для датчиков термостата и термоманометра и запасными гнездами для установки измерителя уровня воды в котле.

Корпус выполнен из качественной углеродистой стали, и состоит из двух соосных обечаяк: внутренней (жаровой трубы) и наружной, соединенных между собой в передней части плоским кольцом с отверстиями для труб. С задней стороны каждая обечайка закрыта своим приварным днищем с просветом между ними. Днища скреплены друг с другом анкерами. В кольцевом пространстве между обечайками расположены дымогарные трубы конвективного пучка.

Полость внутренней обечайки корпуса образует топочную камеру тупикового (карманного) типа. Движение дымовых газов в топке реверсное. Дымовые газы возвращаются к дверце, проходят внутри дымогарных труб, в которых установлены завихрители, и поступают в короб дымовых газов, откуда через патрубков выводятся в дымовую трубу.

С передней стороны корпуса на специальных петлях подвешивается дверца топки. Петли обеспечивают открытие дверцы как налево, так и направо, а также возможность надежной затяжки уплотнения. Со стороны топки

дверца защищена изоляцией из муллитокремнеземистого волокна. На периферии дверцы образована канавка, в которую укладывается уплотнительный шнур. С помощью шпилек дверца подтягивается к переднему торцу корпусной обечайки, так что торец обечайки вдавливается в уплотнительный шнур. На дверце приварен опорный фланец для крепления горелки. Дверца оборудована гляделкой, к которой может подводиться воздух от горелки для уменьшения загрязнения стекла.

К заднему торцу наружной обечайки корпуса на 4 шпильках крепится дымовой короб, имеющий на периферии уплотнение, аналогичное уплотнению дверцы топки. Короб представляет собой коробчатую конструкцию с теплоизоляцией из минеральной ваты. В верхней части короба расположен дымовой патрубок с гнездом G1/2-B для установки термометра и штуцер для подключения тягонапоромера. В нижней части короба расположен лючок для удаления загрязнений при чистке дымовых труб. С нижней образующей короба патрубком G1/2-B осуществляется дренаж конденсата, образующегося при разогреве воды отопительного контура.

### 1.3.2 Характеристика топлива

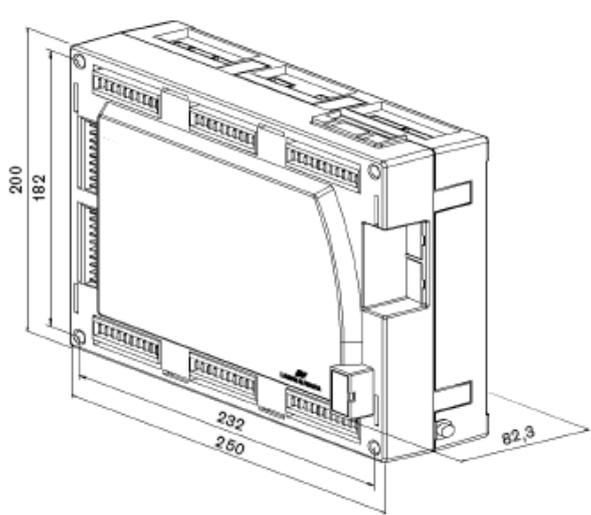
Котельная работает на природном газе - ГОСТ 5542-87;  $Q_H = 8010$  ккал/м .

Состав газа: метан  $CH_4$  - 96,09%; этан  $C_2H_6$  - 0,89%; пропан  $C_3H_8$  - 0,22%; углекислый газ  $CO_2$  - 0,01%; азот  $N_2$  - 0,77% и - бутан  $C_4H_{10}$  - 0,01%. Плотность - 0,68 г/м . На котлах 1,86 Г установлены горелки ГТВ-МПП-200.

Таблица 1 – технические параметры горелки

Наименование		G9/GL9/RGL9		
Двигатель горелки 3- 230/400 В	тип	-		
Двигатель горелки 3- 400 В Δ	тип	D132/120-2a		
Номинальная мощность		6,5		
Потребление тока при 230/400 В	A	-		
Потребление тока при 400 В	A	13,5		
Предохранитель двигателя		36 (25) Ⓢ		
Скорость вращения	1/мин	2900		
Вентиляторное колесо		зелёное		
Трансформатор зажигания	B	2 x 7.000		
Автомат горения для				
- плавно-двухступенчатых,				
- плавно-трёхступенчатых и модулируемых горелок G, GL и RGL	тип	LFL 1.322		
Сервопривод для работе на газе				
- плавно-двухступен. Z	(8 с)	тип	-	
- плавно-двухступен. ZM	(20 с)	тип	SQM 10.15562	
- модулируем.	(42 с)	тип	SQM 10.16562	
Насос установленный (только на комбинированных горелках)		GL	тип	J7 Ⓢ
		RGL	тип	TA3
Ж/т магнитные клапаны		GL	тип	121 K 6220
	230B 1/8"		тип	121 K 2421
	115B 1/4"	RGL	тип	-
	115B 1/8"		тип	-
	115B 3/8" (подача)		тип	321 H 2322
	115B 3/8" (возврат)		тип	121 G 2320
	230B 1/8"		тип	121 K 2423
	230B 1/8"		тип	122 K 9321
Реле давления топлива 1-10 бар		RGL	тип	900.2378 или DSA 46 F001
Топливные шланги DN/длина			DN/мм	13/1000 (GL) 20/1000 (RGL)
Вес				
газовой горелки (без арматуры)		прим. кг	130	
комбинированной горелки (без арматуры)		прим. кг	136	

Таблица 2 – технические характеристики менеджера горения

Напряжение в сети	AC 230 В –15 % / + 10 %	<b>Условия окружающей среды для всех компонентов:</b>	
Трансформатор	AGG5, 220	• Транспортировка	IEC 721-3-2
- первичный	AC 230 В	- климатические условия	класс 2K2
- вторичный	AC 12 В	- температурный диапазон	-20...+70°C
	2 x AC 12 В	- влажность	отн. влажн. <95%
Частота в сети	50...60 Гц ±6 %	• Эксплуатация	IEC 721-3-3
Потребляемая мощность, тип..	<30 Вт	- климатические условия	класс 3K5
Тип защиты корпуса	IP00, IEC 529	- температурный диапазон	-20...+60°C
Класс защиты I с частями согласно II и III в соответствии с IEC 730-1		- влажность	отн. влажн. <95%
Предохранитель сети (внешний)	16 АТ	• Механические условия	класс 2M2
Предохранитель устройства (внутренний)	6,3 АТ (IEC 127 2 / 5)	<b>Роса, обледенение, воздействие воды</b>	<b>недопустимо</b>
Входящий ток электропитания	в зависимости от конкретного состояния установки	Сертификат CE	В соответствии с нормативами ЕС
			Электромагнитная совместимость
			EMV 89 / 336 EWG, включая 92 / 31 EWG
<b>Нагрузка отдельных контактов</b>		Создание помех	согласно EN 55022
Номинальное напряжение	AC 230 В + 10% / -15%, 50-60 Гц	Помехоустойчивость	согласно IEC 1000-4-3
- Контакт горелки	макс. 1 А		
- Трансформатор зажигания	1 А		
- Газовые клапаны	2 А		
- Клапаны для жидкого топлива	1 А		
- Жидкотопливный насос / магнитный клапан	макс. 2 А		
- Клапан проверки LP	макс. 0,5 А		
- Выход тревожного сигнала	1 А		
Коэффициент мощности	cosφ > 0,4		
Информационные входы	Входные токи/напряжения		
UeMax	UN + 10%		
UeMin	UN – 10%		
IeMax	1,5 mA peak		
IeMin	0,7 mA peak		
Суммарная нагрузка контактов	Цель безопасности		
Номинальное напряжение	AC 230 В + 10% / -15%, 50-60 Гц		
Входной ток устройства	макс. 5 А		
Длина проводки	макс. 100 м (100 пф/м)		
Общая длина шины CAN	макс. 100 м		
Специальный кабель (шина CAN -Bus)	Weishaupt № 743 192		
Сечение проводки	мин. 0,75 мм (большее сечение согласно VDE 0100)		
Выбирать сечение проводки электропитания (L, N, PE) и цепи безопасности (STB, недостаток воды и т.д.) для номинальных токов необходимо в соответствии с имеющимся внешним предохранителем.			
Сечение другой проводки выбирается в соответствии с внутренним предохранителем устройства (макс. 6,3 АТ).			
Внутренние предохранители			
F1	6,3 АТ (IEC 127 2 / 5)		
F2	4 АТ (IEC 127 2 / 5)		
F3	4 АТ (IEC 127 2 / 5)		
Питающий трансформатор			
Если W-FM 100 монтируется в шкаф управления, то на горелке необходимо установить питающий трансформатор для сервоприводов.			
		<b>Расположение штекеров на корпусе</b>	
			

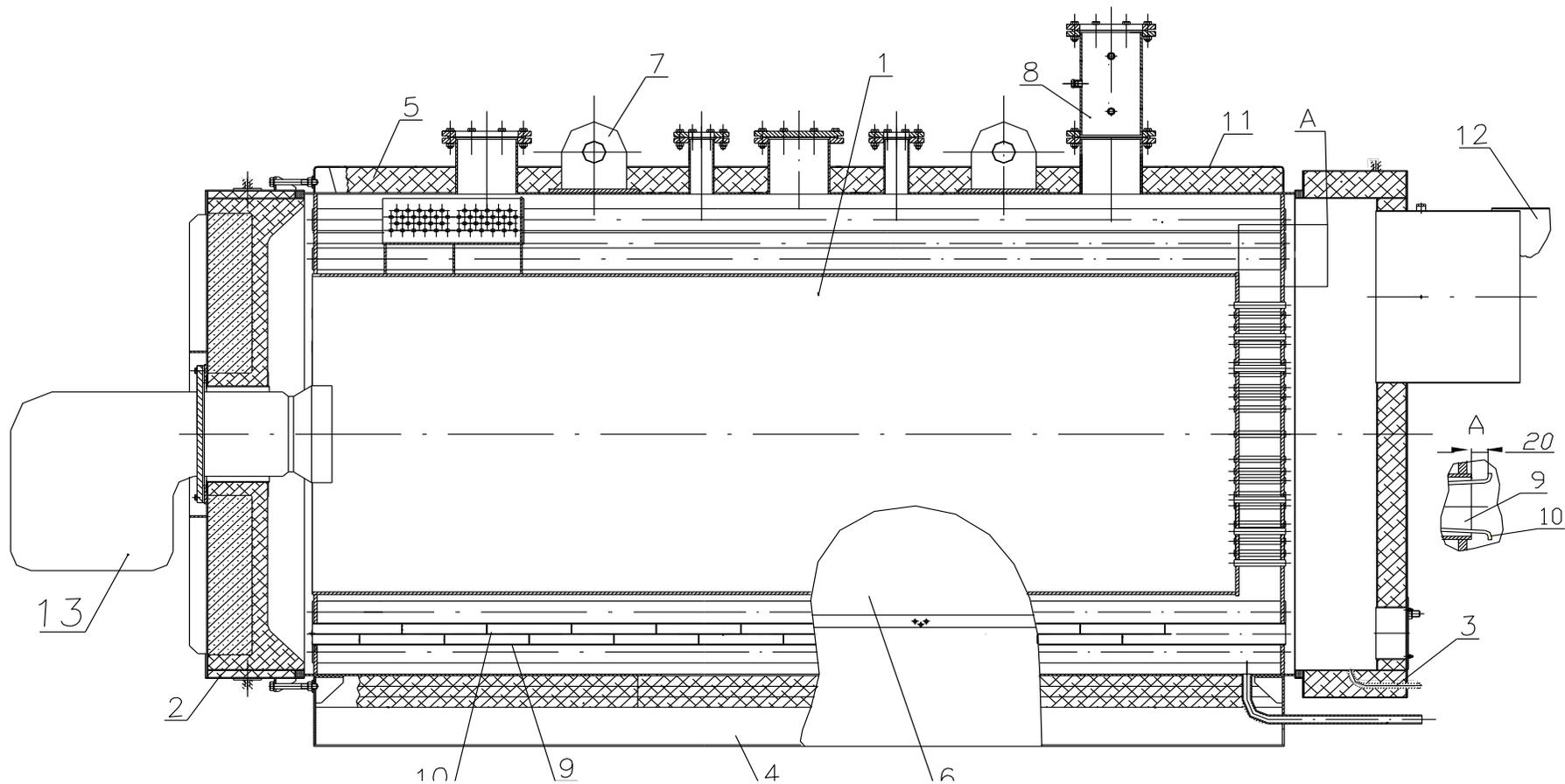


Рисунок 7 – Устройство котла ЗАОСИБ-2000

1-корпус; 2-дверца топки; 3-короб дымовых газов; 4-опора; 5-теплоизоляция; 6-облицовка; 7-строповая серьга; 8-коллектор; 9-дымогарные трубы; 10-завихрители; 11-настил; 12-переходник; 13-горелка.

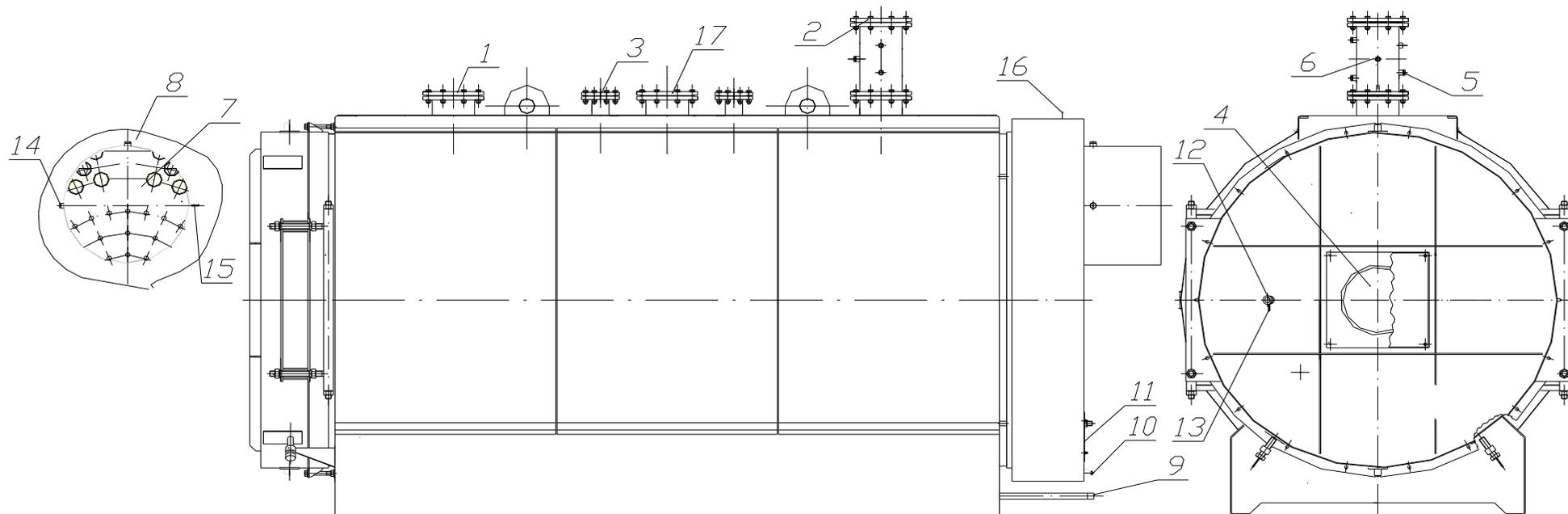


Рисунок 8 – Штуцеры и патрубки котла

1-вход воды Ду200; 2-выход воды Ду200; 3-установка предохранительного клапана Ду80; 4-гнездо под горелку Ду360; 5-установка термостата G1/2; 6-установка термоманометра G1/2; 7-выход дымовых газов Ду650; 8-контроль температуры дымовых газов G 3/4; 9-дренаж воды G1; 10-дренаж конденсата из короба дымовых газов G1/2; 11-лючок для удаления продуктов чистки от нагара; 12-гляделка G1 1/4; 13-подвод воздуха в гляделку от горелки M6; 14-контроль химсостава дымовых газов G1/2; 15-отвод к прессостату; 16-установка рым-болтов M16 для транспортировки дверцы или короба; 17-патрубок для осмотра поверхности нагрева, Ду 200.

## **1.4 Описание дымососа ДН-6,3-1500 в составе котельной**

### **1.4.1 Назначение и область применения**

Дымососы центробежные одностороннего всасывания типа ДН производства ОАО "БКЗ" предназначены для отвода дымовых газов.

Исполнение: температура окружающего воздуха не ниже  $-40$  и не выше  $+45^{\circ}\text{C}$ ; максимальная допустимая температура перемещаемых газов (дымовых) на входе в дымосос не должна превышать  $+200^{\circ}\text{C}$ .

### **1.4.2 Краткое описание конструкции**

Центробежные дымососы изготавливаются двух исполнений: левого и правого вращения. Левым считается вращение рабочих колес против направления движения часовой стрелки, если смотреть на дымосос со стороны электродвигателя; соответственно, правым считается обратное направление вращения.

Основными узлами дымососа являются рабочее колесо, улитка, всасывающая воронка, осевой направляющий аппарат и постамент. Рабочие колеса дымососов состоят из крыльчатки и ступицы. Крыльчатка представляет собой сварную конструкцию, состоит из 16 листовых загнутых назад лопаток, расположенных между основными и коническими покрывающими дисками. Лопатки и покрывающий диск - штампованные.

Дымососы выполняются без автономной ходовой части с непосредственной посадкой на вал электродвигателя-привода. С целью предотвращения перегрева подшипников электродвигателей, расположенных со стороны рабочих колес (передних подшипников), посадочная поверхность ступиц рабочих колес выполняется шлицевыми пазами.

Улитки дымососов - сварные из листовой стали. Для создания необходимой жесткости торцевые стенки улиток усиливаются оребрением из полос. Выем ротора дымососов (электродвигатель-привод с насаженным рабочим колесом) осуществляется через отверстие в торцевой стенке улиток, расположенной между рабочим колесом и электродвигателем.

Дымососы поставляются заказчику с углом поворота улиток  $180^{\circ}$ ; на экспорт —  $0$ ;  $90$ ;  $180$  и  $270^{\circ}$ . В случае необходимости допускается установка улиток с любыми углами разворота от  $0$  до  $270^{\circ}$  через каждые  $15^{\circ}$ .

Всасывающие воронки дымососов представляют собой сварную конструкцию, состоящую из цилиндрического корпуса, конфузора, выполненного в виде усеченного конуса, и уплотнительного кольца. Регулирование производительности и полного давления, развиваемого дымососами, осуществляется осевыми направляющими аппаратами или всасывающим карманом с шиберным устройством.

Осевые направляющие аппараты дымососов состоят из сварного корпуса с четырьмя опорными роликами, по которым перемещается поворотное кольцо; восьми листовых лопаток, соединенных с поворотным кольцом рычажной системой, и обтекателя, укрепленного по оси корпуса четырьмя спи-

цами. Лопатки направляющих аппаратов могут синхронно поворачиваться в направлении вращения рабочих колес от 0 до -90°. Привод лопаток направляющих аппаратов осуществляется вручную или от электроисполнительного механизма.

Постаменты дымососов отливаются из чугуна и служат общим несущим элементом. На постаментах с помощью болтовых соединений в единый поставленный блок монтируются улитка в сборе с осевым направляющим аппаратом и электродвигатель с насаженным на его вал рабочим колесом. Постаменты притягиваются к общему фундаменту фундаментными болтами.

Схема управления дымососом представлена на рисунке 9.

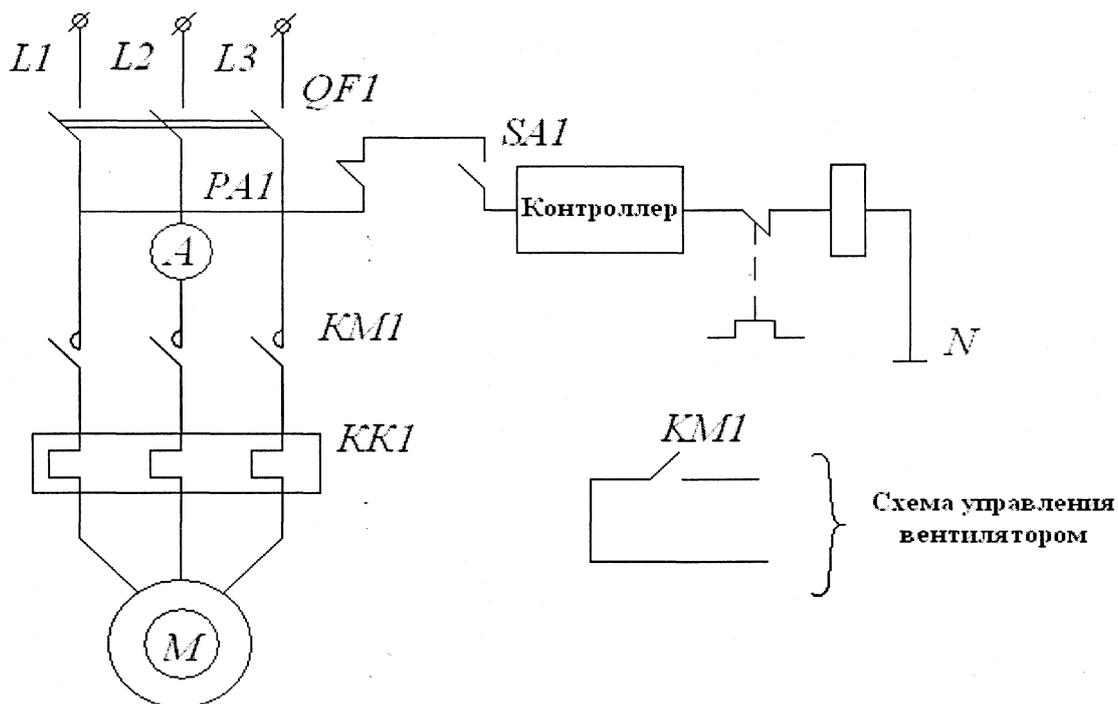


Рисунок 9 - Схема электрическая управления дымососом

Технические параметры дымососа:

- производительность 5102 м<sup>3</sup>/ч;
- давление 880 Па;
- приводной двигатель 4А112М4У3 (5,5 кВт);
- масса 370 кг; длина 1150 мм; ширина 1240 мм; высота 1175 мм.

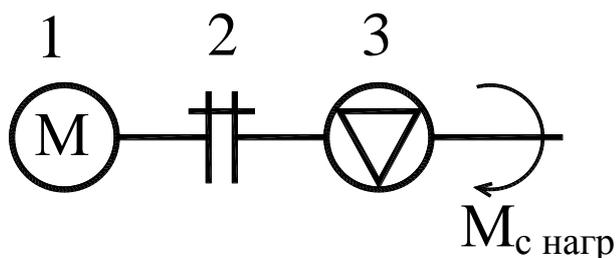


Рисунок 10 – Кинематическая схема механизма  
1 – электродвигатель (М), 2 – муфта, 3 – дымосос.

