

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

Энергетический институт

Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Регулируемый электропривод погружного насоса ЭЦВ 6-6,5-125 УДК 62-83-52.522.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Б	Адамчук А.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой ЭПЭО доцент	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный</i> и <i>общекультурный</i> уровень, добиваться <i>нравственного</i> и <i>физического</i> совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике <i>навыки и умения</i> в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>техничко-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P1 0	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные</i> работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P1 1	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P1 2	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Институт - Энергетический
 Направление – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра Электропривод и электрооборудование

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5Б	Адамчук Александр Владимирович

Тема работы:

Регулируемый электропривод погружного насоса ЭЦВ 6-6,5-125	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Асинхронный электропривод насоса ЭЦВ 6-6,5-125 с системой автоматического поддержания уровня воды в резервуаре при помощи преобразователя частоты MBS-FC01, используя среду MexBIOS Development Studio</p> <p>Q=6,5 м³/ч, H=125м, n=3000 об/мин</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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></p>	<p>Исследование технологического процесса автоматического поддержания уровня воды в резервуаре. Выбор оборудования. Расчет параметров и характеристик АД. Система автоматического управления электроприводом. Разработка модели системы автоматического поддержания воды в резервуаре.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Функциональная схема системы автоматического регулирования уровня воды в резервуаре, электрическая схема, алгоритм автоматизированной системы управления</p>

	технологическим процессом, шкаф электроавтоматики
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Основной общий и специальный разделы ВКР</i>	<i>Научный руководитель Гусев Н.В.</i>
<i>Экономическая часть ВКР</i>	<i>Кузьмина Н.Г.</i>
<i>Раздел экология и техника безопасности</i>	<i>Дашковский А.Г.</i>
<i>Раздел на иностранном языке</i>	<i>Краснов И.Ю.</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<i>Основная и специальная части, экономическая часть и раздел экология и техника безопасности – русский язык</i>	
<i>На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:</i>	
<i>Разработка алгоритмов функционирования системы управления в среде MexBIOS Development Studio</i>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭПЭО	Гусев Н.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Б	Адамчук А.В.		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 124 страницы, 49 рисунков, 20 таблиц, 27 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ПОГРУЖНОЙ НАСОС, MBS-FC01, MEXBIOS DEVELOPMENT STUDIO.

Цель работы – провести расчет и исследование электропривода погружного насоса по системе ПЧ-АД, выбрать необходимое оборудование и создать программу по автоматическому регулированию уровня воды в резервуаре.

В работе произведен выбор асинхронного двигателя (АД), преобразователя частоты и способа управления скоростью АД.

Сделан расчет параметров двигателя, преобразователя, механической системы электропривода машины, предельных характеристик, произведен выбор электрического оборудования.

С помощью имитационной модели в MATLAB R2013a проведено исследование АД, получены переходные характеристики, создана модель автоматического регулирования уровня воды в резервуаре.

С помощью MexBIOS Development Studio создана программа по автоматическому регулированию уровня воды в резервуаре.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1. Основные способы регулирования насосов	11
2. Технологический процесс автоматического поддержания уровня воды в резервуаре	18
3. Выбор оборудования.....	19
3.1 Выбор насоса и двигателя	19
3.2 Выбор преобразователя частоты	21
3.3 Выбор реле и автоматов защиты, выбор сечения кабеля для сети высокого напряжения	26
3.4 Выбор магнитного контактора	29
3.5 Выбор датчика уровня воды	30
4. Расчет параметров и характеристик АД	32
4.1 Определение параметров Т-образной схемы замещения.....	32
4.2 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик АД	35
5. Расчет энергетических показателей за цикл работы	38
6. Система автоматического управления электропривода	41
6.1 Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик АД для закона $\frac{U_{1H}}{f}$	41
6.2 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска и наброса нагрузки на валу двигателя	45
6.3 Создание имитационной модели автоматического регулирования уровня воды в резервуаре	48
6.4 Разработка алгоритмов функционирования системы управления в среде MexBIOS Development Studio	52
6.5 Создание имитационной модели автоматического регулирования уровня воды в резервуаре	56
6.6 Разработка электрической схемы	70

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
7.1 Планирование научно-исследовательских работ. Структура работ в рамках научного исследования.....	73
7.2 Смета затрат на проект (Кпр).....	77
7.2.1 Материальные затраты	77
7.2.2 Затраты на амортизацию	77
7.2.3 Затраты на заработную плату	78
7.2.4. Затраты на социальные нужды	78
7.2.5. Прочие затраты.....	79
7.2.6. Накладные затраты	79
7.2.7. Смета затрат на проект	79
7.3 Расчет затрат на реализацию проекта	80
8. Социальная ответственность	84
8.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	84
8.1.1 Воздух рабочей зоны	86
8.1.2 Освещение	87
8.1.3 Защита от шума и вибрации.....	89
8.1.4 Состояние воздушной среды	90
8.1.5 Оценка уровней электромагнитных полей.....	92
8.1.6 Статическое электричество.....	92
8.2 Безопасность в ЧС.....	93
8.3 Охрана окружающей среды	95
8.4 Защита в чрезвычайных ситуациях	96
8.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .	99
Заключение	101
Список использованной литературы.....	103
Приложение А	105
Приложение Б.....	123

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время идет стремление сделать технический процесс наиболее автоматизированным, а также создавать оборудование, наиболее функциональное и доступное для понимания обычному пользователю. Преобразователь частоты с открытой программной платформой MBS-FC01 позволяет пользователям дорабатывать программное обеспечение, оптимизировать его под собственные задачи, в том числе разрабатывать и добавлять собственные программные модули как уровня управления силовым инвертором, так и уровня программно-логического контроллера для решения задач локальной автоматизации. Причем для этого могут использоваться языки как текстового, так и блочно-модульного программирования, что делает процесс доступным не только для профессиональных программистов, но и для инженеров-электроников, системотехников и т. п. При помощи данного оборудования необходимо создать автоматическую систему поддержания уровня воды в резервуаре, используя центробежные насосы.

Центробежные насосы нашли широкое применение в различных сферах деятельности: тепло- и водоснабжение, системы охлаждения, всюду, где требуется перекачка различных жидкостей и, в основном, воды.

В энергетике центробежные насосы широко применяются на тепловых станциях (циркуляционные и конденсатные, сетевые насосы и насосы в системах химводоподготовки), в тепловых сетях систем теплоснабжения (насосоперекачивающие, смешивающие станции), в независимо присоединяемых системах отопления, а также горячего и холодного водоснабжения.

В настоящее время применяется большое количество типов центробежных насосов различного назначения. Это насосы отечественного производства типов К (Км), Д, СЭ, Кс и т.д., а также насосы зарубежных фирм, например, GRUNDFOS. По каждому из указанных типов разработана

и выпускается широкая номенклатура различных номинальных производительностей и напоров, что позволяет в каждом конкретном случае подобрать требуемые характеристики. Следует рассматривать в основном две возможные гидравлические схемы, в которых используются насосные установки. В первом случае это «проточные» схемы, в которых вода после насоса непосредственно разбирается из различных точек трубопроводной системы. Во втором – применяются циркуляционные системы, в которых водоразбор из трубопроводов не производится, или имеет незначительную величину. В дальнейшем будем рассматривать циркуляционные системы, широко распространенным примером которых являются водяные тепловые сети

1. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСОВ

Подбор и работа насосов производится в соответствии с гидравлическими характеристиками систем, для которых должен быть обеспечен требуемый расход теплоносителя или заданный уровень давлений. Это могут быть системы с постоянным или с переменным расходом перекачиваемой среды, связанным с изменением гидравлического сопротивления элементов. В реальной эксплуатации, как для тех, так и для других условий, как правило, необходимо регулирование параметров насосов, что обуславливается двумя факторами.

Во-первых, для циркуляционных систем с постоянным расходом воды, таких как, например, системы отопления при их независимом присоединении к тепловым сетям, необходимость регулирования обуславливается дискретностью номинальных характеристик насосов, которые почти всегда не полностью соответствуют гидравлическим характеристикам систем. При этом за счет регулирования достигается требуемое соответствие, обеспечиваемое поддержанием необходимого перепада давлений на входе в систему или прямого поддержания заданного расхода.

Во-вторых, для систем с переменным гидравлическим сопротивлением элементов, определяющимся работой различных регуляторов (например, регуляторы температуры воды на горячее водоснабжение в системах теплоснабжения и т.д.) необходимость регулирования насосов обуславливается изменением гидравлических характеристик присоединенной системы и соответствующим изменением расхода перекачиваемой воды. В этом случае задачей регулирования является только поддержание заданного перепада давлений (располагаемого напора) в присоединенной системе.

При регулировании насосов в циркуляционных системах производится поддержание давления на всасе циркуляционных насосов за счет работы насосов подпитки. Требуемый перепад давлений в системе обеспечивается поддержанием давления после насосов в подающем трубопроводе.

Принципиально возможно применение трех основных способов регулирования насосов: это регулирование дросселированием части развиваемого напора, регулирование перепуском части воды с нагнетания на всас насосов (регулирование рециркуляцией) и регулирование изменением частоты вращения вала насосного агрегата. В качестве последнего в дальнейшем будет рассматриваться в основном частотное регулирование электродвигателя насоса (ЧРП).

Для понимания процесса организации регулирования при указанных способах, ниже приведены соответствующие диаграммы (графики) совместных характеристик насосов с учетом работы регуляторов и присоединенной сети. При этом режим работы циркуляционной системы (расход воды и перепады давлений) определяется точкой пересечения гидравлических характеристик насоса и сети.

Рассмотрим предварительно регулирование насоса при присоединении сети с постоянными гидравлическими сопротивлениями ее элементов. При этом задачей регулирования является обеспечение требуемого расхода, которое не всегда может быть непосредственно обеспечено насосом с выбранной характеристикой.

Необходимый расход при этих условиях может устанавливаться как за счет использования регулятора расхода, так и поддержанием соответствующего располагаемого напора в присоединенной сети.

На рисунке 1 приведена условная схема циркуляционной системы с регулятором давления и постоянным гидравлическим сопротивлением

сети, а также соответствующая диаграмма при регулировании дросселированием.

Как следует из графика, при отсутствии регулятора давления точкой пересечения характеристики насоса и сети, обуславливающей режим работы циркуляционной системы без регулирования является точка *a*. При этом расход воды в сети будет превышать требуемое его значение, равное V_c . Наличие регулятора приводит к понижению располагаемого напора насоса на величину дросселирования в регуляторе и обуславливает работу системы в точке *б*, что обеспечивает установление требуемого расхода. Точка характеристики, в которой осуществляется работа самого насоса, соответствует при этом точке *в* диаграммы.

В этом случае (при постоянном сопротивлении сети) поддержание заданного перепада давлений ΔH_c обеспечивает величину требуемого расхода. Для рассматриваемых условий вместо регулятора давления может быть использован регулятор, непосредственно поддерживающий расход воды. Диаграмма параметров режимов при этом останется той же самой.

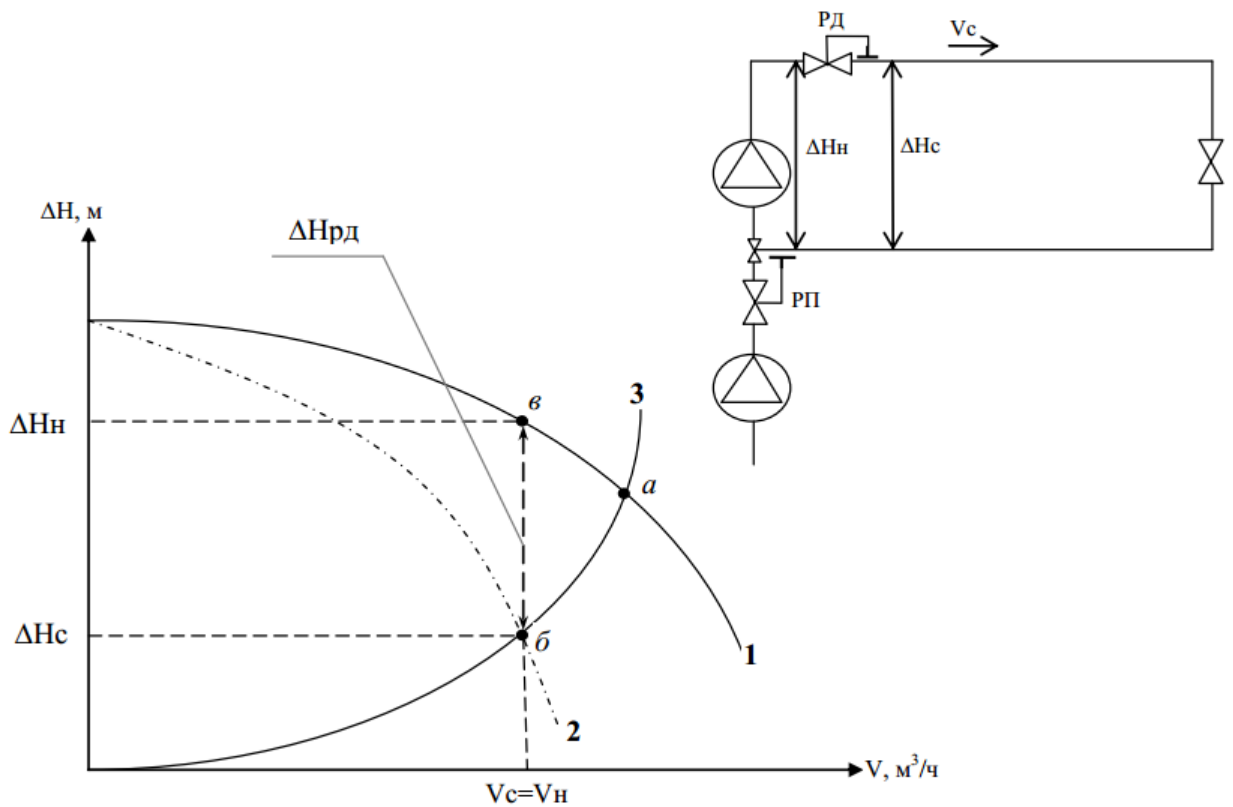


Рисунок 1 - Регулирование дросселированием

- 1 – характеристика насоса
- 2 - характеристика насоса с регулятором
- 3 - характеристика сети
- РП – регулятор подпитки
- РД – регулятор давления

При дросселировании имеют место потери энергии, связанные с регулированием и определяющиеся величиной дросселирования на регулирующем клапане $\Delta H_{рд}$.

Для анализа режимов и возможностей при регулировании рециркуляцией части воды с нагнетания на всас насоса, на рисунке 2 приведена аналогичная представленной ранее диаграмма режимов для такого регулирования при постоянном гидравлическом сопротивлении сети.