## 1.5 Процесс водоподготовки

Для обработки подпиточной воды системы теплоснабжения, ингибиторами отложений карбонатов кальция и магния и ингибиторами коррозии в котельной используется автоматическая система дозирования реагентов (АСДР) "КОМПЛЕКСОН-6". Ингибирующее действие КОМПЛЕКСОНОВ основано на их избирательной адсорбции, на активных центрах зарождающихся кристаллов накипи, что не только препятствует росту новых кристаллов, но и при определенных условиях разрушает старые.



Рисунок 11 – Система дозирования реагентов "КОМПЛЕКСОН-6"

## 1.6 Дымовая труба

В дымовых газах при работе котлов на природном газе содержатся вредные вещества  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ . Мероприятиями по охране атмосферы предусмотрены снижение концентрации вредных веществ в приземном слое путем рассеивания дымовых газов на высоте 18м с помощью дымовой трубы.

Величины выбросов определены по "Методическим указаниям по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/ч, Гидрометиздат-1985г. Выбросы составляют:

NO <sub>2</sub>	г/с	0,3948
	т/год	3,4481
CO	г/с	4,3655
	т/год	9,5312

## 1.7 Электроснабжение

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники относятся ко 2-й категории, согласно ПУЭ и запитывается от 2-х источников питания (КТП 2 x 400 кВА).

Питание электроприемников котельной на напряжение 380/220В предусматривается от распределительной сети (шкаф 1ШП)

## 1.8 Функциональные схемы

### Структура комплекса технических средств горелки Weishaupt

#### Менеджер горения Weishaupt W-FM 100

Менеджер горения позволяет производить наиболее оптимальный ввод горелки в эксплуатацию с использованием цифровых параметров. Серводвигатели управляют следующими исполнительными органами горелки:

- воздушная заслонка
- газовый дроссель
- регулятор жидкого топлива
- регулировочная гильза



**ВНИМАНИЕ!** *Примечание переводчика:* Команды на дисплее БУИ (АВЕ) реализованы на немецком языке.

Для удобства специалистов, использующих указанные приборы и данное техническое описание к ним, в тексте приводятся переводы команд и командных меню следующим образом:

1. В виде стрелки от изображения интерфейса к переводу.
2. В виде строки по-русски мелким шрифтом под немецким сообщением.
3. В виде дополнительной схемы, в которой повторяется структура немецких команд по-русски.

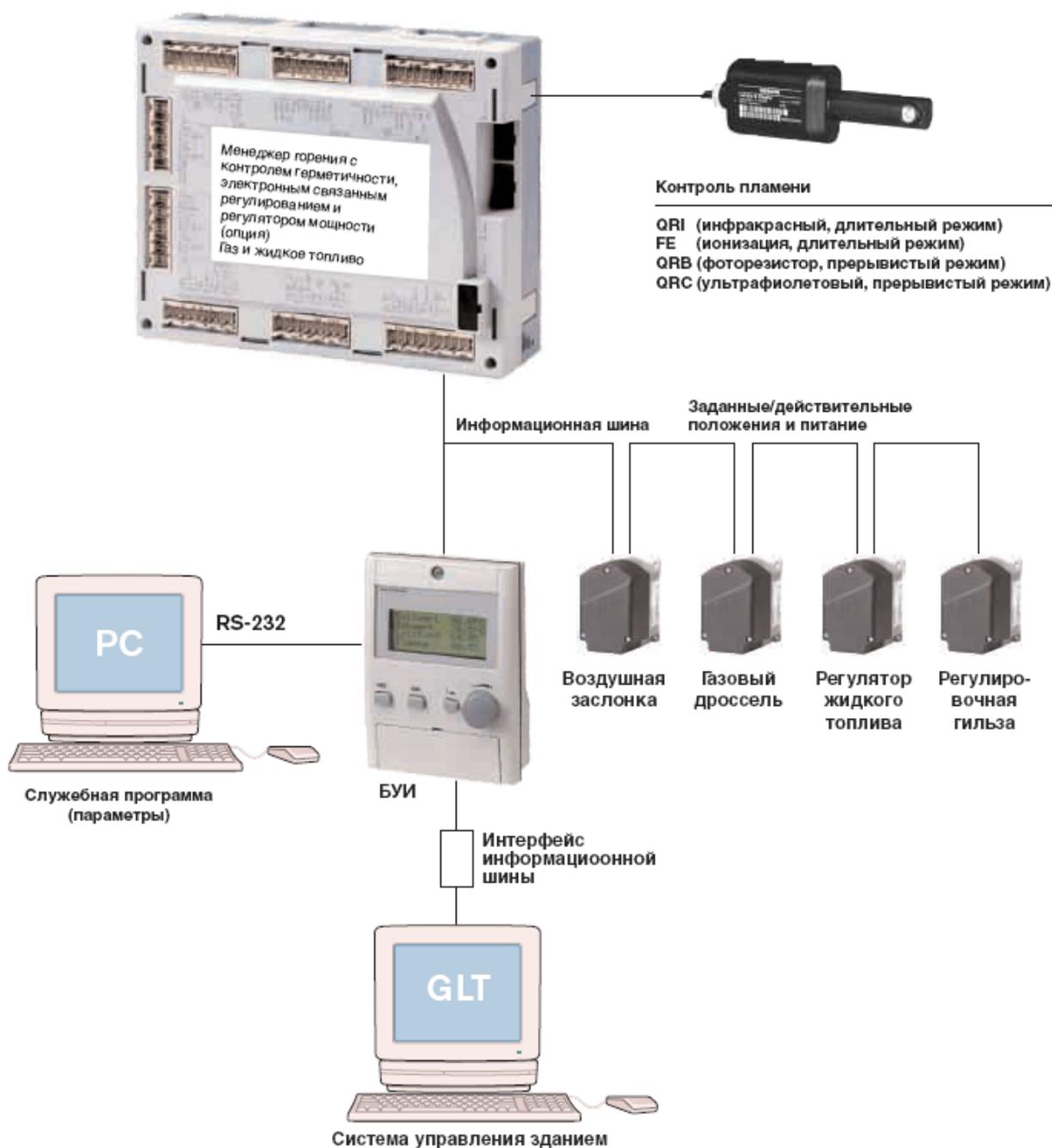


Рисунок 12 – Структурная схема комплекса технических средств

Система автоматизации котлов выполнена на базе менеджера горения типа Weishaupt W-FM 100, который

- Управляет всеми стадиями работы горелки
- Контролирует пламя
- Управляет работой сервопривода
- Управляет частотным преобразователем дымососа
- Проводит контроль герметичности газовых клапанов
- Имеет встроенный регулятор мощности

Внешний вид менеджера горения представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Внешний вид менеджера горения

Технические данные менеджера горения в таблице 2

На рисунке 14 представлена функциональная схема системы управления котлоагрегата ЗАОСИБ-2000.

На схеме представлены:

- Менеджер горения, состоящий из микропроцессора (ПМ), аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей, блока питания (БП), преобразователя интерфейса (ИМК) и пульта местного управления (ПМУ);
- Danfos VLT 2855 RT4 - Преобразователь частоты, в состав которого входят: инвертор (И), выпрямитель, программируемый микропроцессор (ПМ) с аналоговыми и дискретными входами, жидкокристаллический дисплей с клавиатурой, датчики тока (ДТ1, ДТ2);
- ПК - персональный компьютер с принтером;
- Асинхронный двигатель серии 4A112M4У3 в составе дымососа ДН-6,3-1500;
- Водогрейный котлоагрегат ЗАОСИБ-2000, в состав которого входит измерительный преобразователь давления (ИПД), запорная арматура для подачи топлива.

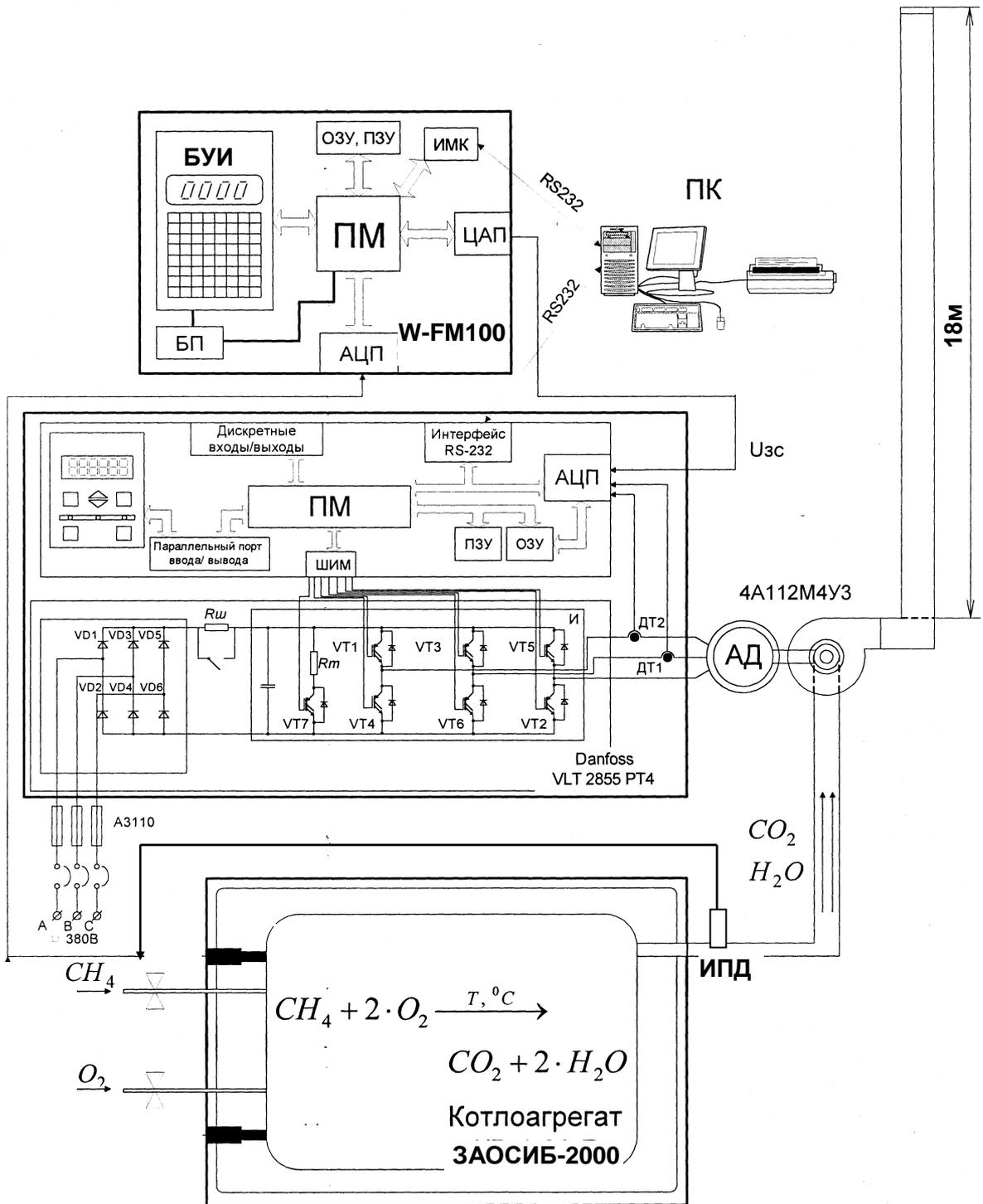


Рисунок 14 – Функциональная схема котлоагрегата ЗАОСИБ-2000

## 2 ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПЧ-АД

### 2.1 Расчет параметров и характеристик асинхронного электродвигателя

#### 2.1.1 Паспортные данные электродвигателя

Паспортные данные электродвигателя приведены в таблице 3 [4].

Таблица 3 - Паспортные данные электродвигателя 4А112М4У3

$P_H$ , кВт	$s$ , %	$\eta$ , %	$\cos\varphi$ , о.е.	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$ , о.е.	$\frac{M_{II}}{M_H}$ , о.е.	$\frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$ , о.е.	$\frac{I_{II}}{I_H}$ , о.е.	$n_0$ , об/мин	$J$ , кг·м <sup>2</sup>
5,5	5	85,5	0,85	2,2	2	1,6	7	1500	0,0306

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.ном}} = \frac{9550 \cdot P_{2H}}{n_0 \cdot (1 - s_H)} = \frac{9550 \cdot 5,5}{1500 \cdot (1 - 0,05)} = 36,86 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

#### 2.1.2 Расчет и построение электромеханической характеристики

На рисунке 15 представлена Т-образная схема замещения асинхронного двигателя серии 4А112М4У3.

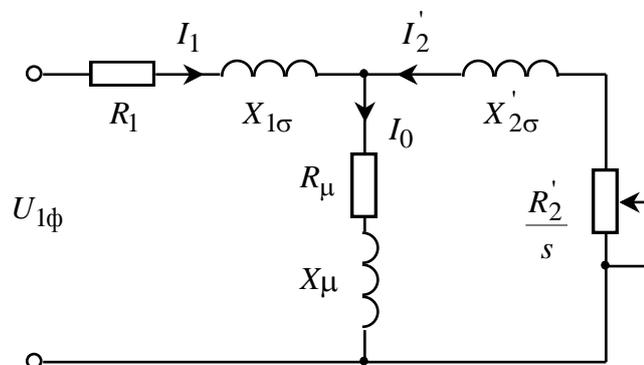


Рисунок 15 – Схема замещения асинхронного двигателя

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{IH} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{8,96^2 - [0,75 \cdot 11,47 \cdot (1 - 0,05) / (1 - 0,75 \cdot 0,05)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,05) / (1 - 0,75 \cdot 0,05)]^2}} = 4,26 \text{ А},$$

где  $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0.85 \cdot 0.855} = 11.47 \text{ А}$  - номинальный ток

статора двигателя;

$s_H = 0.05$  о.е. - номинальное скольжение;

$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0.75 \cdot 5500}{3 \cdot 220 \cdot 0.816 \cdot 0.855} = 8.96 \text{ А}$  - ток статора дви-

гателя при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p_*} = 0.96 \cdot \cos \varphi_H = 0.96 \cdot 0.85 = 0.816$  - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p_*} = \eta_H = 0.855$  - КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_H = 0.75$  - коэффициент загрузки двигателя.

Из формулы Клосса соотношение для расчета критического скольжения находим

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

$$= 0.02 \cdot \frac{2.2 + \sqrt{(2.2)^2 - [1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 \cdot (2.2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 \cdot (2.2 - 1)} = 0.238.$$

Определим коэффициент  $A_1$

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

$$= 3 \cdot 220^2 (1 - 0.05) / (2 \cdot 1.027 \cdot 2.2 \cdot 5500) = 5.553,$$

где  $C_1 = 1 + (I_0 / (2 \cdot k_i \cdot I_{1H})) = 1 + (4.26 / (2 \cdot 7 \cdot 11.47)) = 1.027$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1 / s_k) C_1 = 5.553 / (1 + 1 / 0.238) \cdot 1.027 = 1.04 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление статорной обмотки

$$R_1 = C_1 R_2' \beta = 1.027 \cdot 2.286 \cdot 1 = 1.068 \text{ Ом}$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{\text{кн}}$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0.238^2) - 1^2} = 4.081.$$

Тогда  $X_{кн} = \gamma C_1 R_2' = 4.081 \cdot 1.027 \cdot 1.04 = 4.356 \text{ Ом}$ .

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной

$$X_{2Н}' = 0.58 X_{кн} / C_1 = 0.58 \cdot 4.356 / 1.027 = 2.461 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки

$$X_{1Н} = 0.42 X_{кн} = 0.42 \cdot 4.356 = 1.83 \text{ Ом}$$

По найденным значениям переменных  $C_1$ ,  $R_2'$ ,  $R_1$  и  $X_{кн}$  определим критическое скольжение

$$s_k = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1.027 \cdot 1.04}{\pm \sqrt{1.068^2 + 4.356^2}} = 0.238$$

Это значение и рассчитанное ранее значение критического скольжения  $s_k$  равны.

Э.Д.С. ветви намагничивания  $E_1$

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1Н} - R_1 I_{1Н})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1Н} + X_1 I_{1Н})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.85 - 1.068 \cdot 11.47)^2 + (220 \cdot 0.527 + 1.83 \cdot 11.47)^2} = 221.986 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\muН} = E_1 / I_0 = 221.986 / 4.26 = 52.116 \text{ Ом}$$

Уравнение, определяющее зависимость приведенного тока ротора от скольжения, для расчета естественной электромеханической характеристики

$$\begin{aligned} I_2'(s) &= \frac{U_{1Н}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\muН}}\right)^2}} = \\ &= \frac{220}{\sqrt{(1.068 + 1.04/s)^2 + 4.356^2 + \left(\frac{1.068 \cdot 1.04}{s \cdot 52.116}\right)^2}}; \end{aligned}$$

По вышеприведенному уравнению рассчитываем электромеханическую характеристику.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя  $I_0$  реактивным ( $I_{0A}=0$ ), ток статора  $I_1$  через приведенный ток ротора  $I_2'$  можно найти по формуле

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = \sqrt{4.26^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 4.26 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{x_{\text{КН}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{КН}}^2}} = \frac{4.356}{\sqrt{(1.068 + \frac{1.04}{s})^2 + 4.356^2}}.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 4.

Таблица 4 - Результаты расчета электромеханических характеристик

s, о.е	0	0.05	0.5	0.75	1.0
$\omega_1$ , рад/с	157.1	149.2	78.5	39.27	0
$I_2'$ , А	0	9.86	40.9	44	45.5
$I_1$ , А	4.3	11.4	44.3	47.6	49.16

По данным таблицы 4 строим электромеханические характеристики (рисунок 16).

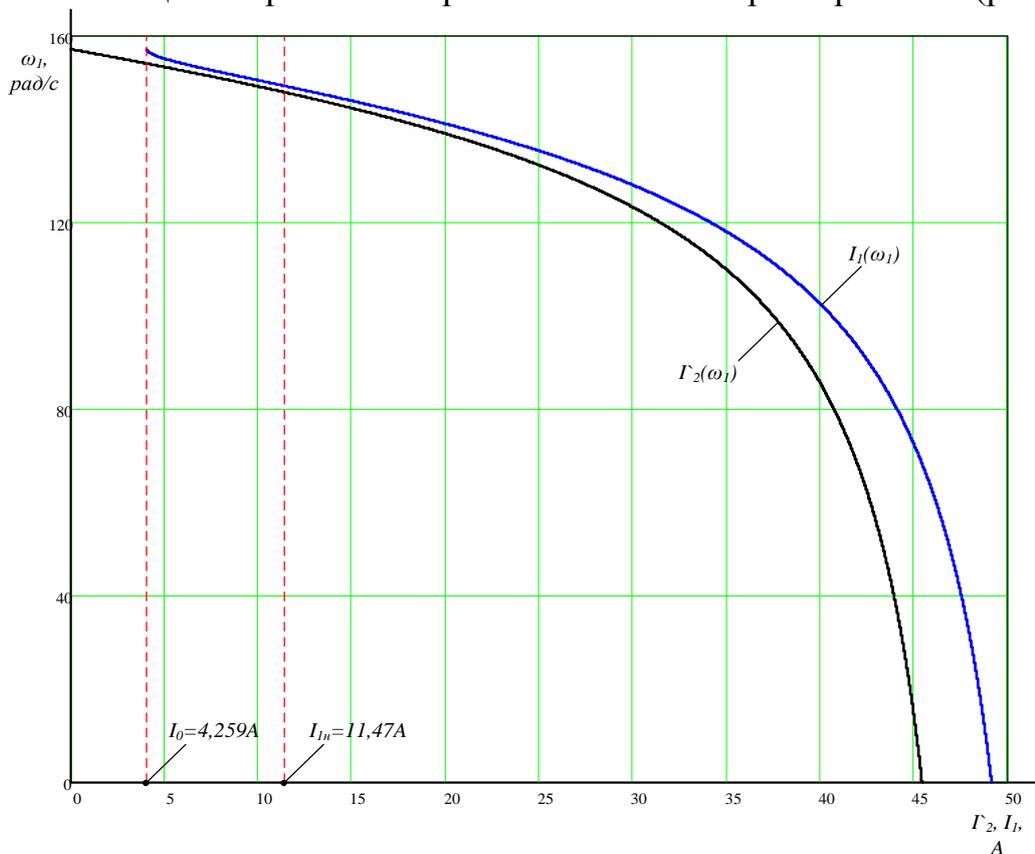


Рисунок 16 - Естественные электромеханические характеристики АД серии 4А112М4У3

### 2.1.3 Расчет и построение механической характеристики

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим выражением

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{\text{IH}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 s \cdot \left[ X_{\text{KH}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu\text{H}}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2.286}{157.1 \cdot s \cdot \left[ 4.356^2 + \left( 1.068 + \frac{1.04}{s} \right)^2 + \left( \frac{1.068 \cdot 1.04}{s \cdot 52.113} \right)^2 \right]}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 5.

Таблица 5 - Результаты расчета механической характеристики

s, o.e	0	0.05	0.5	0.75	1.0
$\omega_1$ , рад/с	157.1	149.2	78.5	39.27	0
M, Нм	0	38.66	66.57	51.28	41.06

По данным таблицы 5 строим механическую характеристику.