Как следует из графика, без регулятора режим работы циркуляционной системы будет соответствовать точке *a* диаграммы, и расход воды будет превышать требуемое значение V_c . Открытие клапана

регулятора на линии рециркуляции позволит увеличить расход воды через насос и снизить в соответствии с характеристикой его развиваемый напор, доводя тем самым расход воды в сети до требуемого. Открытие клапана приводит к работе насоса на сеть с другой, отличной от присоединенной сети характеристикой. При этом режим насоса соответствует точке *в* на диаграмме, а режимы работы собственно присоединенной сети отображаются точкой *б*.

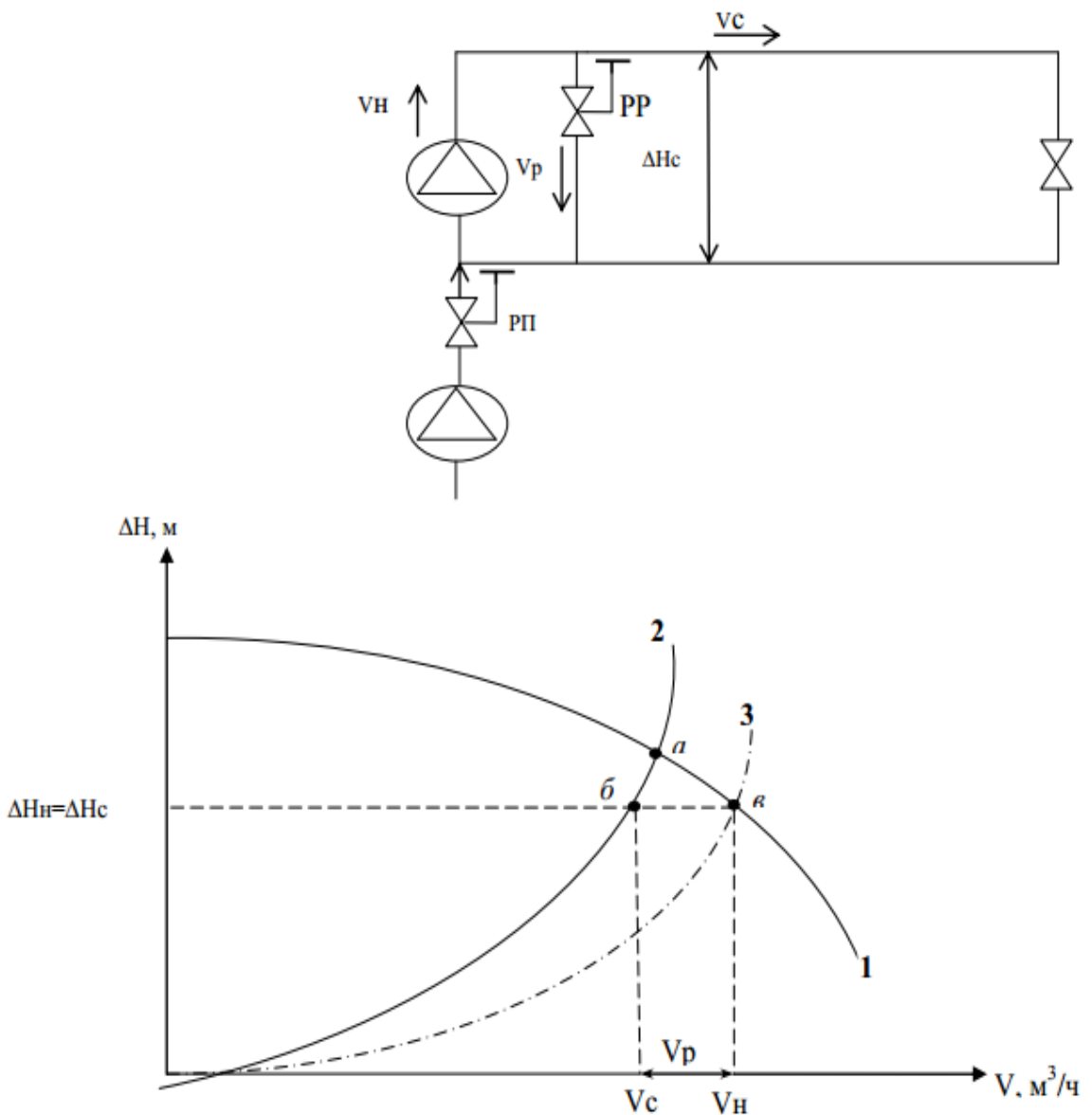


Рисунок 2 - Регулирование рециркуляцией

2 – характеристика сети

3 - характеристика сети с учетом регулятора

РР – регулятор рециркуляции

Остальные обозначения представлены на рисунке 1.

При постоянном гидравлическом сопротивлении сети поддержание регулятором заданного перепада давлений ΔH_c , также, как и в предыдущем варианте регулирования, обеспечивает требуемую величину расхода. Для этих целей на линии рециркуляции вместо регулятора давления может быть установлен регулятор, непосредственно поддерживающий постоянным расход воды в сети V_c . При рециркуляции, на насосе имеют место дополнительные затраты электроэнергии, связанные с регулированием и обусловленные перекачкой дополнительного расхода воды через линию рециркуляции V_p .

При регулировании параметров насоса изменением частоты вращения вала электродвигателя изменяется собственно характеристика насоса, которая получается практически параллельным переносом исходной характеристики, соответствующей номинальной частоте вращения вала.

Диаграмма параметров режима работы для такого способа регулирования приведена на рисунке 3.