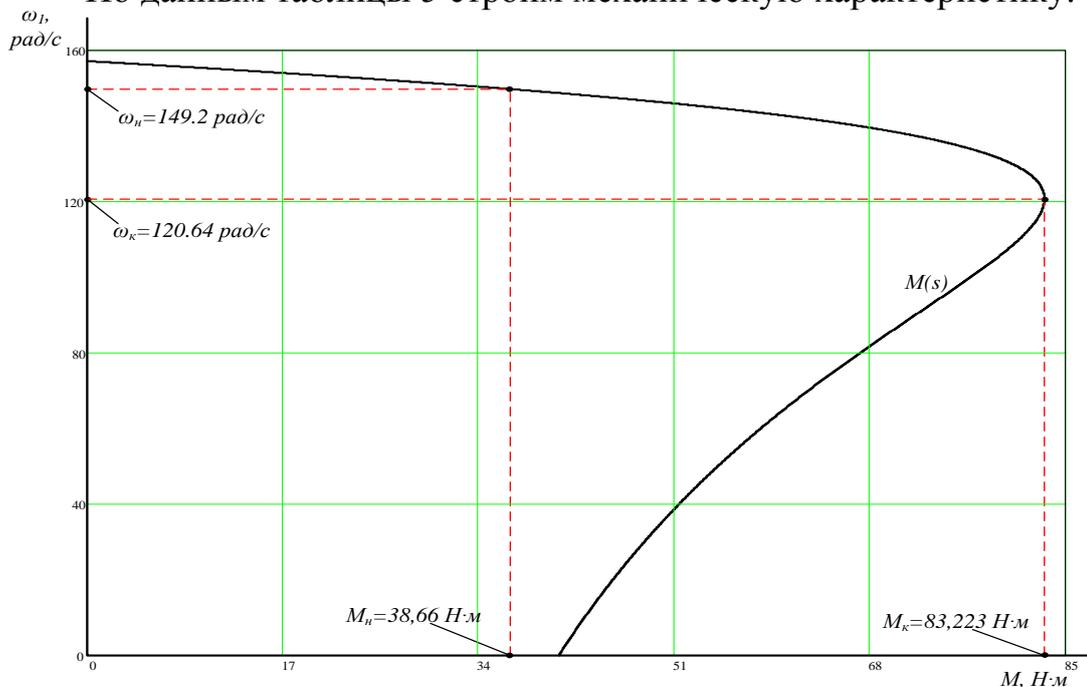


Рисунок 17 - Естественная механическая характеристика АД серии 4A112M4У3

## Номинальный электромагнитный момент двигателя

$$M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{ф.н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S_{\text{н}} \left( X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{S_{\text{н}}} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{S_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right)} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2.286}{157.1 \cdot 0.05 \cdot \left[ 4.356^2 + \left( 1.068 + \frac{1.04}{0.05} \right)^2 + \left( \frac{1.068 \cdot 1.04}{0.05 \cdot 52.113} \right)^2 \right]} = 38.66 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент от сил трения на валу двигателя

$$M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}} = 38,66 - 36,86 = 1,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

### **Оценка достоверности рассчитанных характеристик двигателя**

Согласно паспортным данным (таблица 3)

$$M_{\text{дв.н}} = 36,86;$$

$$M_{\text{дв.макс}} = K_{\text{макс}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,2 \cdot 36,86 = 81,092 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{дв.пуск}} = K_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2 \cdot 36,86 = 73,72 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{дв.мин}} = K_{\text{мин}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,6 \cdot 36,86 = 58,98 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$I_{1\text{макс}} = K_i \cdot I_{1\text{н}} = 7 \cdot 11,47 = 80,29 \text{ А}.$$

В результате расчёта естественных характеристик двигателя получены следующие параметры для их характерных точек:

$$S_{\text{н}} = 5\%; \quad S_{\text{к}} = 0,238; \quad I_{1\text{н}} = 11,4 \text{ А}; \quad I_{1\text{макс}} = 49,16 \text{ А}; \quad I_{1\text{макс}} / I_{1\text{н}} = 4,32;$$

$$M_{\text{эм.н}} = 38,66 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{эм.макс}} = 83,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{эм.макс}} / M_{\text{эм.н}} = 2,15;$$

$$M_{\text{эм.пуск}} = 41,06 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{эм.пуск}} / M_{\text{эм.н}} = 1,06.$$

Из сравнения рассчитанных параметров характеристик со справочными данными следует, что рассчитанные характеристики с допустимой погрешностью (менее 10%) совпадают только на рабочем участке характеристик ( $0 < s < s_{\text{к}}$ ).

## 2.2 Расчет момента инерции дымососа

Момент инерции дымососа рассчитываем по формуле

$$J_{\text{дм}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р.к}}, \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

где  $J_{\text{дв}}$  - момент инерции двигателя,  $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ ;  $J_{\text{р.к}}$  - момент инерции рабочего колеса,  $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ .

Момент инерции рабочего колеса вентилятора можно приблизительно посчитать как момент инерции цилиндра [8]

$$J_{\text{р.к}} = \frac{m_{\text{р.к}}}{12} \cdot (3 \cdot R_{\text{р.к}}^2 + h^2), \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2},$$

где  $m_{\text{р.к}} = V_{\text{р.к}} \cdot \rho_{\text{ст}}$ , кг - масса рабочего колеса, кг;

$R_{\text{р.к}}$  - радиус рабочего колеса, м;

$h$  - ширина рабочего колеса, м.

Масса рабочего колеса

Найдем объем рабочего колеса

$$V_{\text{р.к}} = V_{\text{к.д}} + 16 \cdot V_{\text{л}} + V_{\text{о.д}} + V_{\text{ступ}},$$

где  $V_{\text{к.д}}$  - объем конического диска, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{л}}$  - объем лопатки крыльчатки, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{о.д}}$  - объем основного диска, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{ступ}}$  - объем ступицы, м<sup>3</sup>.

Для упрощения расчета примем толщину всех частей рабочего колеса

$h = 2\text{мм}$ .

На рисунке 18 представлено рабочее колесо дымососа. Все основные размеры взяты из [ 10, ПРИЛОЖЕНИЕ к рис. I.13].

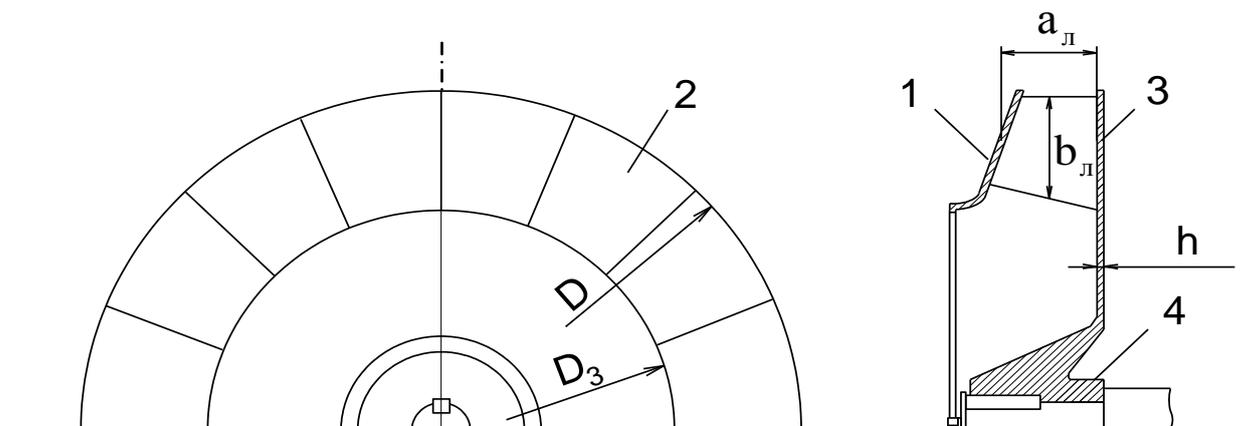


Рисунок 18 – Рабочее колесо дымососа ДН-6,3-1500: 1 – конический диск; 2 – лопатки крыльчатки; 3 – основной диск; 4 – ступица

Габаритные размеры:  $D = 630\text{мм}$  – внешний диаметр рабочего колеса;  $D_3 = 530\text{мм}$  – внутренний диаметр рабочего колеса;  $h = 2\text{мм}$  – толщина стали рабочего колеса;  $a_{\text{л}} = 30\text{мм}$  и  $b_{\text{л}} = 30\text{мм}$  - средняя длина и ширина лопатки крыльчатки.

Найдем объем конического диска. Приближено его объем – это объем цилиндра

$$V_{\text{к.д}} = \pi \cdot R^2 \cdot h = \pi \cdot 50 \cdot 2 = 15700\text{мм}^3,$$

$$\text{где } R = R_{\text{к}} - R_3 = 315 - 265 = 50\text{мм};$$

$$R_{\text{к}} = \frac{D}{2} = \frac{630}{2} = 315\text{мм};$$

$$R_3 = \frac{D_3}{2} = \frac{530}{2} = 265\text{мм}.$$

Объем лопатки крыльчатки найдем как объем куба

$$V_{\text{л}} = S_{\text{л}} \cdot h = a_{\text{л}} \cdot b_{\text{л}} \cdot h = 30 \cdot 30 \cdot 2 = 1800\text{мм}^3.$$

Объем основного диска

$$V_{\text{о.д}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 630^2}{4} \cdot 2 = 623133 \text{ мм}^3.$$

Объем ступицы принимаем равным нулю, так как ее момент инерции незначителен.

Тогда объем рабочего колеса

$$V_{\text{р.к}} = V_{\text{к.д}} + 16 \cdot V_{\text{л}} + V_{\text{о.д}} + V_{\text{ступ}} = 15700 + 16 \cdot 1800 + 622133 = 667633 \text{ мм}^3.$$

Масса рабочего колеса  $m_{\text{р.к}} = V_{\text{р.к}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 667633 \cdot 10^{-9} \cdot 7,7 \cdot 10^3 = 5,144 \text{ кг}$ .

Таким образом, момент инерции рабочего колеса вентилятора

$$J_{\text{р.к}} = \frac{m_{\text{р.к}}}{12} \cdot (3 \cdot R_{\text{р.к}}^2 + h^2) = \frac{5,144}{12} \cdot (3 \cdot 0,315^2 + 0,002^2) = 0,1276 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

Момент инерции дымососа

$$J_{\text{дм}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р.к}} = 0,0306 + 0,1276 = 0,1582 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

### 2.3 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  $P_{\text{дв}} = 5,5 \text{ кВт}$  и номинальным током  $I_{\text{ном}} = 11,47 \text{ А}$  выбираем преобразователь частоты серии VLT 2855 фирмы Danfoss, имеющий следующие параметры:

- выходной ток  $I_{\text{вых}} = 12 \text{ А}$ ;
- максимальный ток (60 с)  $I_{\text{макс}} = 19,2 \text{ А}$ ;
- полная выходная мощность  $S_{\text{вых}} = 8,3 \text{ кВА}$ ;
- активная номинальная мощность  $P_{\text{вых}} = 5,5 \text{ кВт}$ ;
- выходная частота  $f_1 = 0,2 \div 132 \text{ Гц}$ ;
- разрешение по частоте  $0,013 \text{ Гц}$ ;
- диапазон регулирования скорости вращения (разомкнутая система)  $D=15:1$ ;

- погрешность скорости вращения (разомкнутая система) макс.  $\pm 23$  об/мин;
- максимальное сечение провода  $s_{\text{пров}} = 4 \text{ мм}^2$ .

Контрольные входы и выходы:

- 5 цифровых входов для функций старт/стоп, сброс, подключение термистора и др;
- 2 аналоговых входа для сигналов задания и обратной связи;
- 1 цифровой выход и 1 аналоговый выход;
- 1 релейный выход для сигнализации состояния и ошибок;
- RS-485 для полного контроля и управления приводом.

На рисунке 19 представлен внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2855.

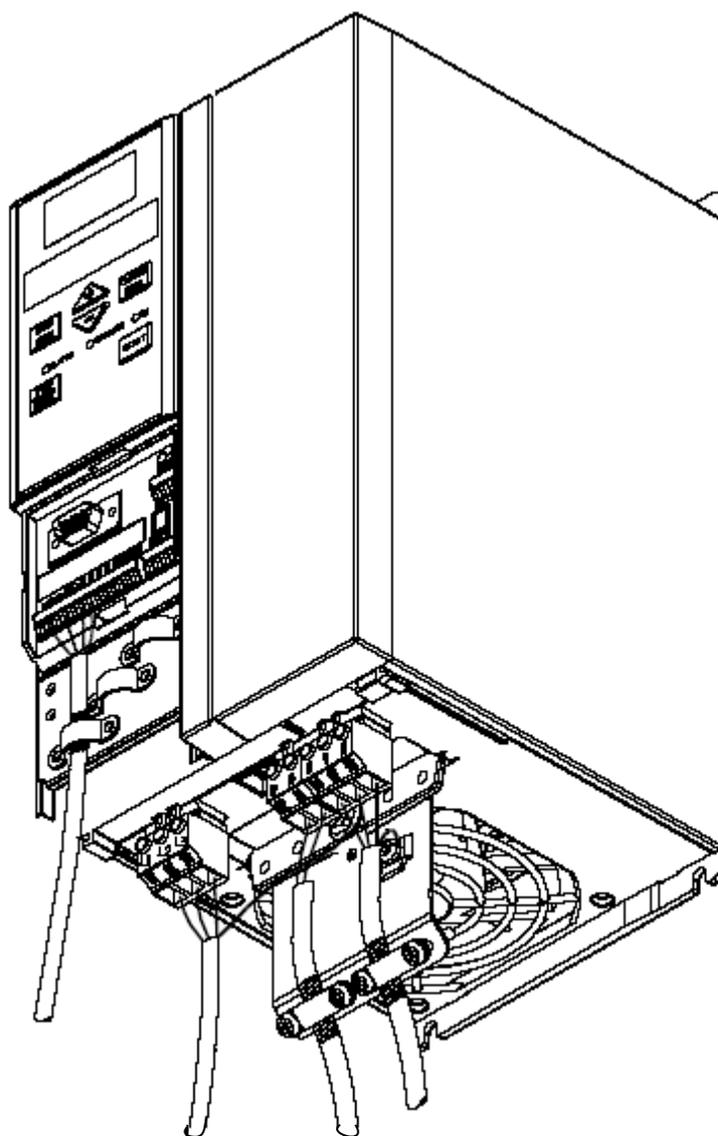


Рисунок 19 - Внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2855

Серия VLT 2800 была разработана для применения с электрическими двигателями небольшой мощности. Модельный ряд представлен мощностями от 0,37 до 18,5 кВт. Преобразователи этой серии имеют малые размеры и допускают монтаж «стенка к стенке». Внутренняя конструкция состоит из двух модулей: силовой части и платы управления.

Преобразователь частоты VLT 2855 PT4 B20 ST RO DB F10 имеет ряд преимуществ:

- Благодаря АМТ - автоматической адаптации к двигателю, которая измеряет параметры двигателя для оптимального управления, повышается КПД системы "преобразователь частоты-двигатель".
- Встроенный ПИД-регулятор осуществляет оптимальное управление процессом регулирования. Точный старт/стоп обеспечивает хорошую повторяемость и точность позиционирования.
- Серия VLT 2800 сконструирована для стабильной работы в промышленных условиях. RFI-фильтр подавляет высокочастотные помехи в питающей сети и позволяет нормально работать оборудованию, предъявляющему дополнительные требования к электромагнитной совместимости.
- Встроенный фильтр подавления гармоник позволяет укладываться в нормы стандарта IEC 61000-3-2.
- Все преобразователи частоты серии VLT 2800 легко использовать благодаря функции "Быстрое меню", которая включает в себя все необходимые параметры для запуска и нормальной работы. Привод также может управляться и программироваться с внешней панели управления, снабженной графическим дисплеем. Протоколы связи Profibus и DeviceNet позволяют полностью контролировать и управлять приводом с персонального компьютера или контроллера.

*Типичные применения:* центробежные насосы и вентиляторы.

Преимущества данного типа преобразователя, а также относительно небольшая стоимость (в пределах 60 тыс. руб.) предопределили его применение в данной работе.

На рисунке 20 представлена схема подключения ПЧ.

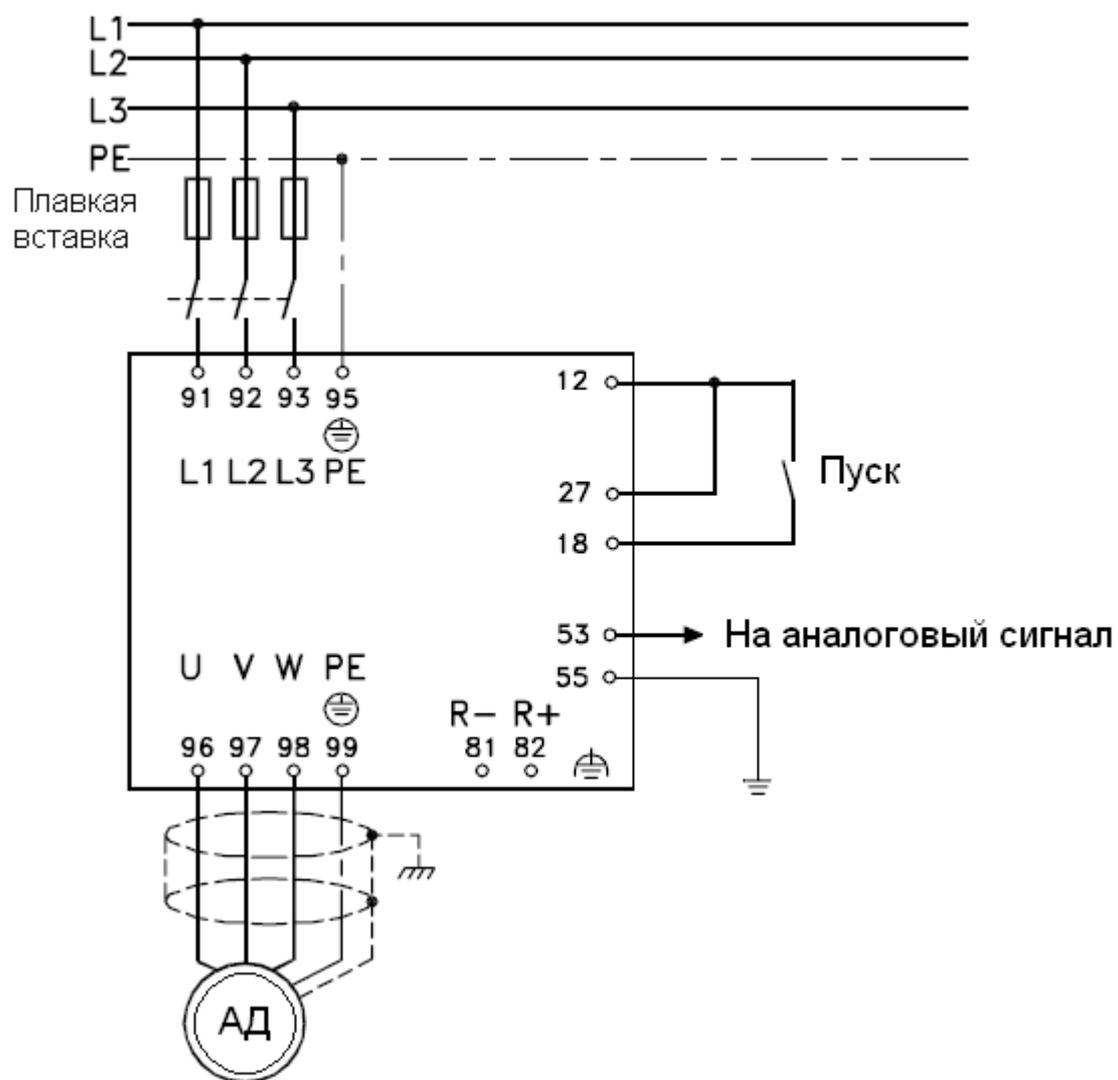


Рисунок 20 - Схема подключения ПЧ

Преобразователь частоты питается от трехфазной сети с линейным напряжением 380 В, фазы которой подключаются к клеммам L1, L2, L3, клемм PE заземляется. Сняв заднюю панель, замкнуть клеммы 12 и 27. Асинхронный двигатель подсоединяется к клеммам U, V, W, а клемма PE заземляется.

## 2.4 Выбор измерительного преобразователя давления

Технологическим процессом горения накладываются требования, которые необходимо учитывать при выборе преобразователя давления (ПД). ПД устанавливается в объеме топочной камеры, поэтому выбор производится по максимально возможному разрежению, создаваемому в топочной камере, а также по избыточному давлению.

Экспертным путем было получено значение разрежения в топке котлоагрегата, при котором происходит наиболее полное сгорание топлива при фиксированных значениях подачи газозвдушной смеси (-35кПа). Значение максимально возможного в процессе горения разрежения составляет -60кПа (при розжиге). Погрешность составляет  $\pm 5$ кПа. Также необходимо учесть агрессивность среды, в которой происходят измерения (газовоздушная смесь с температурой  $\approx 200$  °С и продукт горения – водяной пар). Учитывая эти ограничения, был выбран измерительный преобразователь давления (ИПД) JUMO dTRANS p02 фирмы JUMO. ИПД предназначен для измерения абсолютного давления агрессивных сред и преобразования его в электрический сигнал. Параметры ИПД приведены ниже:

- Выходной сигнал 4...20мА;
- Постоянная времени без демпфинирования 150 мс;
- Питание 11,5...30В постоянного напряжения;
- Диапазон измерения -1...100бар (-100кПа...10МПа).

На рисунке 21 представлен внешний вид ИПД фирмы JUMO.

Значения абсолютного давления фиксируются с нескольких рабочих точек: у горелок, у сопел подачи газозвдушной смеси - затем значения передаются на аналоговые входы контроллера Ремиконт Р-130. Благодаря усилению сигнала в самом ИПД, установки усилителя (а также гальванической развязки) не требуется.

На рисунке 22 показано подключение ИПД к источнику питания.



Рисунок 21 - Измерительный преобразователь давления

### Электрическое соединение

Присоединение		Штекер
Питание 11,5... 36 В DC 11,5... 30 В DC для искробезопасного исполнения		1 L+ 2 L-
Выходной сигнал 4... 20 мА двухпроводной		пропорциональный ток 4... 20 мА, вспомогательное напряжение
Испытательное соединение Токовый выход	Внутреннее сопротивление амперметра макс. 10 Ом	TEST + TEST -
Испытательное соединение HART®		TEST + HART
Выравнивание потенциалов (для искробезопасной цепи)		
Экранирование		

Схема подключения

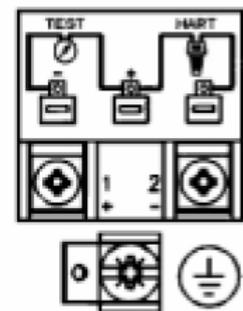


Рисунок 22 - Подключение измерительного преобразователя давления

## 2.5 Выбор преобразователя интерфейса

Для того, чтобы состыковать порты RS-232 и RS-485 необходимо устройство преобразования – преобразователь интерфейса. Модельный ряд преобразователей интерфейсов весьма разнообразен. Подбираем преобразователь, удовлетворяющий условиям: наличие гальванической развязки для предотвращения протекания силовых токов в цепи управления; наличие защиты от К.З. и электромагнитных помех от силовой части ПЧ; возможность передачи данных на расстоянии не менее 50 м.

Данным условиям удовлетворяет преобразователь интерфейса серии RealLab RL-232-485.

На рисунке 23 представлена функциональная схема преобразователя интерфейса RL-232-485.

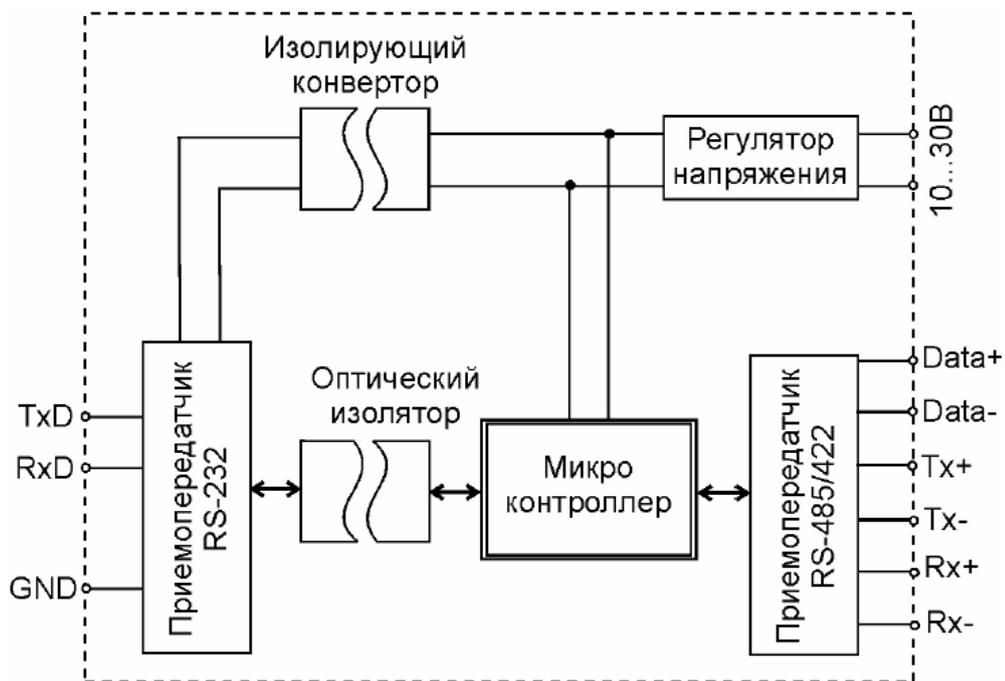


Рисунок 23 – Функциональная схема преобразователя интерфейса RL-232-485 серии RealLab

Преобразователь интерфейса RL-232-485 обеспечивает гальванически развязанную полудуплексную связь устройства, имеющего интерфейс RS-232, с устройством, имеющим интерфейс RS-485 или дуплексную связь с устройством, имеющим интерфейс RS-422. Может быть использован также для увеличения дальности связи путем применения преобразования интерфейса RS-232 в интерфейс RS-485/422 и обратного преобразования после передачи сигнала на большое расстояние (до 1,2 км).

Соединение преобразователя с компьютером производится стандартным минимальным или полным нуль-модемным кабелем.

Для получения гальванической развязки используются преобразователи напряжения и оптроны с напряжением 3КВ. Выходные каскады построены на базе приемопередатчика ADM485AR фирмы Analog Devices.

Питание оптического изолятора осуществляется от источника постоянного напряжения в диапазоне от 10 до 30В со стороны интерфейса RS-485. Питание устройства со стороны интерфейса RS-232 осуществляется через встроенный преобразователь напряжения.

Быстродействие использованной элементной базы обеспечивает скорость передачи сигнала 115200 бит/с.

Устройство имеет защиту со стороны интерфейса RS-485 от электростатических разрядов величиной до 15КВ и со стороны интерфейса RS-422 величиной 3 КВ, тестируемую по модели тела человека, а также защиту от электрических разрядов и защиту от электромагнитных полей напряженностью до 10 В/м, а также защиту от электромагнитных всплесков до 2кВ.

Дополнительно применена оптическая развязка между интерфейсом RS-232 и RS-485.

## 2.6 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

Момент сопротивления турбомеханизма складывается из момента аэродинамического сопротивления, пропорционального квадрату частоты вращения, и момента, обусловленного механическим сопротивлением

$$M_c(\omega) = M_{c0} + (M_{сн} - M_{c0}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2.$$

Для дымососов начальный момент сопротивления [28]

$$M_{c0} = 0.15 \cdot M_{сн}$$

тогда характеристика момента сопротивления дымососа от угловой скорости выражается зависимостью [28]

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= 0.15 \cdot M_{сн} + 0.85 \cdot M_{сн} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 = 0,15 \cdot 36,865 + \frac{0.85 \cdot 36,86}{157,1^2} \cdot \omega^2 = \\ &= 5,5 + 0.0013 \cdot \omega^2. \end{aligned}$$

С целью обеспечения заданного диапазона регулирования  $D=10:1$  регулирование скорости вниз от основной  $\omega_0 = 157,1$  рад/с до скорости  $\omega_0 = 15,71$  рад/с осуществляется при реализации закона управления  $U_1/f_1 = \text{const}$ .

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим выражением

$$\begin{aligned} M(s) &= \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{лн} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 1,04}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ 4,356^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( 1,068 + \frac{1,04}{s} \right)^2 + \left( \frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,116 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}, \end{aligned}$$

где  $U_{1j}$  – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$\omega_{0j}$  – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1H}$  – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 24.

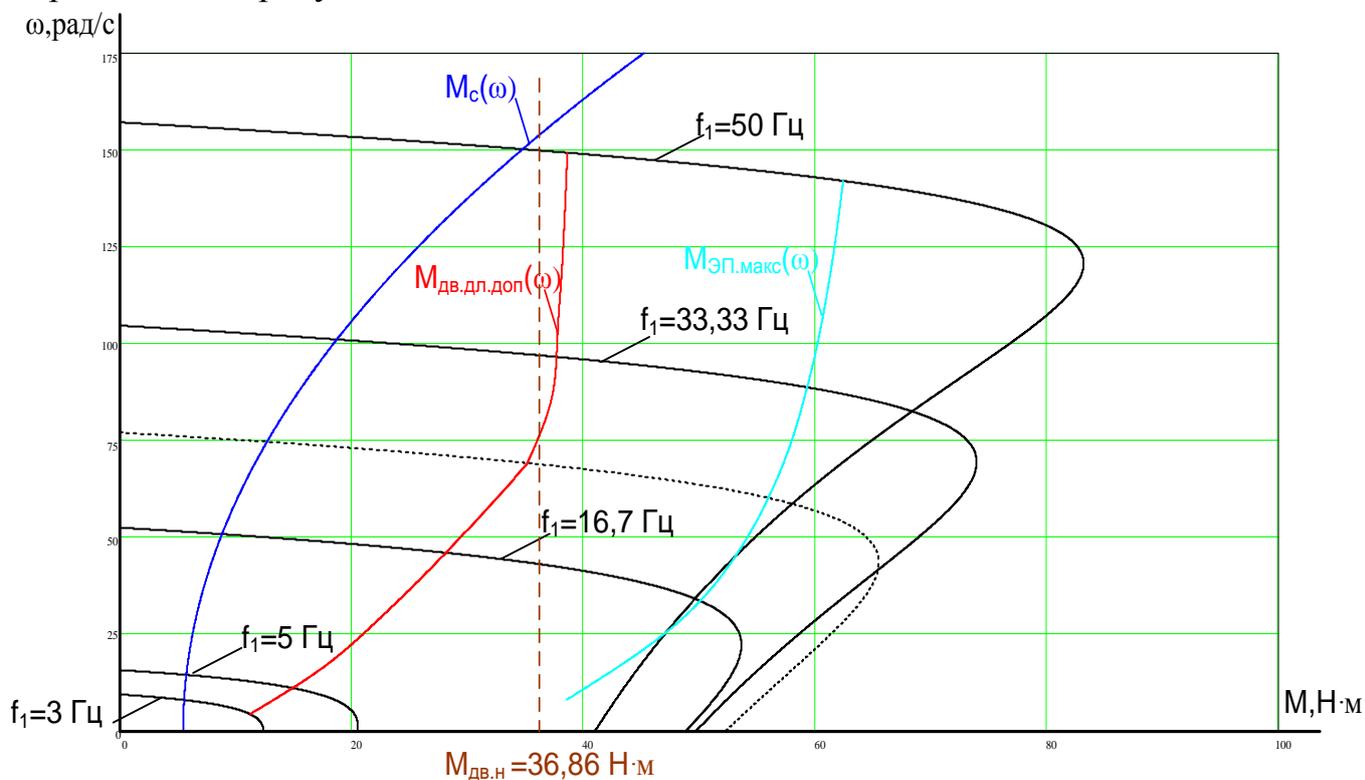


Рисунок 24 – Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель

Выражение для расчета электромеханических характеристик, определяющих зависимость приведенного тока ротора от скольжения  $s$  при законе управления  $U/f = \text{const}$ ,

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu n} \cdot f_{1*}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220 \cdot f_{1*}}{\pm \sqrt{\left(1,068 + \frac{1,04}{s}\right)^2 + 4,356^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,116 \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

Расчетное выражение для электромеханических характеристик  $I_1 = f(s)$ , отражающих зависимость тока статора  $I_1$  от скольжения

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)} =$$

$$= \sqrt{4,26^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot 4,26 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)}$$

где  $\sin \varphi_2 = \frac{x_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{4,356 \cdot f_{1*}}{\sqrt{(1,068 + \frac{1,04}{s})^2 + 52,116^2 \cdot f_{1*}^2}}$ ;

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (x_{1\text{н}} + x_{\mu\text{н}})^2 \cdot f_{1*}^2}}$$

Электромеханические характеристики  $I_2'(\omega)$  и  $I_1(\omega)$  при законе управления  $U_1/f_1 = \text{const}$  представлены на рисунках 25 и 26.

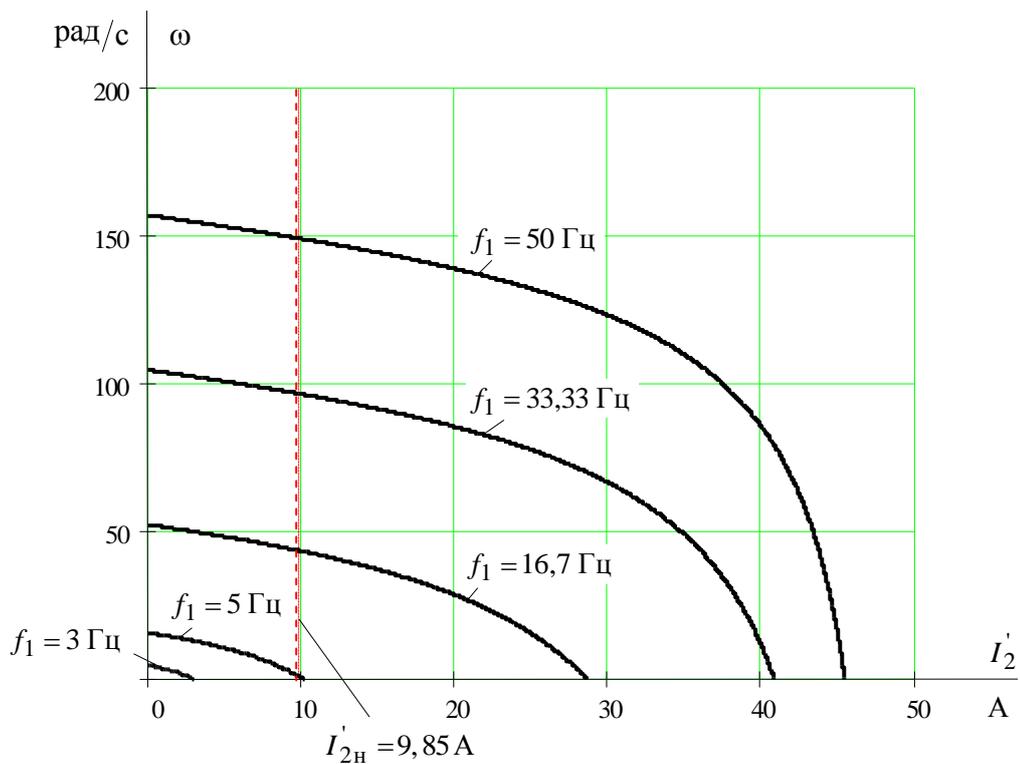


Рисунок 25 – Электромеханические характеристики  $I_2'(s)$  разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель

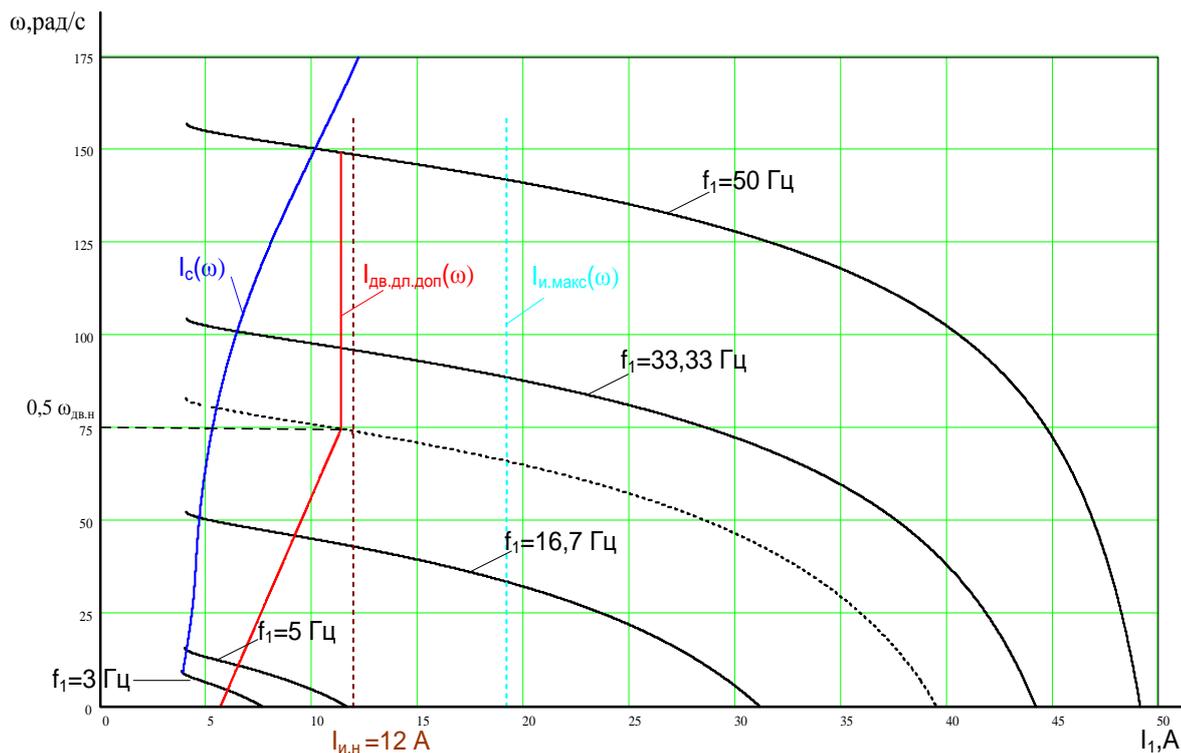


Рисунок 26 – Электромеханические характеристики  $I_1(s)$  разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель

Анализ рассчитанных механических характеристик (рисунок 24) показывает, при реализации закона управления  $U_1/f_1 = \text{const}$  электропривод дымососа обеспечивает требуемый диапазон регулирования скорости от  $\omega_0 = 15,71$  рад/с до  $\omega_0 = 157,1$  рад/с.

Пусковая характеристика может быть обеспечена при начальном значении частоты  $f_1 = 3$  Гц.

## 3 ОПТИМИЗАЦИЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЫМОСОСА

### 3.1 Структурная схема асинхронного двигателя

Оптимизацию САУ электропривода дымососа выполняем методом имитационного моделирования в программной среде MatLab 6.

Асинхронный двигатель представляем системой уравнений в неподвижной относительно обмоток статора системе координат [6, 12]:

$$\begin{aligned}
 U_s &= R_s \cdot i_s + \frac{d\psi_s}{dt}, \\
 U_r &= R_r \cdot i_r + \frac{d\psi_r}{dt} - j \cdot \omega_r \cdot \psi_r, \\
 \psi_s &= L_s \cdot i_s + L_\mu \cdot i_r, \\
 \psi_r &= L_r \cdot i_r + L_\mu \cdot i_s, \\
 M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\psi \times i_s).
 \end{aligned}$$

После математических преобразований получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned}
 p \cdot i_{s\alpha} &= \frac{1}{L_\sigma} \cdot (U_{s\alpha} - R_\sigma \cdot i_{s\alpha} + p \cdot K_r \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\beta} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha}), \\
 p \cdot i_{s\beta} &= \frac{1}{L_\sigma} \cdot (U_{s\beta} - R_\sigma \cdot i_{s\beta} - p \cdot K_r \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta}), \\
 p \cdot \psi_{r\alpha} &= R_r \cdot K_r \cdot i_{s\alpha} - A_r \cdot \psi_{r\alpha} - \omega_r \cdot \psi_{r\beta} \cdot p, \\
 p \cdot \psi_{r\beta} &= R_r \cdot K_r \cdot i_{s\beta} - A_r \cdot \psi_{r\beta} + \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} \cdot p, \\
 M &= \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot K_r (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}), \\
 p \cdot \omega_r &= \frac{1}{J} \cdot (M - M_c).
 \end{aligned}$$

По вышеприведенной системе уравнений составлена структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат (рисунок 27).

На схеме приняты обозначения:

$A_r = \frac{R_r}{L_r} = \frac{R_{2н}}{L_{2н}} = \frac{1,04}{0,17681} = 5,984\text{с}$  - коэффициент, обратный величине постоянной времени,

где  $L_{2н}' = \frac{X_{2н}'}{2 \cdot \pi} = \frac{X_{2н\sigma}' + X_{\mu н}}{2 \cdot \pi} = \frac{2,461 + 52,116}{2 \cdot \pi} = 0,17381\text{Гн}$  - индуктивность ротора;

$X_{2н\sigma}'$  - индуктивное сопротивление рассеяния ротора;

$Z_p = 2$  - число пар полюсов АД;

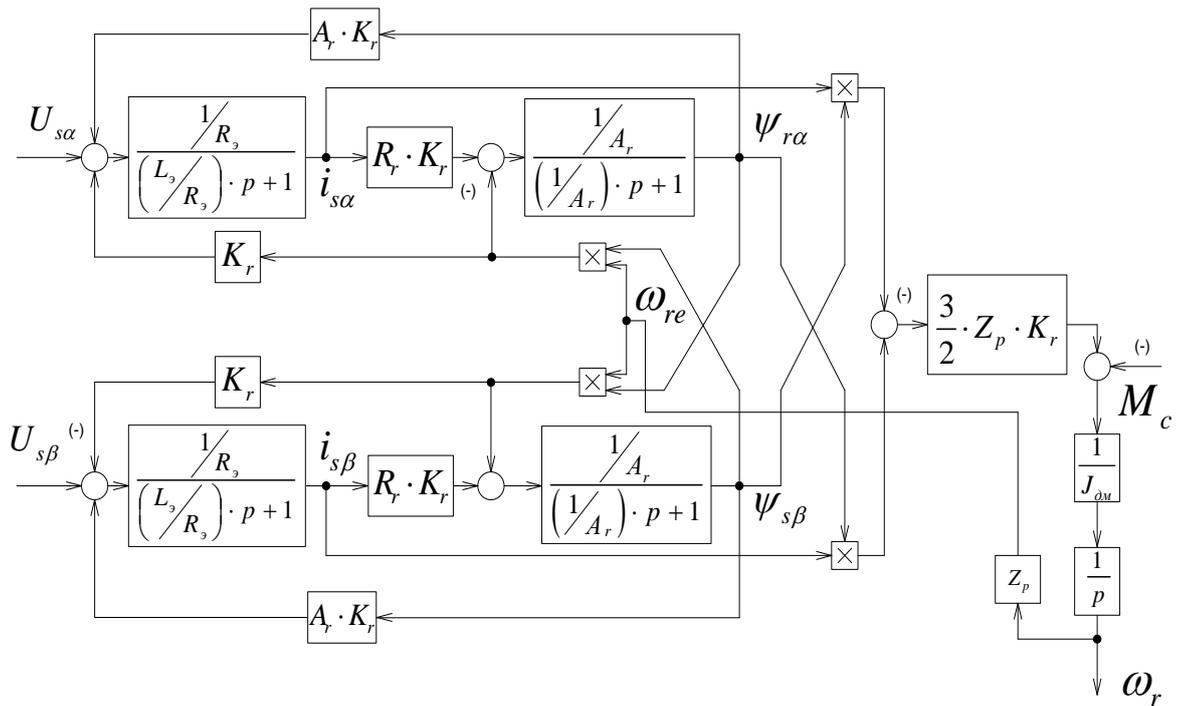


Рисунок 27 – Структурная схема асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

$$K_r = \frac{L_{\mu\text{H}}}{L_{2\text{H}}} = \frac{0,16597}{0,17381} = 0,955 \text{ - коэффициент пропорциональности;}$$

$R_3 = R_1 + R_2' \cdot K_r^2 = 1,08 + 1,04 \cdot 0,955^2 = 2,016 \text{ Ом}$  - эквивалентное активное сопротивление, введенное для упрощения системы уравнений;

$$L_3 = L_1 - \frac{L_{\mu\text{H}}^2}{L_{2\text{H}}} = 0,1718 - \frac{0,16597^2}{0,17381} = 0,0133 \text{ Гн}$$
 - эквивалентная индуктивность

структурной схемы, введенное для упрощения системы уравнений.

$$L_1 = \frac{X_{1\text{H}}}{2 \cdot \pi} = \frac{X_{1\text{H}\sigma} + X_{\mu\text{H}}}{2 \cdot \pi} = \frac{1,83 + 52,116}{2 \cdot \pi} = 0,1718 \text{ Гн}$$
 - индуктивность статора.

$X_{1\text{H}\sigma}$  - индуктивное сопротивление рассеяния статора;

$U_{s\alpha}, U_{s\beta}$  - значения напряжений в неподвижной системе координат.

### 3.2 Имитационная модель асинхронного двигателя

По структурной схеме асинхронного двигателя, представленной на рисунке 14, в программной среде MatLab 6.1 составлена имитационная модель, приведенная на рисунке 28.

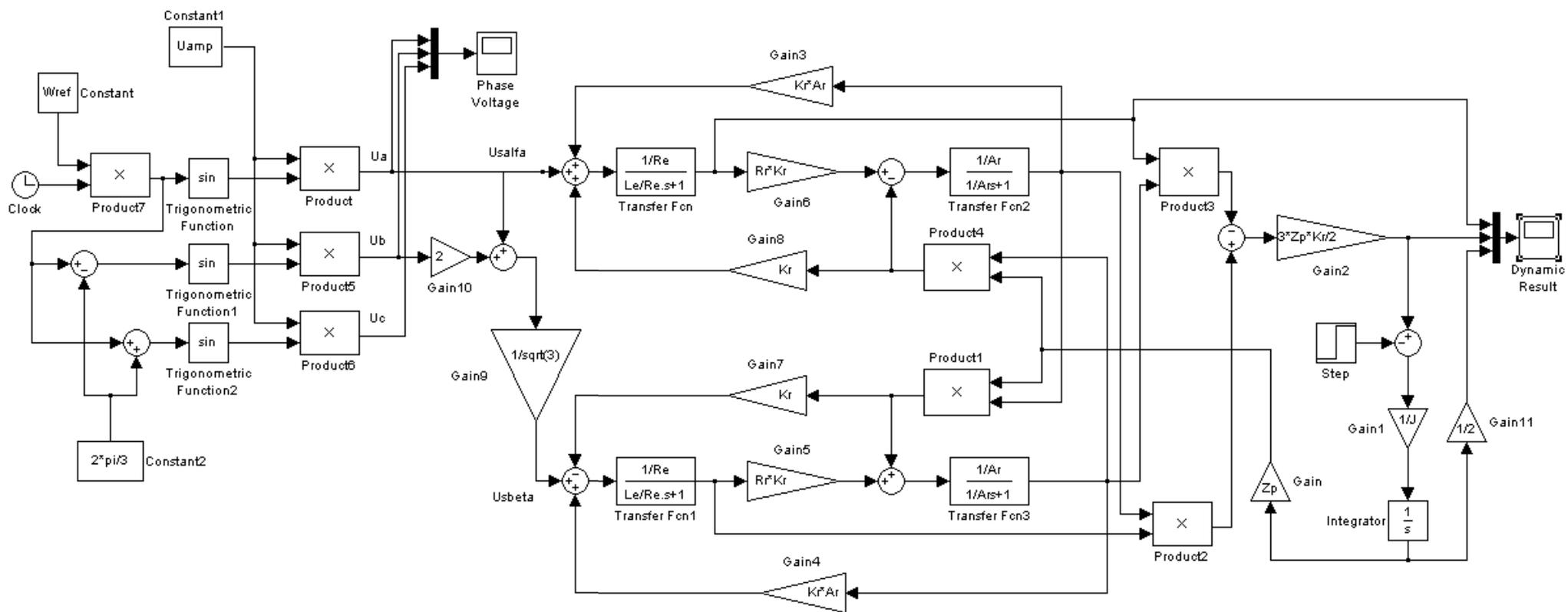


Рисунок 28 - Имитационная модель асинхронного двигателя серии 4А112М4У3

### 3.2.1 Проверка системы трехфазных и двухфазных напряжений

Для проверки трехфазной сети используем следующие параметры: частота сети (период синусоид); амплитуда фазы.