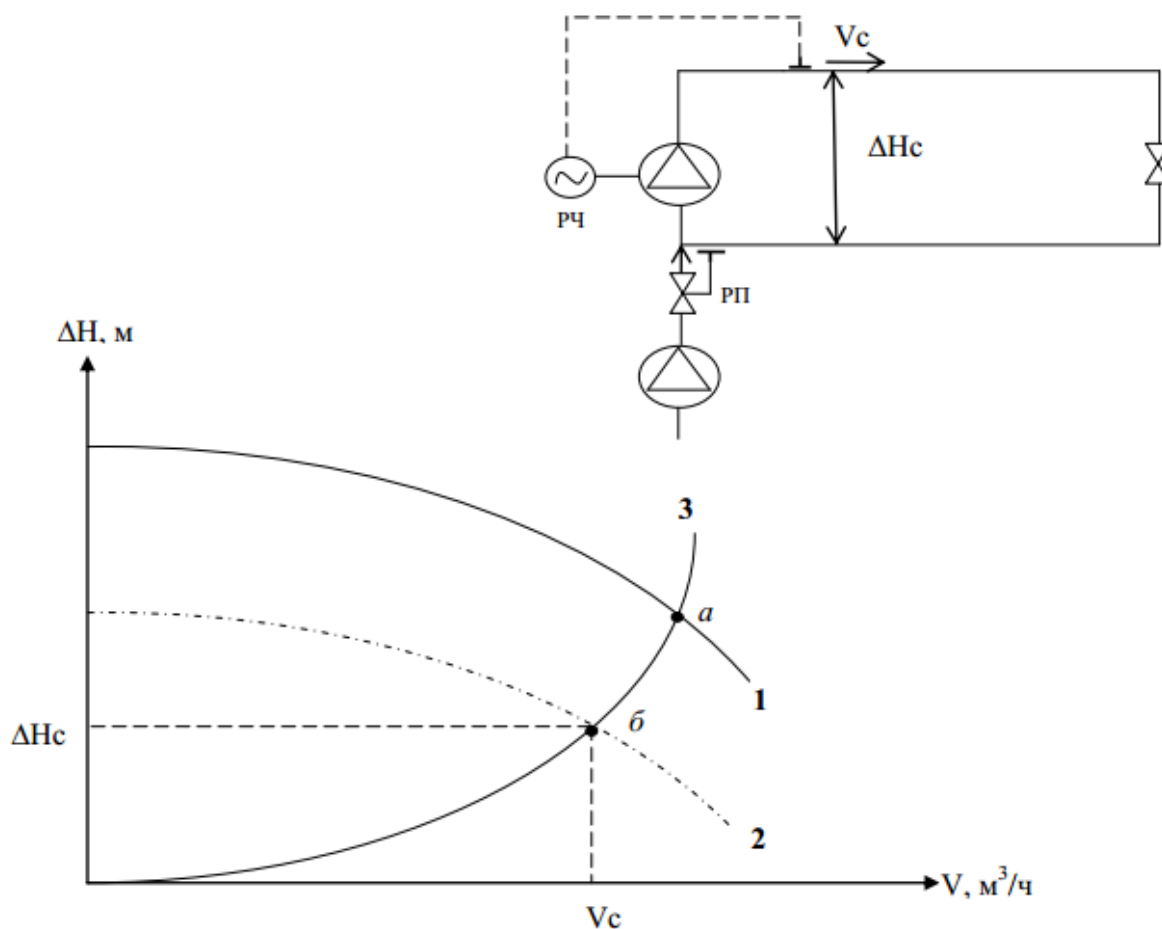


Рисунок 3 - Регулирование изменением частоты вращения

1 – характеристика насоса при номинальной частоте

2 - характеристика насоса при пониженной частоте

3 - характеристика сети

РЧ – регулятор частоты

Как следует из графика, без учета регулирования режим работы сети и насоса соответствует точке *a* и расход воды больше требуемого значения V_c . Использование частотного регулятора обеспечивает такое изменение характеристики насоса, при котором ее пересечение с характеристикой сети соответствует точке *б*, в которой расход воды в системе соответствует требуемому. При этом точка *б* принадлежит новой характеристике насоса (характеристике при сниженной частоте) и потери мощности на регулирование при этом практически отсутствуют.

Обеспечение требуемого расхода воды в присоединенной сети за счет регулирования приводит к дополнительным потерям энергии, за исключением способа частотного регулирования. Следует отметить, что частотные регуляторы в настоящее время являются достаточно дорогим оборудованием, поэтому в качестве менее затратного мероприятия по обеспечению расхода для сетей с постоянным гидравлическим сопротивлением следует рассматривать возможность обрезки рабочего колеса насоса для обеспечения приемлемого совпадения характеристики насоса и присоединенной циркуляционной системы или использование гидромуфт, которые так же как и ЧРП позволяют изменять частоту вращения вала, хотя и с меньшим диапазоном регулирования. Стоимость установки гидромуфты существенно дешевле использования частотного регулятора. Возможно также изменение гидравлических характеристик системы под характеристику насоса. В тепловых сетях это обеспечивается разработкой и проведением наладочных мероприятий. [1]

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В РЕЗЕРВУАРЕ

На рисунке 4 изображен резервуар, в который закачивается вода насосом 1. Имеется два дискретных датчика уровня жидкости, верхний на отметке 3 метра и нижний на отметке 1,5 метра. Информация с датчиков поступает во встроенный в MBS-FC01 микроконтроллер, цель которого поддерживать уровень воды между нижним и верхним датчиком. При необходимости включения насоса, команда с микроконтроллера поступает на ПЧ 1, который в свою очередь запускает Насос 1. В случае аварии ПЧ 1 или Насоса 1, ПЛК дает команду ПЧ 2 на включение Насоса 2. При устранении аварии, снова запускается первый ПЧ и первый Насос.

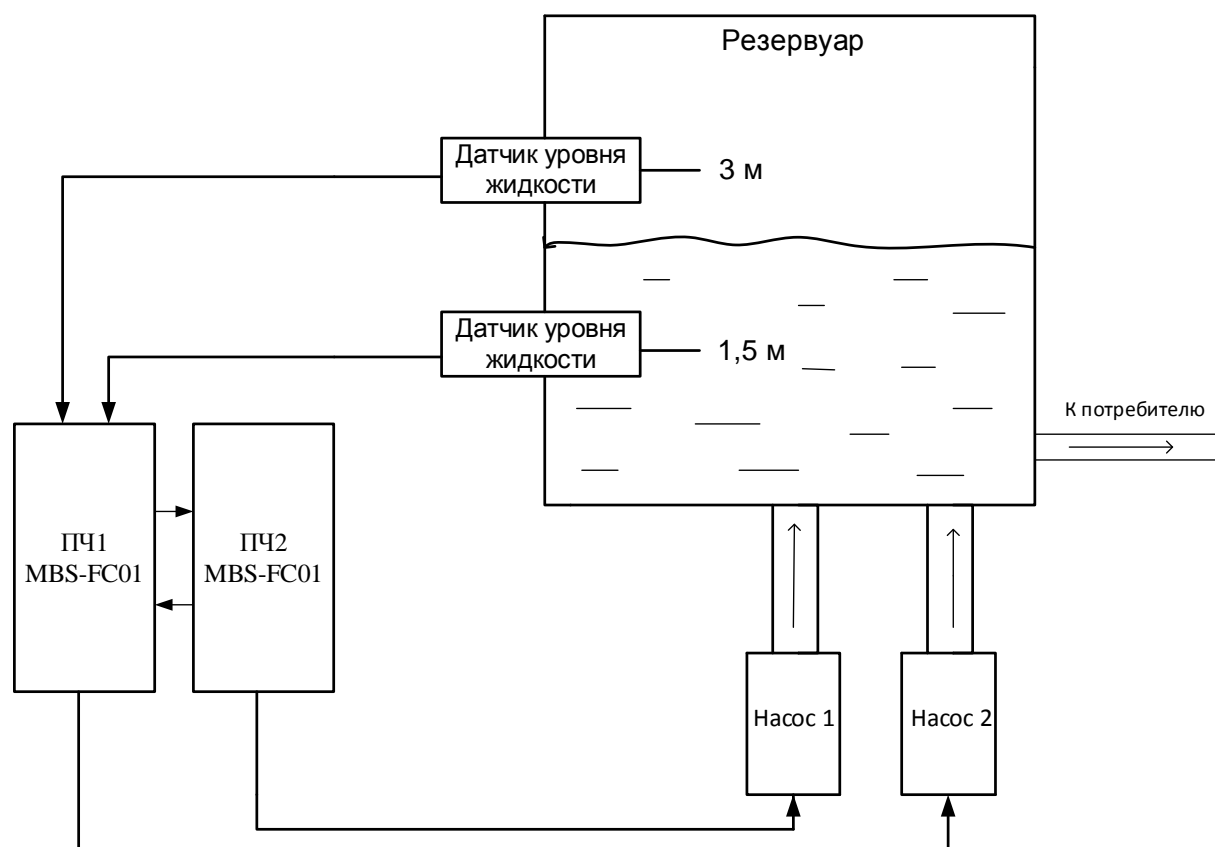


Рисунок 4 – Технологический процесс поддержания уровня воды в резервуаре

3. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Выбор насоса и двигателя

Заданные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1

Производительность, м ³ /с	Напор, м	Скорость вращения вала насоса, об/мин	КПД насоса	КПД передачи	Плотность перекачиваемой жидкости, кг/м ³
0,0018	125	3000	0,8	1,0	1000 (вода)

Коэффициент запаса выбираем в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

$P_{нас.п.}$, кВт	Менее 1	От 1 до 5	От 5 до 50	Более 50
K_3	2 – 1,5	1,5 – 1,2	1,2 – 1,15	1,1

Выбираем $K_3 = 1,15$.