На рисунке 29 представлена осциллограмма питающей трехфазной сети.

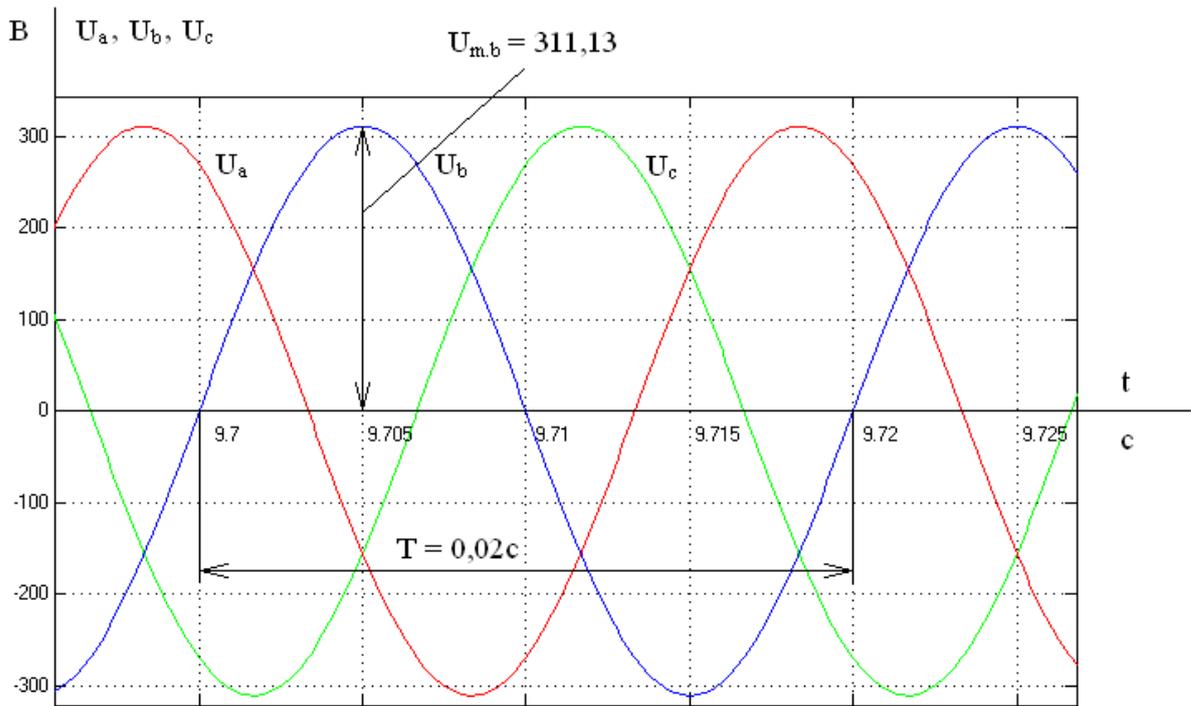


Рисунок 29 – Осциллограмма напряжений трехфазной питающей сети

Частота сети -  $f_c = \frac{\omega}{T} = \frac{1}{0,02} = 50\text{Гц}$ . Амплитуда напряжения

$$U_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311,13\text{В}.$$

Как видно по осциллограмме и расчетам, питающая сеть удовлетворяет условиям и может использоваться для питания преобразователя частоты.

Проверка двухфазной питающей сети аналогична проверке трехфазной сети, осциллограмма напряжений приведена на рисунке 30.

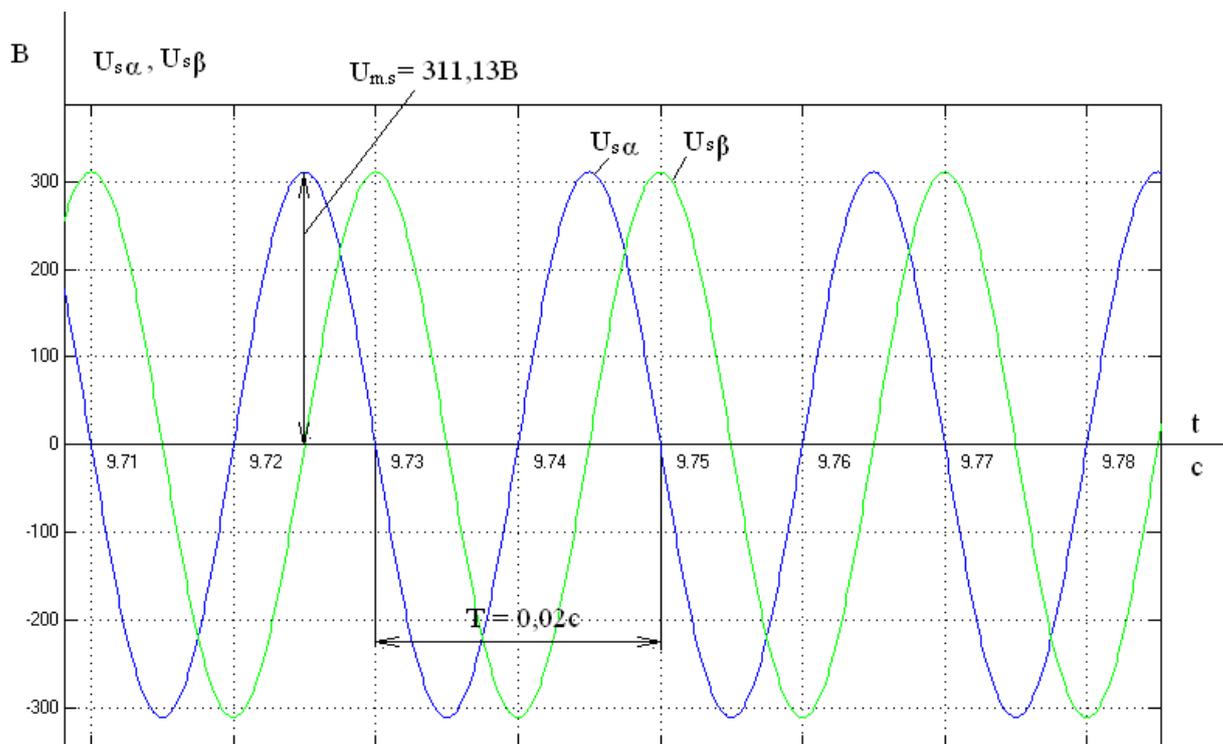


Рисунок 30 – Осциллограмма двухфазной питающей сети

Частота сети -  $f_c = \frac{\omega}{T} = \frac{1}{0,02} = 50\text{Гц}$ . Амплитуда напряжения

$$U_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311,13\text{В}.$$

Двухфазную сеть можно использовать для исследования имитационной модели.

### 3.2.2 Проверка адекватности имитационной модели АД

Проверка адекватности имитационной модели заключается в расчете и построении переходных характеристик АД и сравнении полученных показателей с паспортными данными двигателя.

На рисунке 31 показаны переходные процессы при прямом пуске асинхронного двигателя на номинальную скорость. В момент времени  $t = 0,25\text{с}$  (после стабилизации скорости) к валу двигателя приложен номинальный момент  $M_n = 36,86\text{Нм}$ .

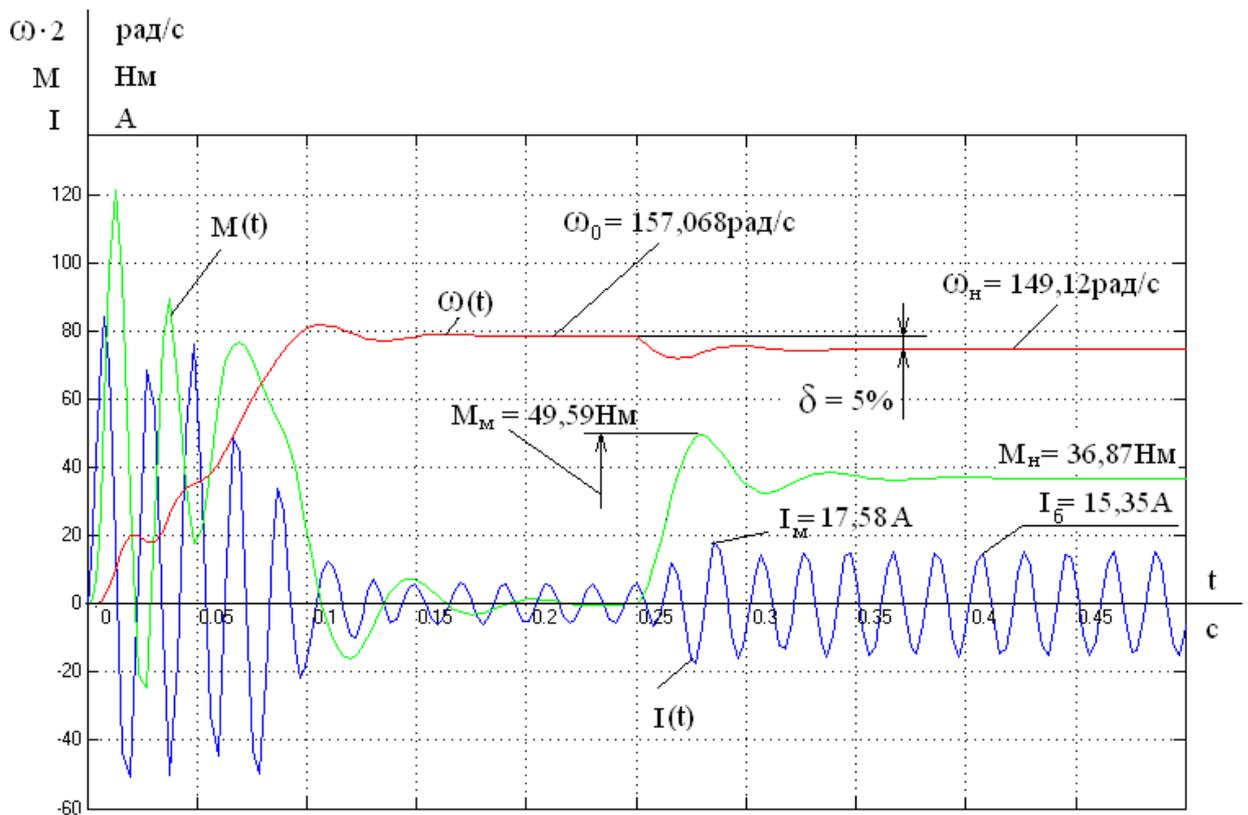


Рисунок 31 – Переходные процессы пуска асинхронного двигателя и наброса нагрузки

Как видно из графика, при набросе нагрузки, равной номинальному моменту двигателя, частота вращения вала двигателя уменьшается с синхронной  $\omega_0 = 157,068$  рад/с до  $\omega = 149,2$  рад/с, величина скольжения

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{157,068 - 149,2}{157,068} \cdot 100 = 5\%$$

соответствует номинальному значению (таблица 3).

Ток статора  $I_n = \frac{I_6}{\sqrt{2}} = \frac{15,35}{\sqrt{2}} = 10,85$  А незначительно отличается от рассчитанного ранее номинального значения.

Кроме того, по данному графику видно, что пусковой ток превышает номинальный в 7 раз, а максимальное значение момента – в 3 раза, что также соответствует паспортным данным.

Таким образом, можно сделать вывод – имитационная модель, созданная в программной среде *Matlab*, адекватно отражает процессы, протекающие в асинхронном двигателе серии 4А112М4У3. Поэтому использование этой модели в качестве исходной для исследований оправдано.

### 3.3 САУ электропривода при скалярном управлении

#### 3.3.1 Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении

Переходные процессы прямого пуска (рисунок 31) характеризуются существенной колебательностью момента, что недопустимо. Поэтому в дальнейшем прямой пуск на номинальную скорость не применяется. Требуемая кривая разгона формируется с помощью задатчика интенсивности.

На рисунке 32 представлена функциональная схема САУ электропривода при скалярном управлении.

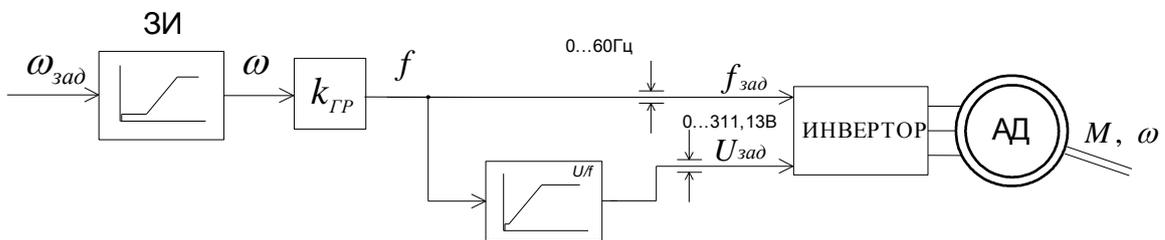


Рисунок 32 - Функциональная схема скалярной САУ ЭП дымососа: ЗИ - задатчик интенсивности;  $K_{ГР} = 2 \cdot \pi / 2$  – коэффициент преобразования; АД – асинхронный двигатель; U/f – блок формирования вольт-частотной характеристики

Блок формирования вольт-частотной характеристики формирует значение напряжения задания  $U_{зад}$  в зависимости от заданной скорости. Сигналы  $U_{зад}$  и  $f_{зад}$  входными сигналами инвертора, который формирует систему трехфазных напряжений для питания асинхронного двигателя.

В зависимости от параметров задатчика интенсивности ЗИ можно формировать пуск и торможение АД с заданным темпом.

#### 3.3.2 Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении

По структурной схеме рисунка 32 построена имитационная модель САУ, показанная на рисунке 33.

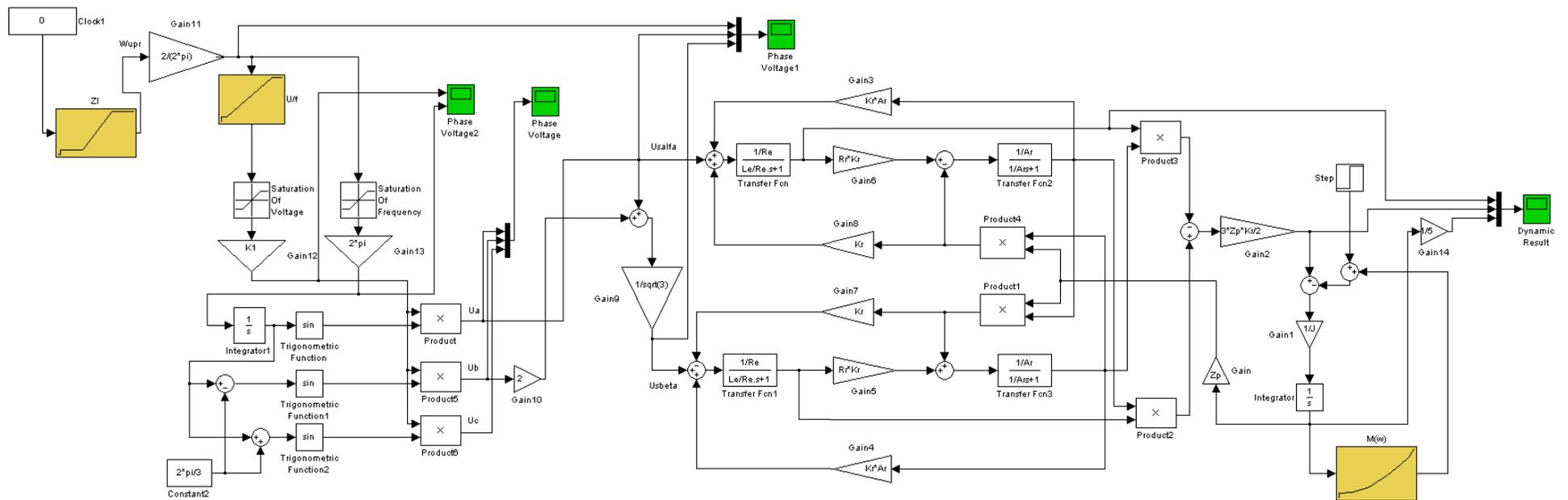


Рисунок 33 – Имитационная модель САУ электропривода при скалярном управлении

### 3.3.3 Имитационное моделирование САУ ЭП при скалярном управлении

С помощью имитационной модели рисунка 33 рассчитаны и построены графики переходных процессов для четырех основных режимов работы электропривода: пуск на минимальную скорость; пуск на максимальную скорость; переход с минимальной скорости на максимальную; переход с максимальной скорости на минимальную.

Переходные процессы пуска на минимальную скорость  $\omega_0 = 15,7$  рад/с на холостом ходу с последующим набросом нагрузки представлены на рисунке 34.

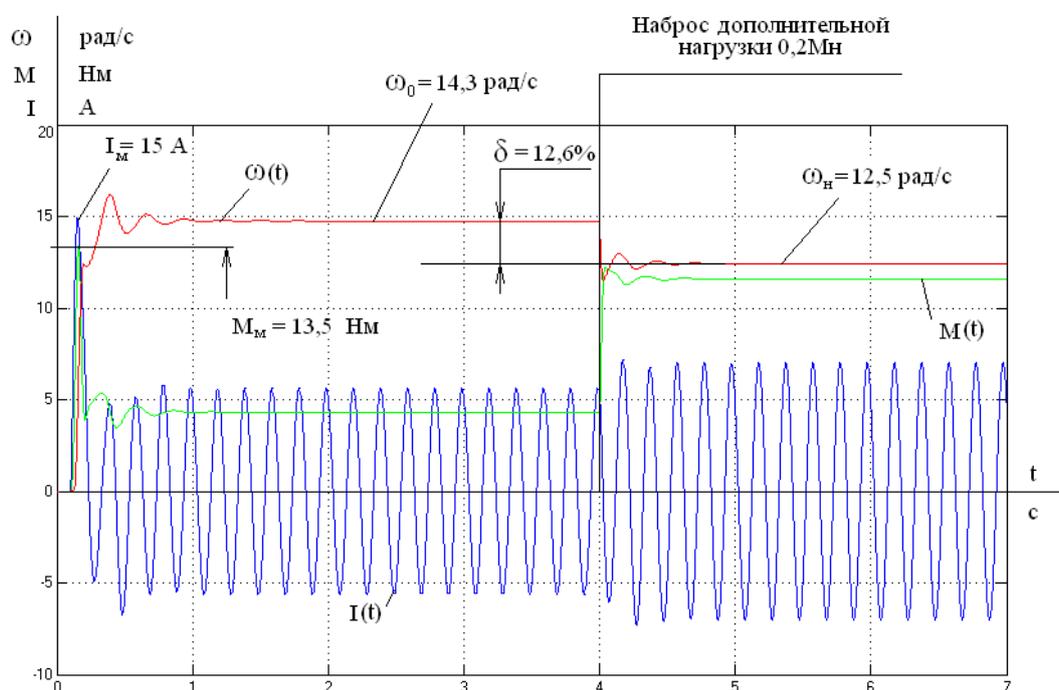


Рисунок 34 - Пуск на минимальную скорость и наброс нагрузки

По графику рисунка 34 видно, что значения пускового тока и момента не превышают допустимых значений. Однако, при набросе дополнительной нагрузки, равной  $0,2 \cdot M_n$  скорость уменьшается с  $\omega = 14,3$  рад/с до  $\omega = 12,5$  рад/с, погрешность составляет  $\delta = 12,6\%$ . Согласно техническому заданию требуемая погрешность по скорости на нижней характеристике  $\delta \leq 10\%$ . Принимая во внимание допущения, принятые при составлении математической модели, можно сделать вывод, что работа электропривода на нижней скорости неудовлетворительна.

Переходные процессы пуска на максимальную скорость представлены на рисунке 35. Погрешность по скорости составляет  $\delta = 5,2\%$ .

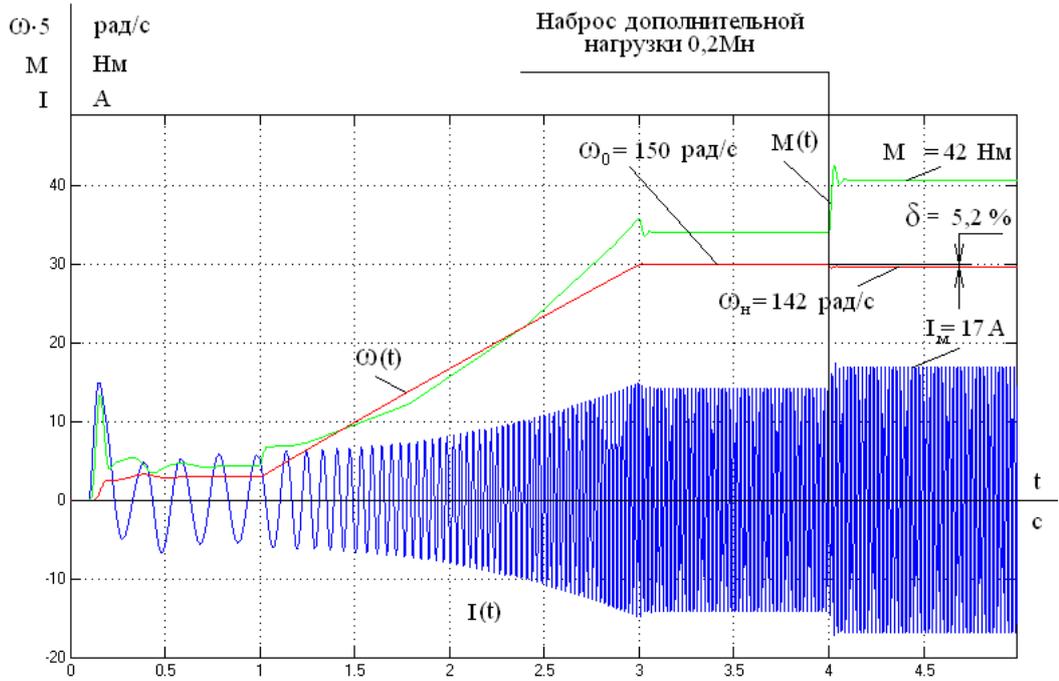


Рисунок 35 - Пуск на максимальную скорость и наброс нагрузки

График перехода с минимальной скорости на максимальную представлен на рисунке 36.