По формуле определим необходимую расчетную мощность, для дальнейшего выбора оборудования (насос, двигатель, ПЧ)

$$P = K_3 \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot 10^{-3}}{\eta} = 1,2 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0018 \cdot 125 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 3,3 \text{ кВт}$$

$$P_H \geq P_{расч} = 3,3 \text{ кВт}$$

где,

K_3 - коэффициент запаса;

$P_{нас}$ - мощность насоса (гидравлическая), кВт;

P_H - давление на напоре насоса, Па;

$Q_{на}$ - производительность насоса, м³/с;

H - полный напор жидкости, м;

ρ - плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

Выбор насоса

По производительности насоса, номинальной мощности двигателя и полного напора жидкости выбираем погружной насос ЭЦВ 6-6,5-125, рисунок 5.



Рисунок 5 – Погружной насос ЭЦВ 6-6,5-125

Насосы типа «ЭЦВ» - артезианский погружной глубинный скважинный центробежный насос, многоступенчатый, секционный, вертикальный, с закрытым лопастным колесом одностороннего входа. Глубинный насос ЭЦВ предназначены для подъема воды общей минерализацией не более 1500мг/л, водородным показателем рН 6,5...9,5, с температурой до 25 °С, с массовой долей твердых механических примесей не более 0,01%, содержанием хлоридов не более 350 мг/л, сульфатов не более 500 мг/л, сероводорода не более 1,5 мг/л. Материал проточной части погружного насоса ЭЦВ – чугун, полифосфонитрилхлорид (норил), нержавеющая сталь, бронза. [2]

Характеристики насоса представлены в таблице 3.

Таблица 3

Наименование	Подача, м3/ч	Напор, м	Длина, мм	Диа мет р, м м	Н, кВт	Потреб ляемый ток,А	Масса, кг
ЭЦВ 6-6,5-125	6,5	125	1370	145	4	10	68

Выбор Двигателя

В погружном насосе ЭЦВ 6-6,5-125 используется трехфазный асинхронный двигатель *АИР 100S2* имеющий следующие параметры, представленные в таблице 4:

Технические характеристики выбранного двигателя АД 100S2

Таблица 4

$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	КПД, %	Коэф. мощности	$I_{\text{ном}}$, А	$M_{\text{пуск}}/ M_{\text{ном}}$	$I_{\text{пуск}}/ I_{\text{ном}}$	$M_{\text{макс}}/ M_{\text{ном}}$	J , кг·м ²
4	2875	0,85	0,88	8,1	2,2	7,5	2,3	0,007

Технические данные двигателей основного исполнения, степень защиты IP 54, класс нагревостойкости изоляции «F», 2p=2, Режим работы продолжительный – S1.

3.2 Выбор преобразователя частоты

В качестве преобразователя частоты выбираем MBS-FC01 V1.1 исп. 2, рисунок 6.



Рисунок 6 - Преобразователь частоты с открытой программной платформой
MBS-FC01

Устройство MBS-FC01 представляет собой преобразователь частоты (далее ПЧ) с открытой программной платформой на базе микроконтроллера TMS320F28335 производства Texas Instruments и силового интеллектуального модуля. [3]

Программное обеспечение ПЧ построено на базе предустановленной во Flash-памяти процессора системы исполнения задач MexBIOS, программы для которой создаются в графической среде программирования MexBIOS Development Studio разработки ООО "НПФ Мехатроника-Про". Эта особенность позволяет пользователям ПЧ дорабатывать программное обеспечение, оптимизировать его под собственные задачи, в том числе разрабатывать и добавлять собственные программные модули как уровня управления силовым инвертором и электродвигателем, так и уровня программно-логического контроллера для решения задач локальной автоматизации. Причем для этого могут использоваться языки как

текстового, так и блочно-модульного программирования, что делает процесс доступным не только для профессиональных программистов, но и для инженеров-электроников, системотехников и т. п.

Конструкция ПЧ MBS-FC01 имеет два варианта компоновки: вертикальный ("этажерка") и горизонтальный, что позволяет оптимизировать размещение преобразователя в шкафу управления. Наличие корпуса преобразователя - опционально.

Система MexBIOS является передовой отечественной САПР для создания систем управления электродвигателей, сервоприводов, ПЧ, источников питания, программируемых логических контроллеров. Применение системы MexBIOS значительно упрощает создание "интеллекта" и встроенного программного обеспечения преобразователей частоты за счет следующих возможностей:

1. Большое количество типовых шаблонов, которые снимают решение таких специфичных задач как конфигурация драйверов периферии и математики векторного управления.

2. Реализация в системе стеков коммуникаций, позволяющей в 2 клика вводить в протокол адрес нового параметра.

3. Применение одной программной оболочки для проектирования и отладки алгоритмов, без смены содержимого флеш-памяти – время между изменением структуры программы и наблюдением результата на реально электродвигателе составляет всего несколько секунд.

4. Предварительное моделирование работы кода с использованием моделей объектов управления.

5. Одновременное использование 6 языков в том числе графического программирования в пределах одного проекта, каждый раз выбирая требуемый для решения задач проекта:

- Процедурное программирование на языке С,
- Программирование с использованием функциональных блок-диаграмм,

- Алгоритмическое программирование,
- Программирование методом "Машина состояний",
- Автоматное и событийное программирование.

Основные характеристики силовой части приведены в таблице 5.

Таблица 5

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение питания силовой части от трехфазного источника переменного тока, В	380
Номинальное напряжение питания силовой части от источника постоянного тока, В	540
Рекомендуемое действующее значение длительного тока, А, не более	6
Рекомендуемое действующее значение максимального тока в течение 1 мин, А, не более	12
Рекомендуемая номинальная мощность двигателя, кВт	2,2
Номинальное напряжение питания источника питания цепей управления, В (переменного тока)	220
Типы подключаемых электродвигателей: одно- либо трехфазный асинхронный, синхронный (в том числе с датчиками Холла), двигатель постоянного тока	

Основные сведения об последовательных интерфейсах приведены в таблице 6.

Таблица 6

Интерфейс	Кол-во	Примечание
Ethernet	1	Через преобразование в SPI
RS-485	1	С гальванической изоляцией
USB 1.1	1	Канал 1 – виртуальный СОМ-порт, канал 2 – программатор для программирования и отладки ПО

Основные сведения об дискретных и аналоговых интерфейсах приведены в таблице 7.

Таблица 7

Интерфейс	Кол-во	Примечание
Дискретные входы с групповой гальванической изоляцией	6	Уровень логической «1» 24 В.
Дискретные входы без гальванической изоляцией	-	Уровень логической «1» 5 В.
Релейные выходы	2	~250 В, 8 А
Аналоговые входы без гальванической изоляции	3	По напряжению, диапазон 0...5 В.
Аналоговые выходы с групповой гальванической изоляцией	-	По напряжению, диапазон 0...10 В.
Интерфейс инкрементного энкодера с	1	А+А уровень -В+В5- Z+Z В - либо А В Z,

гальванической изоляцией		уровень 5 В
--------------------------	--	-------------

Основные сведения об элементах человеко-машинного интерфейса приведены в таблице 8.

Таблица 8

Интерфейс	Кол-во	Примечание
Жидкокристаллический индикатор	1	Символьный, 16x2
Клавиатура	1	3x3 либо 4x4 с разъемом FDZ
Светодиоды	6	
Кнопки	4	
Микропереключатели режимов	1	4-х позиционный

Преобразователь частоты MBS-FC01 V1.1 исп. 2 состоит из трех плат:

- плата управления (модуль управления ControlCard-28335V1.1);
- плата силовая (силовой модуль PowerCard-03V2.2);
- источник питания (модуль PC-03PowerSupplyV1.1).