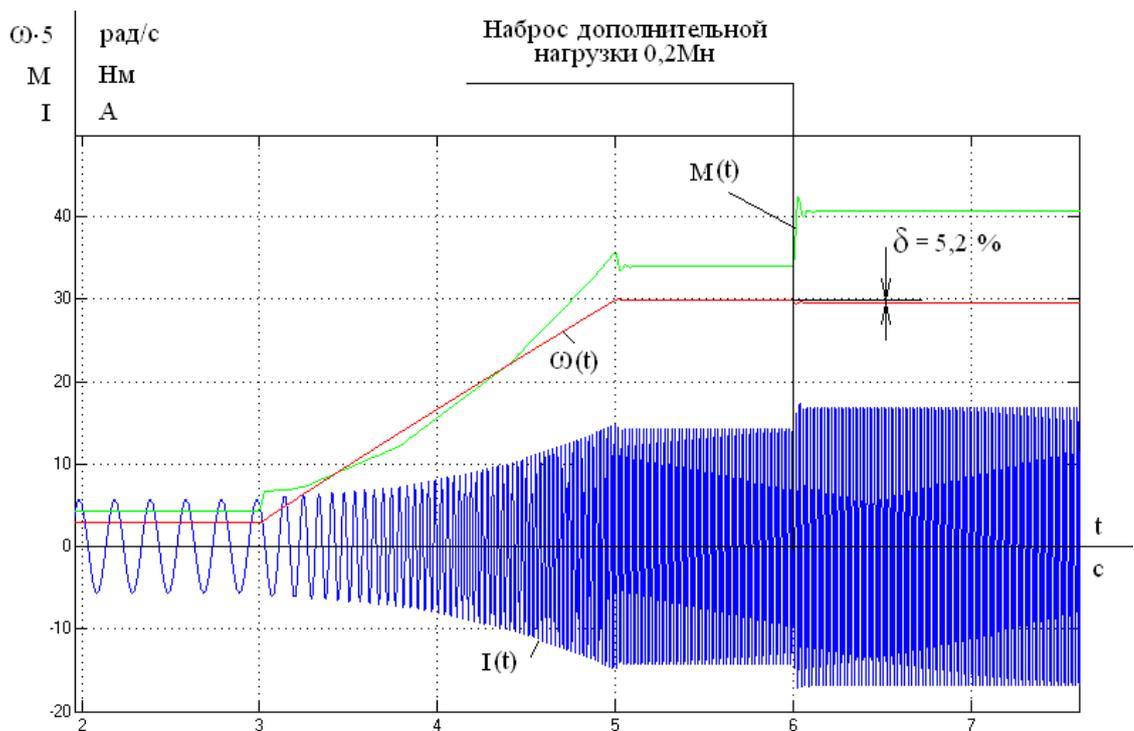


Рисунок 36 – Переход с минимальной скорости на максимальную скорость и наброс нагрузки

Переход электропривода с минимальной на максимальную скорость аналогичен пуску АД на максимальную скорость.

График перехода с максимальной на минимальную скорость представлен на рисунке 37.

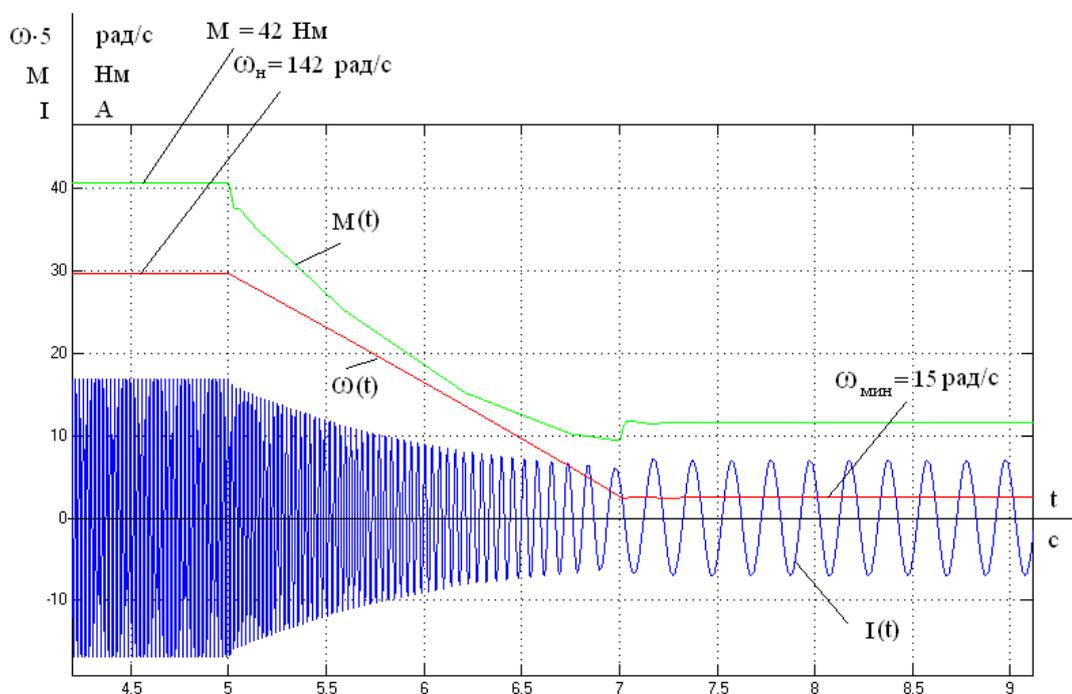


Рисунок 37 - График перехода с максимальной скорости на минимальную скорость и наброс нагрузки

Привод осуществляет переход с максимальной скорости на минимальную за 2с. Наброс дополнительной нагрузки происходит в момент времени  $t = 7$ с. При этом скорость уменьшается с  $\omega = 14,8$ рад/с до  $\omega = 12,4$ рад/с, т.е. на  $\delta \leq 13,9\%$ .

Проанализировав полученные графики переходных процессов, можно сказать, что электропривод не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Точность поддержания скорости низкая, броски токов в некоторых случаях недопустимые. Для устранения этих недостатков вводим в схему обратные связи по моменту и скольжению.

### 3.4 САУ электропривода при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения

#### 3.4.1 Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения

На рисунке 38 представлена функциональная схема САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения.

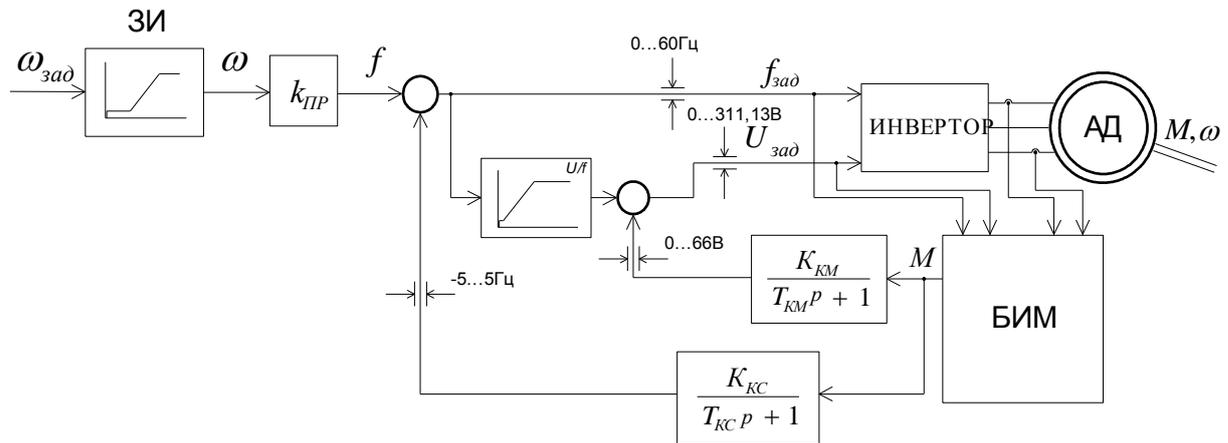


Рисунок 38 - Функциональная схема САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения: ЗИ – задатчик интенсивности;  $K_{ПР} = 2 \cdot \pi / 2$  – коэффициент преобразования; БИМ – блок идентификации момента; АД – асинхронный двигатель; U/f – блок формирования вольт-частотной характеристики

В схеме имеются две обратные связи: компенсации момента и скольжения. Входные сигналы на блоки компенсации момента и скорости рассчитываются блоком идентификации момента (БИМ), где с помощью математических преобразований входных параметров (токов статора, напряжения и частоты задания) вычисляются сигналы коррекции частоты и момента.

### 3.4.2 Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения

По структурной схеме рисунка 38 составлена имитационная модель САУ ЭП, показанная на рисунке 39.

Значения коэффициентов передачи цепей компенсации из условия обеспечения устойчивости [9]:

$$K_{\text{КС}} = k_{\text{КС}}^* \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}} = 0,5 \cdot \frac{5}{36,89} = 0,06782 \text{ – коэффициент компенсации скольжения}$$

при неполной компенсации ( $k_{\text{КС}}^* = 0,5$ );

$$K_{\text{КМ}} = k_{\text{КМ}}^* \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}} = 0,2 \cdot \frac{220}{36,89} = 1,1937 \text{ – коэффициент компенсации момента}$$

( $k_{\text{КМ}}^* = 0,2$ ).

Постоянные времени цепей компенсации

$$T_{\text{КМ}} = T_{\text{КС}} = (3 \div 10) \cdot T_3 = 10 \cdot 0,006597 = 0,06597 \text{ с ,}$$

$$\text{где } T_3 = \frac{L_3}{R_3} = \frac{0,0133}{2,016} = 0,006597 \text{ с .}$$

Ограничения цепей компенсации:

- по частоте –  $-5 \dots 5$  Гц;
- по напряжению –  $0 \dots 66$  В.

Характеристика блока формирования нагрузки рассчитана по эмпирической формуле:  $M = 0,001344 \cdot \omega^2 - 3,7$  или  $\omega = \sqrt{\frac{M - 3,7}{0,001344}}$  и представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры блока формирования нагрузки

$\omega$ , рад/с	0	31,1	68,47	110,1	139,9	157,068	170
M, Нм	3,7	5	10	20	30	36,86	42

Таблица 7 – Параметры задатчика интенсивности

t, с	0	0,1	0,1	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0
$\omega$ , рад/с	0	0	15,7	15,7	157,068	157,068	15,7	15,7

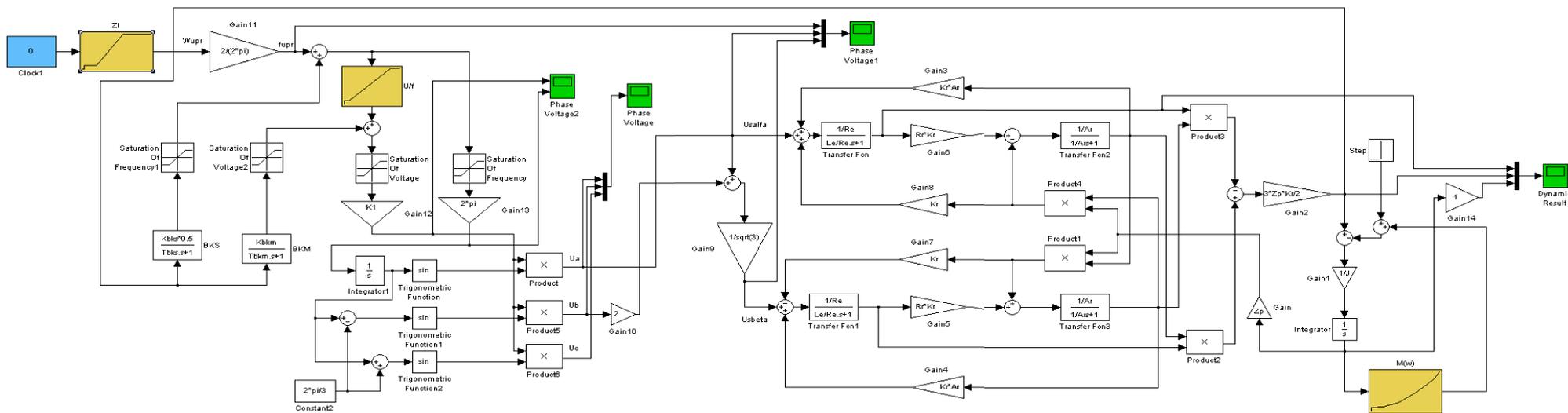


Рисунок 39 – Имитационная модель САУ электропривода при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения

### 3.4.3 Имитационное моделирование САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения

С помощью имитационной модели рисунка 39 рассчитаны и построены графики переходных процессов для четырех возможных режимов работы электропривода: пуск на минимальную скорость; пуск на максимальную скорость; переход с минимальной на максимальную скорость; переход с максимальной на минимальную скорость.

График переходного процесса при пуске на минимальную скорость представлен на рисунке 40.

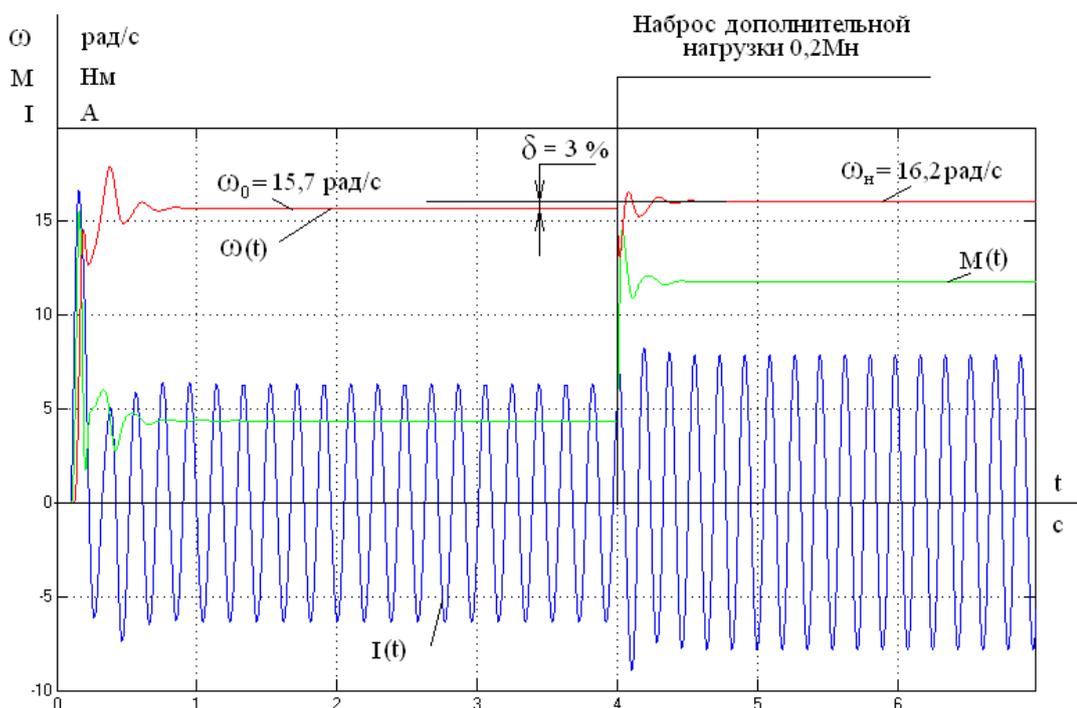


Рисунок 40 - Пуск на минимальную скорость и наброс нагрузк при компенсации момента и скольжения

По графику рисунка 40 видно, что при пуске электропривода под нагрузкой установившаяся скорость составляет  $\omega = 15,7$  рад/с, что соответствует синхронной, т.е. коэффициент компенсации момента подобран корректно. При набросе дополнительной нагрузки, равной  $0,2 \cdot M_n$  скорость возрастает с  $\omega = 15,7$  рад/с до  $\omega = 16,2$  рад/с, однако погрешность  $\delta = 3\%$  находится в допустимых согласно техническому заданию пределах.

График пуска на максимальную скорость представлен на рисунке 41.

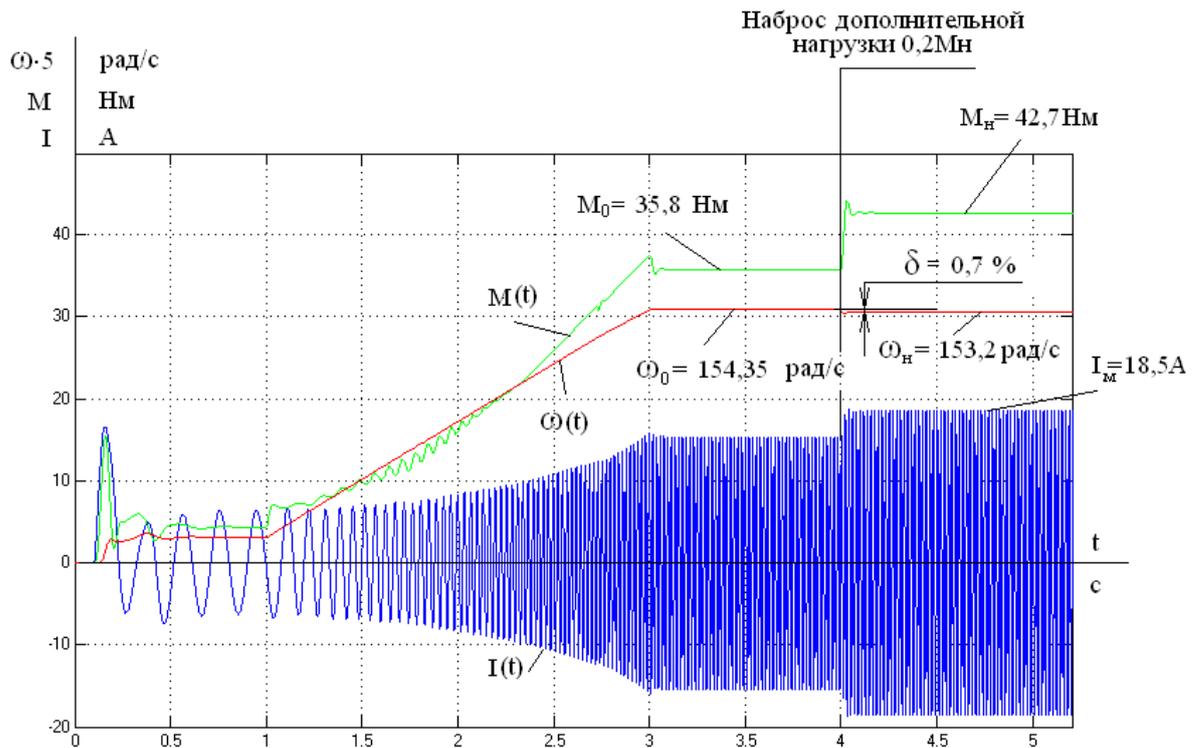


Рисунок 41 - Пуск на максимальную скорость и наброс нагрузки при компенсации момента и скольжения

Погрешность поддержания скорости:

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{157,1 - 154,35}{157,1} \cdot 100\% = 1,7\%$$

при набросе дополнительной нагрузки равной  $0,2 \cdot M_n$  погрешность составляет  $\delta = 0,7\%$ . Максимальное значение тока  $I_{\text{макс}} = 18,5\text{А}$  не превышает допустимого тока преобразователя.

График перехода с минимальной скорости на максимальную скорость представлен на рисунке 42. Переход электропривода с минимальной скорости на максимальную скорость при компенсации момента и скольжения аналогичен пуску на максимальную скорость.

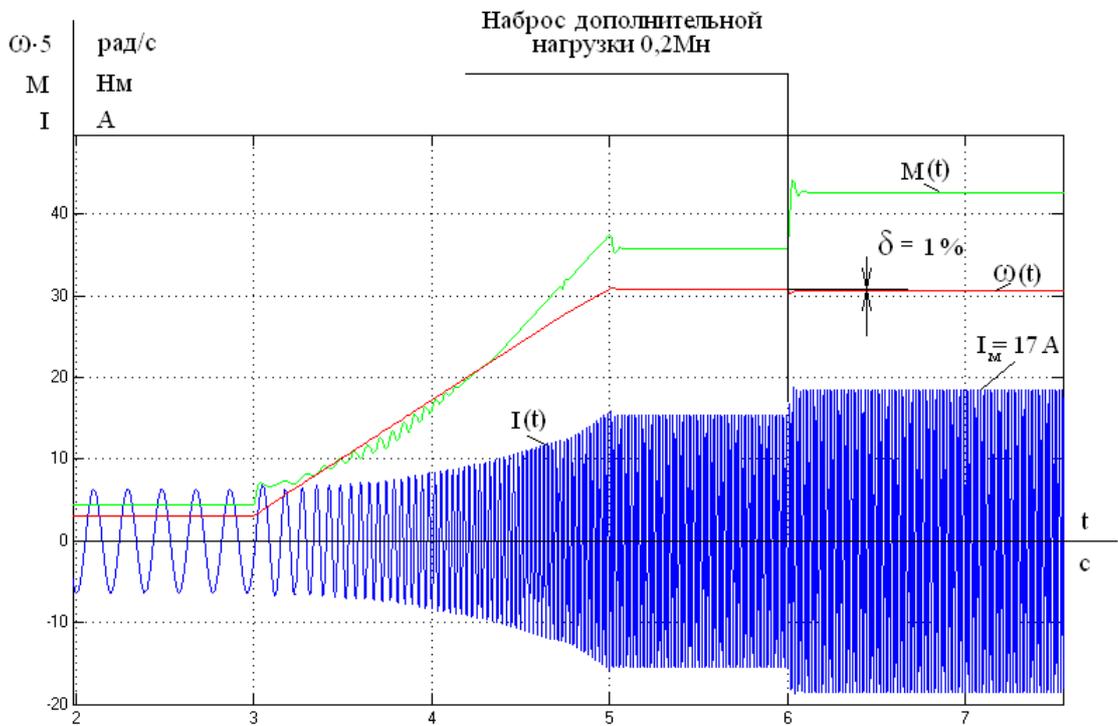


Рисунок 42 – Переход с минимальной скорости на максимальную скорость и наброс нагрузки при компенсации момента и скольжения

График перехода с максимальной на малую скорость представлен на рисунке 43.