3.3 Выбор реле и автоматов защиты, выбор сечения кабеля для сети высокого напряжения

По номинальному току и напряжению было выбрано реле РТЛ 1014, рисунок 7.



Рисунок 7 – Тепловое реле РТЛ 1014

Технические характеристики Реле РТЛ 1014 представлены в таблице 9.

Таблица 9

Характеристики	Величина
Тип	1014
Номинальное напряжение	380 В
Диапазон токовой уставки	7-10 А

Также был выбран автоматический выключатель, который предназначен для защиты проводов, кабелей, электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок. Для этого было выполнено следующее:

$$1. I_{расц} \geq I_{дл}, I_{дл} \geq I_{н.ЭД} = 8,1 \text{ А};$$

$$2. I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} \text{ (для одного ЭП);}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{ник} \text{ (для группы ЭП);}$$

$$I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{кр} = 1,5 \cdot 60,75 = 91,12 \text{ А,}$$

$$I_{кр} = I_n = 60,75 \text{ А - пусковой ток.}$$

Выбираем автоматический выключатель типа DEKraft C10 с $I_{ном} = 10 \text{ А}$, рисунок 8.

Характеристическая кривая С этого 10 амперного трехполюсного автомата определяет его применение в защите электроцепей с нагрузками обладающими пусковыми токами до 50 - 100 ампер.

Ширина, которую 3-полюсный автомат С10 занимает на 35 мм дин-рейке составляет три модуля по 18 мм, что в сумме дает 54 мм ширины свободного места на дин рейке, необходимого для установки 3-х полюсного автомата.



Рисунок 8 – Автоматический выключатель DEKraft C10

Кабель для погружных насосов должен соответствовать двум основным параметрам:

- кабель должен быть устойчив к воздействию воды при достаточно низких температурах

- кабель должен соответствовать возлагаемой на него нагрузке по току

Для этих условий выбираем кабель КВВ – кабель с медными жилами, с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластика.

Исходя из таблицы 10, выбираем сечение кабеля. Мощность двигателя 4 кВт, длина кабеля 165 м., следовательно, сечение кабеля 4 мм².

Таблица 10

Мощность двигателя		Сечение кабеля в мм ²										
		4x1	4x1.5	4x2.5	4x4	4x6	4x10	4x16	4x25	4x35	4x50	4x70
Квт	л.с.	Длина кабеля, м										
0.37	0.5	300										
0.55	0.75	250	380									
0.75	1	195	295									
1.1	1.5	145	215	360								
1.5	2	105	160	265	425							
2.2	3	70	110	180	290	440						
3	4	55	85	140	220	330						
4	5.5	40	60	105	165	250	415					
5.5	7.5		45	75	120	180	300	480				
7.5	10		35	55	95	135	220	340	585			
9.2	12.5			47	75	115	190	300	470			
11	15			40	65	95	160	260	405			
13	17.5				60	85	140	225	350	490		
15	20				50	75	125	195	305	430		
18.5	25					58	100	155	245	340	485	
22	30					49	85	130	205	285	410	570
30	40					36	63	96	152	210	305	425

3.4 Выбор магнитного контактора

При выборе магнитного контактора необходимо соблюдать условие:

$$I_e > I_n$$

$$10 \text{ A} > 8,1 \text{ A}$$

По номинальному току выбираем контактор ПМЛ-1100-10А-220АС-УХЛ4-Б-КЭАЗ, рисунок 9.



Рисунок 9 – Контактор ПМЛ-1100-10А-220АС-УХЛ4-Б-КЭАЗ

Технические характеристики:

Номинальный рабочий ток I_e (А): **10**

Напряжение катушки управления (В): **220**

Род тока катушки управления: **АС**

Номинальный рабочий ток I_e (А) для АС3, V=380-400АС: **10**

Номинальный рабочий ток I_e (А) для АС3, V=660АС: **6**

Мощность двигателя Р (kW) для АС3, V=220АС: **2.2**

Мощность двигателя Р (kW) для АС3, V=380АС: **4**

Мощность двигателя Р (kW) для АС3, V=660АС: **5.5**

3.5 Выбор датчика уровня воды

Кондуктометрические датчики уровня одноэлектродные ДУ-1, рисунок 10, представляют собой датчик для комплексных систем измерения и контроля заданного уровня жидкости.

Серия ДУ-1 датчиков уровня кондуктометрического типа применяется для работы в открытых и закрытых металлических емкостях и резервуарах.



Рисунок 10 - Датчик уровня воды ДУ-1

Технические характеристики:

Рабочее давление – не более 16 атм.

Выходной сигнал: 0..24 В, 4..20 мА.

Материал корпуса – 12Х18Н10Т.

Изоляционный материал – керамика.

Рабочая температура – не более плюс 180 °С

4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК АД

4.1 Определение параметров Т-образной схемы замещения

Определить параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя АД (АИР) 100S2, рисунок 11, со следующими каталожными данными:

Номинальная мощность двигателя: $P_n = 4$ кВт

Номинальное фазное напряжение: $U_{1\phi n} = 220$ В

Номинальное напряжение сети: $U_{1лн} = 380$ В

Номинальная частота вращения: $n_n = 2875$ об/мин

КПД в режиме номинальной мощности: $\eta_n = 0,85$ о. е.

Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности: $\cos \varphi = 0,88$ о. е.

Кратность пускового тока: $k_i = 7,5$ о. е

Кратность пускового момента: $k_{II} = 2,2$ о. е

Кратность максимального момента: $k_{max} = 2,3$ о. е

Коэффициент загрузки двигателя: $p_{эс} = 0,75$ о. е

Число пар полюсов: $p = 1$

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

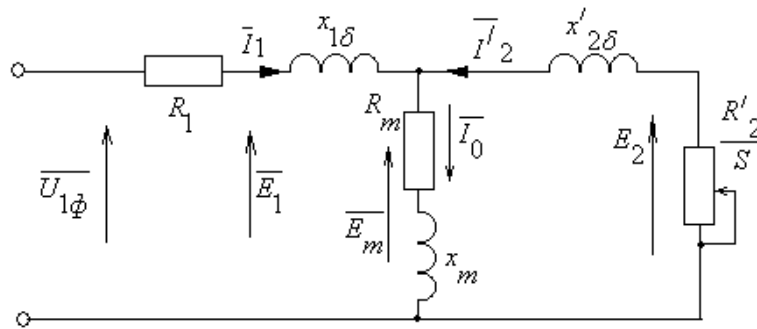


Рисунок 11 - Схема замещения асинхронного двигателя

$U_{1\phi}$ – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;

I_1 – ток обмотки статора;

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

I'_2 – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;

R'_2 – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

$X'_{2\sigma}$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

I_0 – ток холостого хода (намагничивания);

X_m - индуктивное сопротивление контура намагничивания

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме:

$$\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_{1\sigma} \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{E}_m + j \cdot X'_{2\sigma} \cdot \bar{I}'_2 + R'_2 \cdot \bar{I}'_2 / s = 0$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 = 0$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений изображена на рисунке 12.