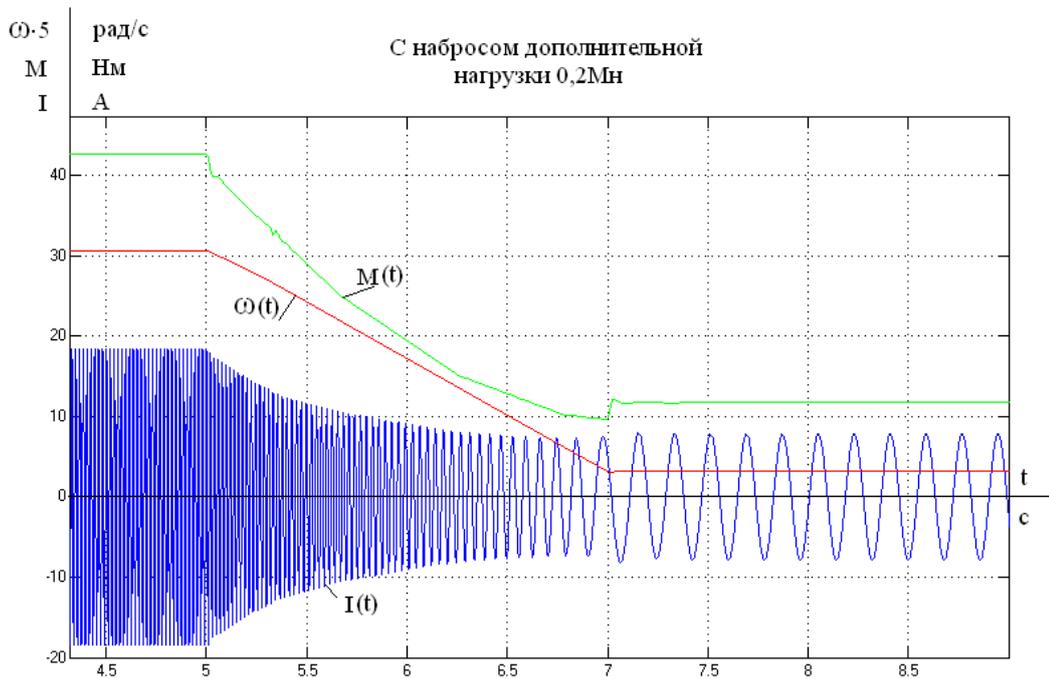


Рисунок 43 - График перехода с максимальной скорости на минимальную при компенсации момента и скольжения

Привод осуществляет переход с максимальной скорости на минимальную за 2 с, что определяется выбранной постоянной времени задатчика интенсивности. Компенсация момента и скольжения позволяет обеспечить заданную скорость  $\omega_0 = 15,7$  рад/с. При набросе дополнительной нагрузки  $0,2 \cdot M_n$  в момент времени  $t = 7$ с скорость возрастает  $\omega = 15,7$  рад/с до  $\omega = 16,0$  рад/с, погрешность составляет  $\delta = 2\%$ .

Проанализировав полученные графики переходных процессов, можно сказать, что разработанный электропривод удовлетворяет предъявляемым требованиям. Использование функций компенсации момента и скольжения позволяет обеспечить точность поддержания скорости не хуже 3%. Применение задатчика интенсивности исключает колебательность переходного процесса и обеспечивает заданный темп разгона и торможения.

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

Студенту:

<b>Группа</b> 3-7101	<b>ФИО</b> Черкашин Михаил Олегович
-------------------------	--

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИЭО)	<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Специалитет	<b>Направление/специальность</b>	Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Проект выполняется по заказу ОАО Волгодонска ГЭС. -Ограничение по исполнению проекта – 120 дней. -Квалификация исполнителей – 5,6 разряды. -Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 400 тысяч рублей.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	-Нормы амортизации – 5000 руб. -Размер минимальной оплаты труда – 2330 руб.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления в социальные фонды – 30% от основной и дополнительной заработной платы.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	-Потенциальные потребители результатов исследования. -Анализ конкурентных технических решений.
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	-Структура проведения работ по модернизации электропривода переменного тока. -Организация ПНР -Структура проведения ПНР. -Бюджет проекта. -Определение стоимости ПНР.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования</i>	-Определение научно - технической эффективности проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. <i>Оценка технического уровня новшества</i>
2. <i>Смета затрат</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-7101	Черкашин Михаил Олегович		

#### 4. Финансовый Менеджмент

Проект посвящён разработке электропривода вытяжного вентилятора (дымососа) котлоагрегата ЗАОСИБ 2000.

В данном разделе ВКР рассматривается организация выполнения научно – технического проекта, а также комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электропривод дымососа котлоагрегата и стоимостная оценка этих работ и определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

К экономическим показателям электропривода относятся:

- стоимость оборудования;
- заработная плата обслуживающего персонала;
- стоимость годовой экономии электроэнергии.

Технико-экономические показатели, надежность работы ЭП во многом зависят от автоматизации технологического процесса, а также от качества проведения пуско-наладочных работ (ПНР).

## **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В настоящее время в России возникла ситуация, когда тепловые станции испытывают острую необходимость в модернизации технологического оборудования и особенно средств технологического контроля и управления. Оборудование большинства станций эксплуатируется 15-20 и более лет, его физический ресурс исчерпан, оно морально устарело.

Наилучшим решением в этой ситуации является внедрение современного технологического оборудования, позволяющего максимально использовать возможности систем управления и тем самым добиться качественно нового уровня технологии.

В настоящее время во всем мире широко используется частотный способ управления асинхронной машиной, который сегодня рассматривается не только с точки зрения экономии потребляемой электроэнергии, но и с точки зрения совершенствования управления технологическим процессом.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. В нашем случае для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Сегментируем рынок электрооборудования по следующим критериям:

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка электрооборудования по используемым видам электроприводов

		Вид электропривода			
		Электропривод постоянного тока	Электропривод переменного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с частотным регулированием
Размер компании	Крупные		Б		Б
	Средние	А	В	В	
	Мелкие	Г		Г	

Фирма А	Фирма Б	Фирма В	Фирма Г
---------	---------	---------	---------

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке электрооборудования не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Результат сегментирования:

- к основным сегментам данного рынка относятся использование электропривода с частотным регулированием средними и мелкими компаниями;
- наиболее перспективным сегментом является предложение электропривода с частотным регулированием средним компаниям;
- сегментом рынка, привлекательных для предприятия в будущем, является предложение электропривода с частотным регулированием мелким, динамично развивающимся, компаниям.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В таблице 9 представлена оценка конкурентоспособности электропривода переменного тока на базе частотного преобразователя Danfos VLT 2855 РТ4 и электропривод постоянного тока.

Таблица 9 – Оценка конкурентоспособности

Характеристики	Вес показателей	Новшество		Конкурент		Гипотетический образец	
	$d_i$	$P_i$	$q_i$	$P_i$	$q_i$	$P_{100}$	$q_{100}$
Плавность регулирования, о.е	0,156	1,1	0,909	2	0,5	1	1
Жесткость характеристики, %	0,136	90	0,9	60	0,6	100	1
Простота схемы, %	0,13	40	0,4	90	0,9	100	1
Экономичность регулирования, %	0,13	80	0,8	58	0,58	100	1
Диапазон регулирования	0,129	1/1000	0,5	1/2	0,001	1/2000	1
Срок службы оборудования, лет	0,12	10	1	6	0,6	10	1
Удобство эксплуатации, %	0,104	90	0,9	75	0,75	100	1
Стоимость, %	0,08	30	0,3	80	0,8	100	1

Новшество – электропривод переменного тока с частотным управлением;

Конкурент – электропривод постоянного тока.

Единичный параметрический показатель рассчитывается по формуле:

$$q = \frac{P}{P_{100}} \cdot p; \quad [22]$$

где:  $q$  – параметрический показатель;

$P$  – величина параметра реального объекта;

$P_{100}$  – величина параметра гипотетического (идеального) объекта, удовлетворяющего потребность на 100%;

Вычисление обобщенного (группового показателя), характеризующего соответствие объекта потребности в нем (полезный эффект или качество объекта) рассчитывается по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \cdot d_i; \quad [22]$$

где:  $Q$  – групповой технический показатель (по техническим параметрам);

$q_i$  – единичный параметрический показатель по  $i$ -му параметру;

$d_i$  – вес  $i$ -го параметра;

$n$  – число параметров, подлежащих рассмотрению.

$$Q_n = 0,7215; Q_k = 0,5733. \quad [22]$$

Показатель конкурентоспособности новшества по отношению к базовому объекту рассчитывается по формуле:

$$K_{ту} = \frac{Q_n}{Q_k} = \frac{0,7215}{0,5733} = 1,25 \quad [22]$$

где:  $K_{ту}$  – показатель конкурентоспособности нового объекта по отношению к конкурирующему по техническим параметрам (показатель технического уровня);

$Q_n, Q_k$  – соответствующие групповые технические показатели нового и базового объекта.

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что данный спроектированный электропривод является наиболее эффективным и целесообразным для технологического процесса. Недостатки конкурентов в том, что их электропривода устарели морально и технически.

#### **4.2 Структура проведения работ по модернизации электропривода переменного тока.**

Целью проведения работ по модернизации является разработка и исследование электропривода дымососа.

Весь комплекс работ разобьем на 3 этапа.

Полный комплекс работ по модернизации и последовательность их выполнения исполнителями с учетом нормативов сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Комплекс работ по модернизации электропривода дымососа

Наименование работ	Исполнители	Дни
<b>Подготовительные работы</b>		
10. Получение задания и ознакомление	Научный руководитель, Проектировщик	1
9. Подбор и изучение литературы	Проектировщик	14
8. Выбор методики испытания	Научный руководитель, Проектировщик	7
<b>Экспериментальные работы</b>		
7. Создание и отладка имитационной модели	Научный руководитель, Проектировщик	40
<b>Заключительные работы</b>		
6. Обоснование результатов	Бакалавр-проектировщик	5
5. Обработка результатов	Проектировщик	14
4. Оформление проекта	Бакалавр-проектировщик	21
3. Оформление графической части	Бакалавр-проектировщик	7
2. Обсуждение с заказчиком	Проектировщик	7
1. Сдача проекта	Научный руководитель, Проектировщик	1
Итого		117

График выполнения работ по модернизации согласно таблице 8 представлен на рисунке 44.

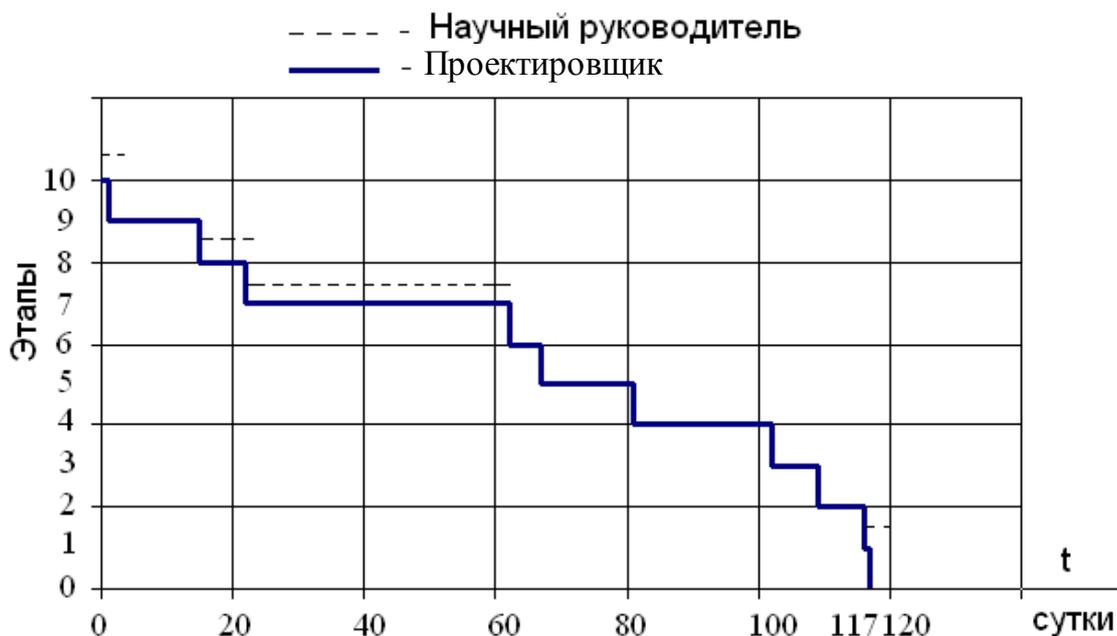


Рисунок 44 - Этапы работ по модернизации электропривода дымососа.

Таким образом, работы по модернизации проводятся в течение

$$Q = N_m / N_{p.d} = 117 / 26 = 4,5 \text{ месяцев,} \quad [22]$$

где  $Q = 4,5$  – количество месяцев, в течение которых проводится модернизация;  $N_m = 117$  – количество дней, в течение которых проводится модернизация;  $N_{p.d} = 26$  – количество рабочих дней в месяце.

### **4.3 Организация ПНР**

В связи с быстрым развитием техники, ПНР проводятся на всех, без исключения, предприятиях, где осуществляется реконструкция и модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большой удельный вес в общей стоимости развития завода.[22]

Организация и планировка ПНР производится для конкретных производств параллельно с расчетами по организации и планированию строительства, либо модернизации производства, в соответствии с нормативными актами. Финансирование ПНР осуществляется из ремонтного фонда предприятия, либо цеха (в зависимости от масштабов и стоимости).

#### **4.3.1 Структура проведения ПНР**

ПНР являются важным звеном подготовки оборудования к эксплуатации. Состав ПНР определен, исходя из сложности оборудования электропривода и механизма работы.

Состав электропривода:

- дымосос типа ДН-6,3-1500;
- преобразователь частоты VLT-2855 PT4 B20 ST R0DB F10 фирмы Danfoss;
- менеджер горения Weishaupt W-FM 100;
- преобразователь интерфейса RL-232-485;
- измерительный преобразователь давления JUMOdNRANS p02;

- автоматические выключатели типа АЗ110;
- плавкие предохранители ПР-2-60;
- монтажные и соединительные провода.

Целью проведения ПНР является доведение электрооборудования котлоагрегата до соответствия требованиям, предъявляемым нормативными документами и технологическим процессом.

Весь комплекс работ разобьем на 5 этапов, а осуществит его бригада из 3-х человек в следующем составе: электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда.

Полный комплекс ПНР и последовательность их выполнения исполнителями сведем в таблицу 11.

Таблица 11 - Комплекс пуско-наладочных работ

Наименование работ	Исполнители	Часы
<b>1. Подготовительный этап</b>		
- ознакомление с проектом, выявление неточностей;	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	6
- составление графика проведения ПНР	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- подготовка аппаратуры и инструмента;	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- внешний осмотр оборудования и проверка его готовности	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	1
- определение соответствия техническим характеристикам установленного оборудования	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- составление рабочей программы наладки и испытаний с учетом особенностей объекта	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
<i>ИТОГО 1-й этап</i>		15
<b>2. Проверочные и монтажные работы</b>		
- проверка объема электромонтажных работ и их соответствия рабочим чертежам проекта	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	4

- проведение электромонтажных работ	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	14
- проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в случае необходимости характеристик	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	4
- проверка правильности выполнения схем автоматики	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	4
<i>ИТОГО 2-й этап</i>		26

Таблица 11 - Комплекс пуско-наладочных работ (продолжение)

<b>3. Наладочные работы</b>		
- наладка и настройка ПЧ	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	6
- проверка работы и функционирования блоков защиты и сигнализации	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	3
- проверка датчика давления	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	1
- проверка диапазона изменения напряжения преобразователя	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	1
- настройка задатчика интенсивности	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- итоговая проверка работы защиты и блокировок	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- настройка и снятие необходимых характеристик элементов САУ	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	8
- испытание оборудования вхолостую и под нагрузкой	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
<i>ИТОГО 3-й этап</i>		25
<b>4. Комплексное опробование</b>		
- обеспечение взаимосвязей устройств в составе электроустановки	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- проверка режимов работы электропривода при работе с пульта управления	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
<i>ИТОГО 4-й этап</i>		4
<b>5. Оформление документации</b>		
- составление протокола наладки	Электрик участка	4
- внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений	Электрик участка	4
<i>ИТОГО 5-й этап</i>		8
<b>ИТОГО весь комплекс работ</b>		78

График выполнения пуско-наладочных работ согласно таблице 9 представлен на рисунке 45.

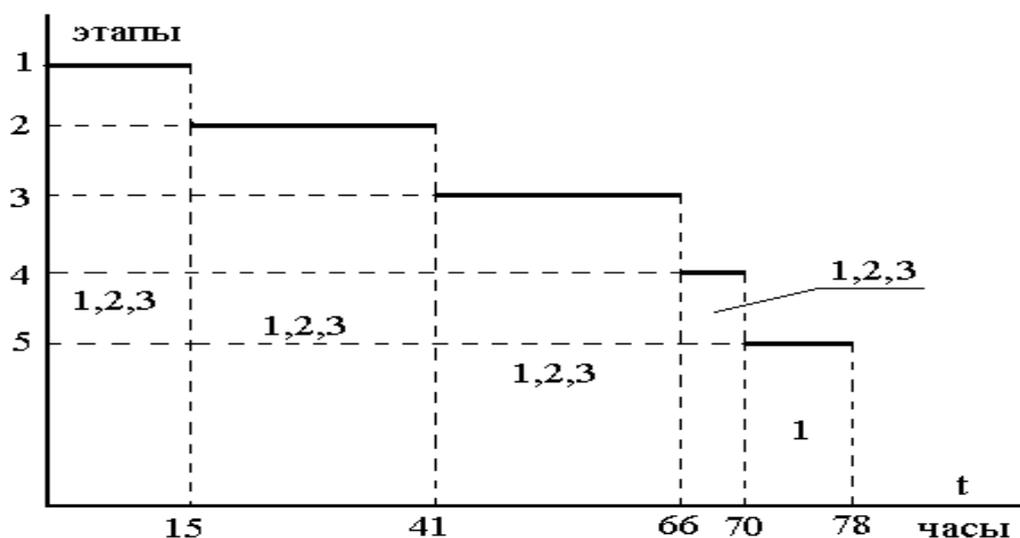


Рисунок 45 - Этапы пуско-наладочных работ:  
1-электрик участка, 2-слесарь КИП и А 6-го разряда, 3- электро-  
монтер 5-го разряда.

Весь комплекс ПНР проводится бригадой за 10 рабочих дней. Все работы ведутся в строгом соответствии с нормами их проведения.

#### 4.4. Бюджет проекта

При планировании бюджета проекта необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

Затраты на специальное оборудование для выбора методики испытания, создания и отладка имитационной модели не предусматриваются.

##### 4.4.1 Определение стоимости пуско-наладочных работ

Определение стоимости пуско-наладочных работ проводилось по методике, принятой в [22] с учетом цен по прайс-листам официальных сайтов заводов-изготовителей.

Стоимость пуско-наладочных работ включает:

- заработная плата;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- накладные расходы.

Стоимость основного оборудования приведена в таблице 12.

Таблица 12 - Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество	Цена за ед., руб	Стоимость, руб
Преобразователь частоты VLT-2855 PT4 B20 ST R0DB F10 фирмы Danfoss	1 шт.	60000	60000
Менеджер горения Weishaupt W-FM 100	1 шт.	2400	2400
Преобразователь интерфейса RL-232-485	1 шт.	1500	1500
Измерительный преобразователь давления JUMO dTRANS p02	1 шт.	7000	7000
Автоматический выключатель типа А3110	1 шт.	800	800
Плавкие предохранители ПР-2-60	3 шт.	200	600
Прочие расходы			5000
ИТОГО:			77300

Все работы производятся в соответствии с нормами их проведения.

В таблице 13 представлена основная заработная плата бригады на пуско-наладочные работы.

Таблица 13 - Зарботная плата бригады на пуско-наладочные работы

Квалификация рабочего	Тарифная ставка (Тс) руб./час	Премия (Пр.) 1,86	Районный коэффициент $K_p=1,3$	Всего, руб./час	Всего часов	Всего начислено, руб.
Электрик участка	22	18,92	12,28	53,2	78	4150
Слесарь КИП и А 6 – го разряда	15	12,9	8,37	36,24	70	2540
Электромонтер 5 – го разряда	13,75	11,83	7,67	33,25	70	2330
ИТОГО						9020

Основная заработная плата наладчиков, с учетом районного коэффициента  $K_p = 1,3$  и премии  $Pr = 1,86$

$ЗП_{осн} = Tc \cdot Пр \cdot Kp \cdot T = 22 \cdot 1,86 \cdot 1,3 \cdot 78 = 4150$  руб, - основная зарплата электрика участка [22],

где T- время пуско-наладочных работ.

$ЗП_{осн}^* = 9020$  руб. – итоговая заработная плата всех наладчиков.

Дополнительная заработная плата наладчиков составляет 10 % от итоговой основной

$$ЗП_{доп} = 0,10 \cdot ЗП_{осн}^* = 0,1 \cdot 9020 = 900 \text{ руб.} \quad [22]$$

Отчисления на социальные нужды в РФ составляют 30 % от основной и дополнительной заработной платы

$$C_{сн} = 0,30 \cdot (ЗП_{осн}^* + ЗП_{доп}) = 0,30 \cdot (9020 + 902) = 2976,6 \text{ руб.} \quad [22]$$

Накладные расходы при производстве пуско-наладочных работ составляют 40 % от основной заработной платы основных рабочих:

$$Нр = 0,4 \cdot ЗП_{осн}^* = 0,4 \cdot 9020 = 3610 \text{ руб.} \quad [22]$$

Расчёт стоимости ПНР сведём в таблицу 14.

Таблица 14 - Смета затрат ПНР

Наименование статьи расходов	№	Сумма, руб.	Уд. вес, %
Основная заработная плата	1	9020	56,0
Дополнительная заработная плата	2	900	5,5
Отчисления в социальные фонды	3	2976,6	16,1
Накладные расходы	4	3610	22,4
Стоимость ПНР		16506,6	100,0

В этом разделе была составлена смета затрат на проведение ПНР электропривода дымососа котлоагрегата, построен график проведения работ бригадой.

Успешная работа бригады наладчиков зависит от правильного планирования ПНР и надлежащего материально-технического снабжения, то есть своевременной поставки материалов, инструментов и других принадлежностей.

В то же время немаловажную роль играет квалификация наладчиков и их материальная заинтересованность.

## 4.5 Определение ресурсной, финансовой, социальной и экономической эффективности исследования.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

### 4.5.1 Интегральный финансовый показатель

Определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p.i}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad [22]$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость всего проекта;

$\Phi_{p_i}$  – стоимость  $i$ -го варианта (таблица 12) исполнения включая ПНР (таблица 14);

$$\Phi_{p1} = 77,300 + 16,110 = 93,410 \text{ тыс.руб.};$$

$$\Phi_{p2} = 80,000 + 16,110 = 96,110 \text{ тыс.руб.};$$

$$\Phi_{p3} = 81,200 + 16,110 = 97,310 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{93,410}{97,310} = 0,96;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{96,110}{97,310} = 0,98;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{97,310}{97,310} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

## 4.5.2 Интегральные показатели эффективности

Определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad [22]$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 15).

Таблица 15 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Модель №1	Модель №2	Модель №3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,13	4	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,17	4	3	3
3. Энергосбережение	0,23	5	5	4
4. Надежность	0,27	5	4	4
5. Материалоемкость	0,20	5	5	4
Итого	1	4,6	4,2	3,6

$$I_{p-исп1} = 0,13 \cdot 4 + 0,17 \cdot 4 + 0,23 \cdot 5 + 0,27 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 = 4,7;$$

$$I_{p-исп2} = 0,13 \cdot 4 + 0,17 \cdot 3 + 0,23 \cdot 5 + 0,27 \cdot 4 + 0,20 \cdot 5 = 4,26;$$

$$I_{p-исп3} = 0,13 \cdot 3 + 0,17 \cdot 3 + 0,23 \cdot 4 + 0,27 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 = 3,7.$$

### 4.5.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{\text{р-исп}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad [22]$$

$$I_{\text{исп.}1} = \frac{I_{\text{р-исп}1}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1}} = \frac{4,7}{0,96} = 4,89;$$

$$I_{\text{исп.}2} = \frac{I_{\text{р-исп}2}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2}} = \frac{4,26}{0,96} = 4,43;$$

$$I_{\text{исп.}3} = \frac{I_{\text{р-исп}3}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3}} = \frac{3,7}{1,0} = 3,7.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ) [22]:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}1} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}1}} = \frac{4,89}{4,89} = 1;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}2} = \frac{I_{\text{исп.}2}}{I_{\text{исп.}1}} = \frac{4,43}{4,89} = 0,9;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}3} = \frac{I_{\text{исп.}3}}{I_{\text{исп.}1}} = \frac{3,7}{4,89} = 0,75.$$

Таблица 16 - Сравнительная эффективность разработки

№п/п	Показатель	Модель №1	Модель №2	Модель №3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	0,98	1,0
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,26	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,89	4,43	3,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,9	0,75

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективно-

сти указывает на первый вариант исполнения, который использовался в данном проекте, как наиболее эффективный.

В результате сравнения и оценки критериев комплекта электропривода, в состав которого входит следующее оборудование: преобразователь частоты VLT-2855 PT4 B20 ST R0DB F10 фирмы Danfoss, дымосос типа ДН-6,3-1500, менеджер горения Weishaupt W-FM 100 и т.д., у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения ПНР, определено количество работников, рассчитаны затраты. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективным получается первая модель электропривода. Таким образом, использование данного электропривода дает положительный экономический эффект: сократится число обслуживающего персонала, а значит, сократятся затраты на оплату труда.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-7101	Черкашину Михаилу Олеговичу

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИЭО)	<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Специалитет	<b>Направление/специальность</b>	Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)

чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.

ГОСТ 12.1.003-91 – 92; ГОСТ 1.21.019; ГОСТ 12.3.009-76 – 77; Р 2.2.2006 – 05; ТК; ПУЭ; ПЭЭП

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- действие фактора на организм человека;
- планирование промышленного помещения;
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

- При организации рабочего места необходимо учитывать требования безопасности, промышленной санитарии, эргономики, технической эстетики.

- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Напряженность электрического поля в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц не должна превышать 25 В/м, а в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц не больше 2,5 В/м.
- СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Уровень звукового давления не должен превышать 60 дБА.
- СН 2.2.4/2.1.8.556–96. Уровень вибрации не должен превышать 77 дБ.
- ГОСТ 12.1.005 — 76. В теплый период года оптимальная температура равна 22...25°С, относительная влажность при этом до 55 %, скорость движения воздуха 0,2...0,5 м/с

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- воздух рабочей зоны;
- метеорологические условия;
- физическая тяжесть;
- недостаточная освещённость;
- электробезопасность (в том числе, статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);

пожаро-, взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

3. Охрана окружающей среды:

анализ воздействия потребления электроэнергии

4. Защита в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС на объекте;
- выбор наиболее типичной ЧС;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;

разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

**5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

*Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности	Сечин Андрей Александрович	Доцент, к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-7101	Черкашин Михаил Олегович		

## 5. Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов труда работников котельной, разработка мер защиты от них, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Кроме того, в разделе рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

### 5.1 Комплексный анализ опасных и вредных факторов труда

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, результаты 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 [19].

Рабочее помещение должно соответствовать количеству работающих и размещенному в них комплексу технических средств. Общие рабочие компоненты должны иметь естественное освещение, в сочетании с искусственным освещением в темное время суток. Окраска помещений существенно влияет на нервную систему человека, его настроение. Поэтому, необходимо окрашивать помещение в соответствии с цветом технических средств. Кроме этого выбор цвета определяется освещенностью помещения, чем выше отраже-

ние света стенами и оборудованием, тем выше освещенность.

Элементы условий труда, выступающих в роли опасных и вредных производственных факторов, можно разделить на четыре группы [17]:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

На здоровье персонала котельной оказывают два вида факторов: физический и психофизиологический.

К группе физически опасных факторов производства относится опасность поражения электрическим током.

К группе физических вредных факторов относятся: неблагоприятные климатические условия, шум и вибрация, электромагнитное поле, освещенность, возможная загазованность.

К вредным психо-физическим производственным факторам относятся: статические, динамические и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, утомление, эмоциональные перегрузки).

Большое значение в процессе труда имеет организация рабочего места.

## **5.2 Производственная санитария**

Рабочим местом является зона приложения труда определенного работника или группы работников. При организации рабочего места необходимо учитывать требования безопасности, промышленной санитарии, эргономики, технической эстетики. Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной травмы. При планировании промышленных помещений необходимо соблюдать нормы полезной площади для работающих, а также объем промышленного помещения.

Основным рабочим местом персонала является площадь котельной. Котельная имеет следующие размеры:

- длина помещения – 9м,
- ширина помещения – 6м,

- высота помещения – 4м.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура воздуха в помещении, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Эти параметры в комплексе и по отдельности влияют на организм человека. В цехе во все периоды года поддерживается одна температура и относительная влажность (таблица 17).

Метеорологические условия – оптимальная и допустимая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха – устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в соответствии с требованиями [19], исходя из категорий тяжести выполняемой работы, величины избытков явного тепла и периода года.

По степени физической тяжести работа персонала относится к категории тяжелых работ. Основные нагрузки на организм – физические, нервно-психологические, а также зрительные. В основном все метеорологические параметры цеха удовлетворяют требуемым нормам (таблица 17).

На производительность труда и состояние здоровья человека оказывает влияние состояние воздуха и метеоусловий рабочей зоны, которые характеризуются рядом параметров.

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы [16], по которой предельно-допустимая концентрация составляет более  $10\text{мг/м}^3$ .

Одновременно в рабочем помещении находится в среднем 3 человека, вентиляция в помещении искусственная: приточка и вытяжка. Для поддержания в рабочем помещении в холодное время года температуры воздуха  $22 - 24^\circ\text{C}$  используют систему отопления на трубчатых, самоварных регистрах.

Таблица 17 – Допустимые и оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах котельной

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Тяжелая -III	16-18	13-19	40 -60	<75	< 0,3	< 0,5
Теплый		18-20	15-26				

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же 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.

В помещении котельной используется комбинированное освещение (общее и местное), искусственное и естественное. Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности.

Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий в соответствии с [16].

Согласно санитарно – гигиеническим требованиям рабочее место должно освещаться естественным и искусственным освещением. Персонал котельной следит за контролируемыми параметрами с местного пульта управления, напрягая при этом зрение. По нормам освещения [16] и отрасле-

вым нормам освещения рекомендуется 300 - 500 лк при общем освещении.

Произведем расчет освещенности.

Длина помещения (А) – 9м.

Ширина помещения (В) – 6м.

Высота помещения (Н) – 4 м.

Высота рабочей поверхности (h) – 1,1 м.

Коэффициент отражения стен ( $\rho_c$ ) – 10%

Коэффициент отражения потолка ( $\rho_n$ ) – 30%

Коэффициент запаса (К) – 1,6

Коэффициент неравномерности (Z) – 1,1

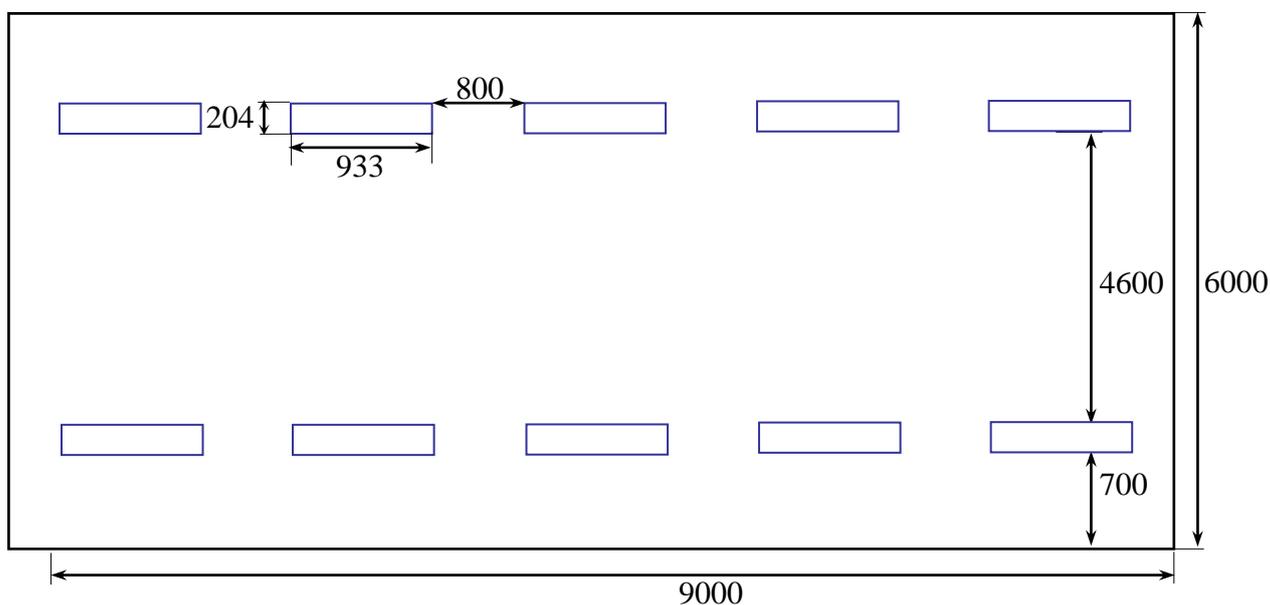


Рисунок 46 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

1. Выбираем светильники ОДР-2-30 и располагаем их согласно рисунку 1, учитывая, что длина светильников: 933 мм., ширина: 204 мм. Высота подвеса над полом: 3,5 м.

Расстояние от светильников до стен выбираем 0.7 – 0.8 м. ( $\approx 1/3 L$ )

2. Найдём индекс помещения :

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{24}{2,4(9+6)} = \frac{24}{36} = 0,67$$

где  $S$  – площадь помещения,  $m^2$ ;

$h$  – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м;

A, B – стороны помещения, м.

3. По таблицам находим:

- коэффициент использования: 48%
- минимальная освещённость: 300 лк

4. Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,6 \cdot 54 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,48} = 2970 \text{ лк}$$

где F – световой поток каждой из ламп, лм;

E – минимальная освещённость, лк;

K – коэффициент запаса;

S – площадь помещения, м<sup>2</sup>

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока;

Z – коэффициент неравномерности освещения.

Выбираем 20 люминесцентных лампы типа ЛБ2180-140 со световым потоком 3000 лм. по 2 шт. в каждый светильник.

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Он может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а так же проникает извне. В котельной присутствует постоянный шум от работающих котлоагрегатов.

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

Предельно допустимые значения, характеризующие шум и вибрацию регламентируются [16]. Норма эквивалентного уровня звука в помещении цеха равна 60 дБ по шкале А.

При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-

сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови. Уровень напряженности в котельной 0,5 кВ/м, что значительно ниже предельно допустимого уровня.

Опасные психофизиологические и вредные производственные факторы, согласно ССБТ делятся на физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

При организации рабочего места необходимо выполнять требования эргономики, то есть учитывать все факторы, влияющие на эффективность действий человека при обеспечении безопасных приемов его работы.

Размер зоны приложения труда зависит от характера труда и может ограничиваться площадью, оснащенной технологическим основным и вспомогательным оборудованием, технологической оснасткой, инструментами и приспособлениями, а также пультом и щитом управления.

Предметом эргономики является конкретная деятельность человека, использующего машины, а объектом исследования – система «человек – машина – среда».

К эргономическим показателям относятся:

- гигиенические;
- антропологические;
- физиологические;
- эстетические.

Рабочие места проектируются с учетом антропометрических данных человека усредненных размеров человеческого организма, так как если размещение органов управления не соответствуют возможностям оператора, то выполняемая работа будет тяжелой и утомительной.

Рабочее место человека-оператора характеризуется рабочей средой, т.е. совокупностью факторов внешней среды. К ним относятся физические, химические, биологические.

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.

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

ширина не менее 1,0м; длина не менее 2,0м; высота рабочей поверхности над полом 1,5м.

Главным органом управления котлоагрегатом является пульт местного управления, с помощью которого в преобразователь частоты вводятся команды.

Немаловажное значение для условий работы имеет размещение пульта. Пульт должен быть расположен на площадке с размерами 1,5×1,5м. Клавиши пульта ярко изображены. Все это позволяет создать оптимальные условия для работы.

Располагать рабочее место, оборудованное пультом необходимо таким образом, чтобы в поле зрения персонала не попадали окна и осветительные приборы. Они не должны находиться непосредственно за спиной.

Большое значение имеет цветовое решение при оформлении помещения цеха. Психофизиологическое воздействие цвета первый и наиболее важный фактор, учитываемый при выборе цветового решения. Учитывая характер работ, следует выбирать неяркие, малоконтрастные оттенки, которые не рассеивали бы внимания в рабочей зоне.

### **5.3 Техника безопасности**

Электробезопасностью является система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Персонал работает в непосредственной близости от установок. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей станка);
- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

- имеется опасность короткого замыкания.

Для снижения полученного поражения электрическим током применяются деревянные трапы на всю длину зоны обслуживания, резиновые диэлектрические коврики, а также персоналу выдаются перчатки и спецодежда из резины. До выдачи все испытывается.

Все помещения делят на:

- помещения с повышенной опасностью;
- особо опасные помещения;
- помещения без повышенной опасности.

Согласно классификации помещений по опасности электропоражений помещение котельной относится к помещению с повышенной опасностью, т.к. имеет токопроводящие полы.

Все меры обеспечения безопасности эксплуатации электроустановок можно разделить на подгруппы.

#### **Организационные мероприятия :**

- оформление работ нарядом, распоряжением или в порядке текущей эксплуатации
- допуск к работе
- надзор во время работы
- оформление перерывов и окончания работ

#### **Технические мероприятия:**

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вбли-

зи которых должна быть проведена работа, и принятие мер, в результате которых становится невозможна подача напряжения к месту работы;

- вывешивание запрещающих плакатов;
- проверка отсутствия напряжения на участке работ и наложение на токоведущие части заземлений;
- ограждение места работ и вывешивание указывающих плакатов;

#### **Эксплуатационные мероприятия:**

- при любой неисправности необходимо обращаться к ответственному за помещение котельной;
- персоналу не разрешается разбирать оборудование, работать в верхней одежде и другое.

Длительное положение оператора котельной стоя, монотонность труда, напряжение зрения приводит к физической усталости человека, снять которое поможет так называемая зарядка для глаз, разминка для тела.

Оптимальная организация режима труда и отдыха, рациональная организация трудового процесса позволяет снизить перегрузки при умственном труде.

## **5.4 Пожарная безопасность**

Основы противопожарной защиты предприятий определены в [17].

Пожар представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую материальную ценность, и возникновением пожара в соседних помещениях. А также может представлять серьезную угрозу жизни и здоровью персонала.

Согласно [17], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как производственное помещение по степени пожароопасности относится к категории Г, т.е. к помещениям с газообразными сгораемыми веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

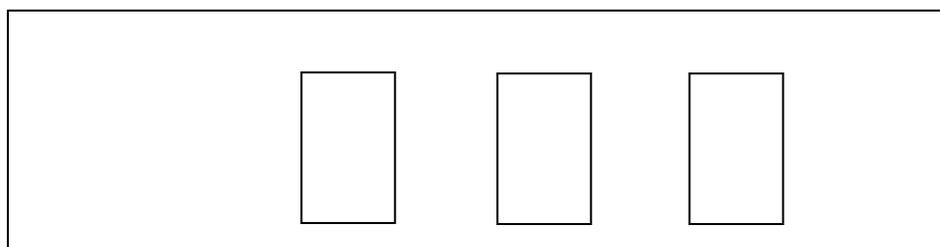
К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Причиной загорания может быть:

- короткое замыкание в блоке питания или высоковольтном блоке;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: двери, столы, изоляция кабелей и т.п.;
- наличие кислорода, как окислителя процессов горения;
- наличие утечек с подводящих трубопроводов.

Необходимо предусмотреть ряд мер, направленных на обеспечение тушения пожара:

- обеспечить подъезды к зданию;
- обесточивание электрических кабелей;
- наличие пожарных щитов и ящиков с песком в коридорах, асбестовое полотно;
- наличие гидрантов с пожарными рукавами;
- тепловая сигнализация;
- телефонная связь с пожарной охраной;
- огнетушители: воздушный пенный ОВП-8 и углекислотный ОУ-5.



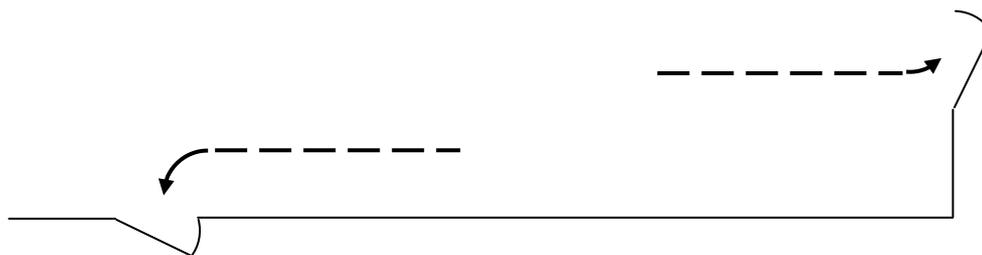


Рисунок 47 – План эвакуации персонала при пожаре

## 5.5 Охрана окружающей среды

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 технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Одна из самых серьезных проблем — потребление электроэнергии. С увеличением количества различных видов электрооборудования, увеличится 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 водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрообо-

рудование с малым энергопотреблением.

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

Наша газовая котельная оборудована современными импортными горелками фирмы «Weishaupt». Управление режимом розжига, горения и защиты осуществляется от менеджера горения Weishaupt W-FM 100 котла и щита управления. Обработка сигналов и управление механизмами горелки (сервопривод воздушной заслонки, сервопривод газового дросселя) происходит в цифровой форме по CAN-шине.

При неправильном соотношении «газ-воздух» природный газ сгорает неполностью и в дымовых газах содержится большое содержание CO, NO<sub>2</sub> и т.п. Теперь, с помощью частотного преобразователя, разряжение в топке котла держится одинаковым при всех режимах работы (диапазон изменения мощности горелки от 30% до 100%, в зависимости от температуры наружного воздуха), а настройка соотношения «газ-воздух» при изменении мощности горелки не сбивается, поэтому содержание вредных газов в дымовой трубе минимальное.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработан частотно-регулируемый электропривод дымососа котлоагрегата ЗАОСИБ 2000.

В ходе работы произведен расчет параметров электродвигателя дымососа, выбраны преобразователь частоты, измерительный преобразователь давления, конвертер интерфейса для обеспечения полудуплексной связи между устройствами с различными интерфейсами. Разработаны функциональная, структурная схемы системы автоматического регулирования. В программной среде MathCad 2001Rus рассчитаны статические механические и электромеханические характеристики системы преобразователь частоты-асинхронный двигатель. Для исследования переходных процессов в программе Simulink пакета MatLab6.1 созданы имитационные модели САУ ЭП дымососа при скалярном управлении, получены графики переходных процессов при работе электропривода в основных режимах работы.

Как показали результаты расчета статических характеристик и анализ переходных процессов, для обеспечения качественных показателей электропривода, отвечающих требованиям технологического процесса, достаточно использовать скалярное управление преобразователем при законе управления  $U/f = \text{const}$  с компенсацией момента и скольжения. При этом обеспечивается требуемый диапазон регулирования 1:10, необходимая точность поддержания скорости не хуже 3%, что соответствует техническому заданию, время регулирования определяется постоянной времени датчика интенсивности.

В экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы проектирования и проведения пуско-наладочных работ при вводе в эксплуатацию разработанного электропривода. Составлена смета затрат на проведение работ, рассчитана ожидаемая экономия затрат на электроэнергию после модернизации.

В разделе "Безопасность и экологичность проекта" были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматизированный электропривод / под ред. И.И. Петрова и др. -М.: Энергия, 1980.
2. Автоматизированный электропривод / под ред. Н.Ф. Ильинского и др. -М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Алиев И.И., Абрамова М.Б. Электрические аппараты. Справочник. -М.: Издательское предприятие РадиоСофт, 2004. - 256с.
4. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., доп. - М.: Высш. шк., 2000. -255с.
5. Алиев И.И. Кабельные изделия: Справочник. М.: ИП РадиоСофт, 2001.- 224с., ил.
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат, Ленингр. Отд-ние, 1982.
7. Копылов И.П. Электрические машины. - М.: Высш. шк., Логос, 2000.
8. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов/И.П. Копылов, Б.К. Клоков и др. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высш. шк., 2002. - 757с.
9. 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.-29с.
10. Ю.Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках.- М.: ИК «Ягорба»—«Биоинформсервис», 1998.-144с.
11. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986.-416с.
12. Онищенко Г.Б., Аксенов М.И., Грехов В.П. и др. Автоматизированный электропривод промышленных установок. М.: РАСХН, 2001.-520с.
13. Современные системы автоматизации. 1/2002.
14. Смирнов А.Д., Антипов К.М. Справочная книжка энергетика. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 440с.
15. Справочник по электрическим машинам: Т1 / под ред. И.П. Копылова. - М.: Энергоатомиздат, 1988.

16. ГОСТ 12.1.003 - 76 Шум. Общие требования безопасности.
17. ГОСТ 1.21.004 - 85 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
18. ГОСТ 12.1.030 - 81 Электробезопасность. Защитное заземление, зануление
19. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
20. Охрана труда в машиностроении / под ред. Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроение, 1983.
21. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). - М.: Энергоатомиздат, 1987.
22. Грахова Е.А. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей. Издательство Томского политехнического университета Томск – 2015 .
23. Инструкция по эксплуатации преобразователей частоты серии VLT 2800 фирмы DANFOSS (Дания).
24. Документация на котлоагрегат ЗАОСИБ 2000 производства ОАО "Подольского котельного завода".
25. Каталог фирмы JUMO на 2004г.
26. Конвертеры интерфейсов RS-232, RS-485, RS-422, USB, "Токовая петля", оптоволоконный интерфейс, MicroLan. Официальный сайт НИЛ автоматизации проектирования, [www.rlda.ru](http://www.rlda.ru).
27. Приборы учета. Каталог продукции **000** ЭнергоСнаб. [www.energосnab.ru](http://www.energосnab.ru).
28. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1984.