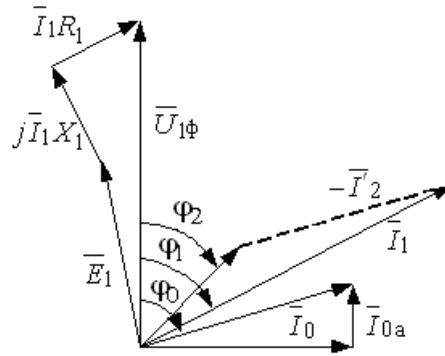


Рисунок 12 – Векторная диаграмма асинхронного двигателя

$$I_n = \frac{P_n}{3 * U_1 * \cos \varphi * \eta_n} = 8,102 A \text{ - номинальный ток статора,}$$

$R_1 = C_1 * R_2' * \beta = 1,235 \text{ Ом}$ - активное сопротивление статора обмотки

$$\text{Где } C_1 = 1 + (I_0 / 2 * K_I * I_n) = 1,029$$

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{S_K}) * C_1} = 1,2 \text{ Ом} \text{ - активное сопротивление ротора,}$$

приведенное к обмотке статора

Найдем значение индуктивного сопротивления короткого замыкания

$$X_{KH} = C_1 * R_2' * \gamma = 5,993 \text{ Ом}$$

Найдем значение индуктивного сопротивления роторной обмотки, приведенной к статорной

$$X_2' = 0,58 * \frac{X_{KH}}{C_1} = 3,377 \text{ Ом}$$

Найдем значение индуктивного сопротивления статорной обмотки

$$X_{1n}' = 0,42 * X_{KH} = 2,517 \text{ Ом}$$

По найденным значения определим критическое скольжение

$$s_{k1} = \frac{C_1 * R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,202$$

Найдем индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu n} = \frac{E_1}{I_0} = 56,992 \text{ Ом, где } E_1=201,94 \text{ В – ЭДС ветви намагничивания,}$$

наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме.

Определяем синхронную скорость

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_{1H}}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ об/мин,}$$

$$\omega_0 = \frac{n_0}{9.55} = \frac{3000}{9.55} = 314 \text{ рад/с}$$

где f_{1H} – частота сети, p – число полюсов.

4.2 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик АД

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \phi_2}, \text{ где}$$

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + x_{KH}^2}}$$

$I_2'(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (x_{1H} + x_{2H}')^2}}$$

По вышеприведенным формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рисунке 13:

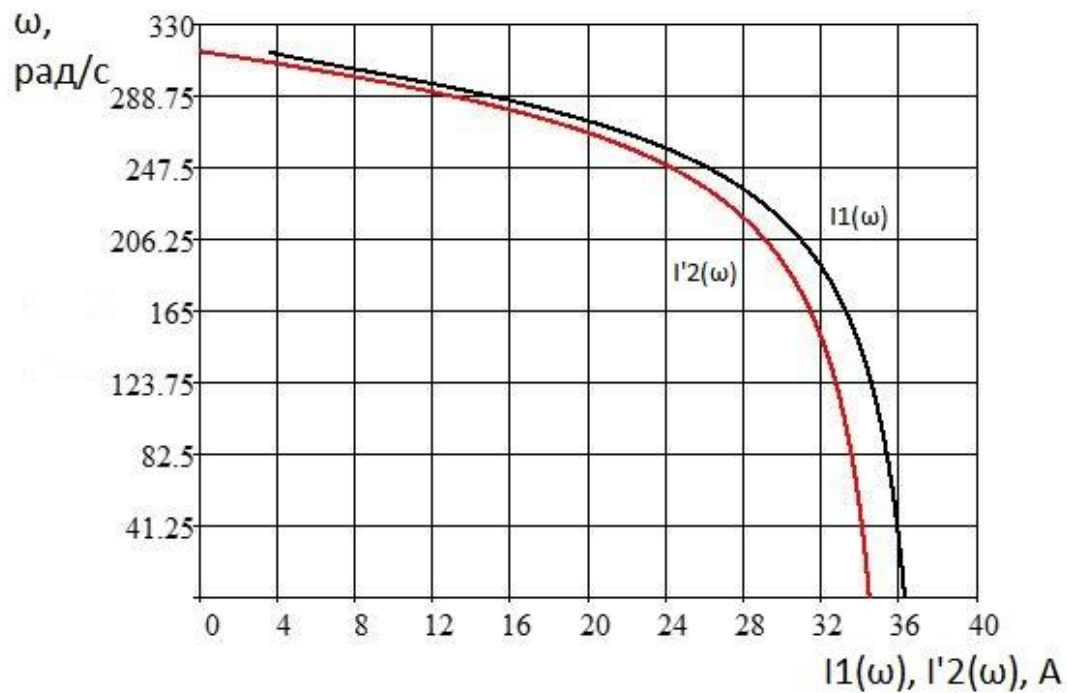


Рисунок 13 – Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику по следующей формуле:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right)^2 + x_{кн}^2 \right]}$$

Рассчитаем контрольные точки механической характеристики по паспортным данным:

Номинальная скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - S_n) = 314,159 \cdot (1 - 0,041) = 301,04 \text{ рад} / \text{с} ;$$

$$\text{Момент номинальный: } M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{4000}{301,04} = 13,29 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$\text{Момент критический: } M_{кр} = M_{ном} \cdot k_{макс} = 13,29 \cdot 2,3 = 30,56 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$\text{Момент пусковой: } M_{п} = M_{ном} \cdot k_{п} = 13,29 \cdot 2,2 = 29,23 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя изображена на рисунке 14.

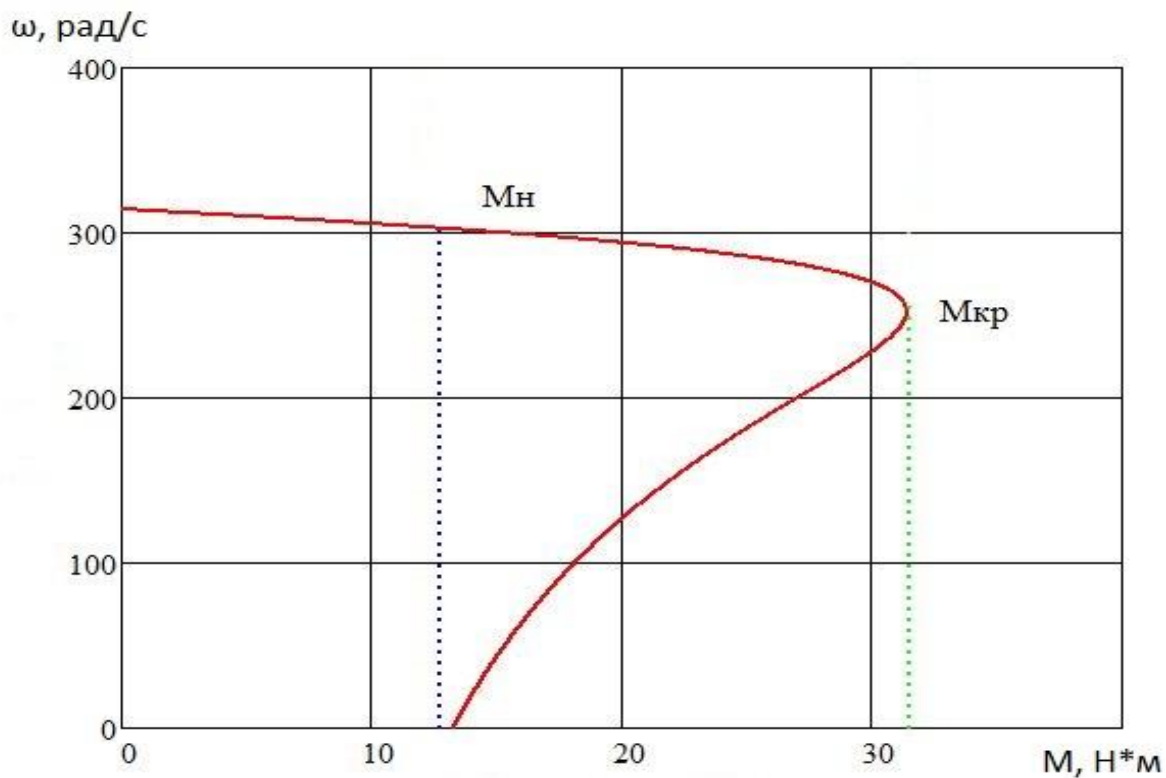


Рисунок 14 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Таким образом, из полученных графиков следует, что двигатель выбран верно. При нагрузке на валу двигатель обрабатывает в штатном режиме.

5. РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗА ЦИКЛ РАБОТЫ

Номинальный режим

Полная мощность

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 4000 \cdot \left(\frac{1}{0.85} - 1 \right) = 705,8 \text{ Вт}$$

Переменная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{V.H} = M_H (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = 13,29 \cdot (314,159 - 301,069) \cdot \left(1 + \frac{1,235}{1,2} \right) = 353 \text{ Вт}$$

Постоянная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{C.H} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H} = 705,8 - 353 = 352,8 \text{ Вт}$$

Коэффициент потер мощности

$$a = \frac{\Delta P_{C.H}}{\Delta P_{V.H}} = \frac{352,8}{353} = 1$$

Активная энергия

Полезный расход энергии (механическая работа)

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 13,29 \cdot 301,06 \cdot 0,75 = 3001, \text{ [Вт с]}$$

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

Время переходного процесса t_C находим из зависимости скорости двигателя, запущенного под нагрузкой, от времени, $t_C = 0,75$ с. График представлен на рисунке 15.

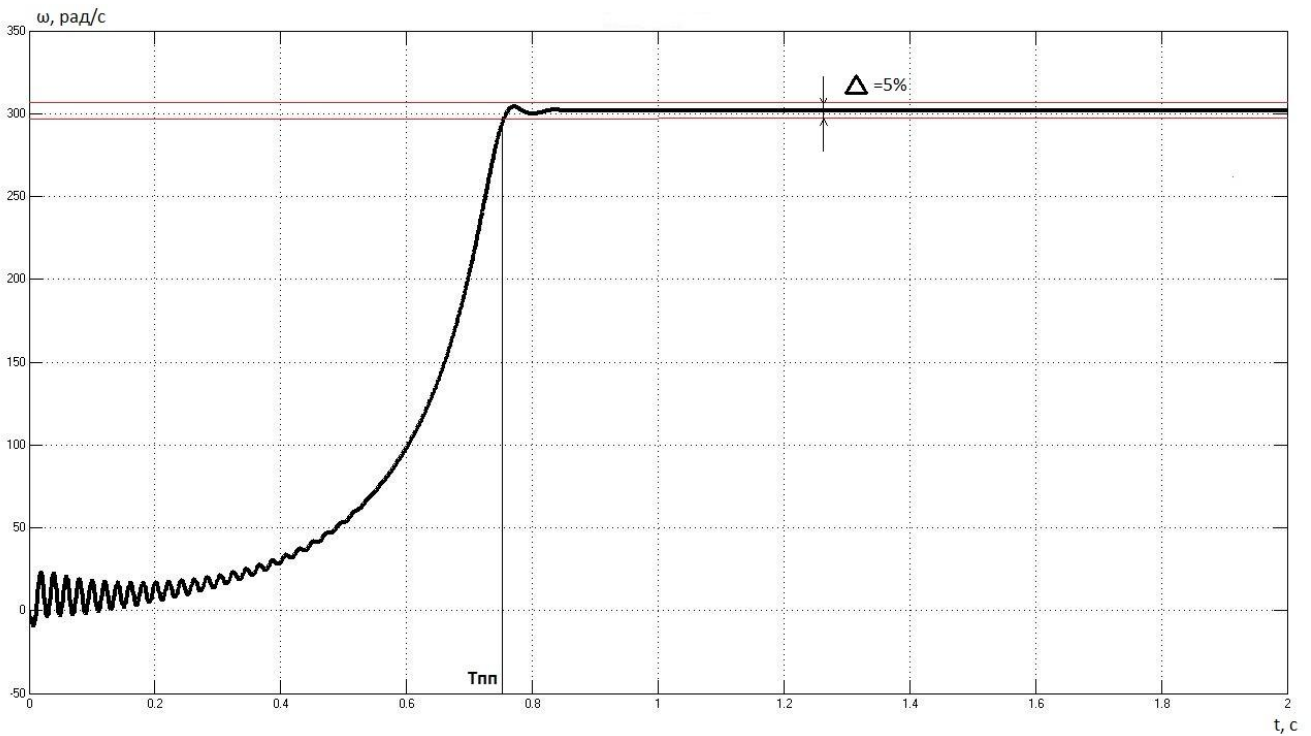


Рисунок 15 – Прямой пуск двигателя под нагрузкой, $t_c = 0,75$ с

Постоянная составляющая потери энергии

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \cdot \left(\frac{\omega_C}{\omega_H}\right)^2 \cdot t_c = 352,8 \cdot \left(\frac{301,06}{301,06}\right)^2 \cdot 0,75 = 282,2 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_C}\right)^2 + (X_K)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(1,235 + \frac{1,2}{0,041}\right)^2 + (5,993)^2}} = 7,077 \text{ [A]},$$

Переменная составляющая потери энергии

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

где b – поправочный коэффициент

$$b = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 4,082 \cdot 5,993}{220} = 1,22$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [4,082^2 \cdot 1,235 + 7,077^2 \cdot (1,22 \cdot 1,235 + 1,2)] \cdot 0,75 = 375,1 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Потребляемая из сети энергия

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 3201 + 282,2 + 375,1 = 3858 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Реактивная энергия

Потребление реактивной энергии за цикл

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

$$\sum A_p = \sum_{i=1}^n 3(4,082^2 \cdot (2,517 + 56,992) + (7,077^2) \cdot (2,517 + 3,377)) \cdot 0,75 = 3089 \text{ В} \cdot \text{А}$$

X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя

Энергетические показатели электропривода

Энергетический (среднецикловой) к.п.д. электропривода

$$\eta_s = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{3201}{3858} \cdot 100\% = 82,9\%.$$

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

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

Энергетический (среднецикловой) коэффициент мощности

электропривода

$$\cos \varphi_s = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_p)^2}} = \frac{3858}{\sqrt{3858^2 + 3089^2}} = 0,781$$

6. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

6.1 Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик АД для закона $\frac{U_{1H}}{f}$

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50;40;30;15$ Гц.

$$\text{При законе регулирования } Z_p = \frac{U_{1H}}{f} = \frac{220}{50} = 4,4 .$$

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{при } f_{1H1}=50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} = \frac{f_{1H}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1$$

$$\text{при } f_{1H2}=40 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = \frac{f_{2H}}{f_{1H}} = \frac{40}{50} = 0,8$$

$$\text{при } f_{1H3}=30 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = \frac{f_{3H}}{f_{1H}} = \frac{30}{50} = 0,6$$

$$\text{при } f_{1H4}=15 \text{ Гц} \quad f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{15}{50} = 0,3$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H1} = z_p \cdot f_{1H1} = 4,4 \cdot 50 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = z_p \cdot f_{1H2} = 4,4 \cdot 40 = 176 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = z_p \cdot f_{1H3} = 4,4 \cdot 30 = 132 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = z_p \cdot f_{1H4} = 4,4 \cdot 15 = 66 \text{ В}.$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 314,159 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{2} = 251,327 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{2} = 188,496 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15}{2} = 94,248 \text{ рад/с}.$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{56,992} = 3,86 \text{ A};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{176}{56,992 \cdot 0,8} = 3,86 \text{ A};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{132}{56,992 \cdot 0,6} = 3,86 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{66}{56,992 \cdot 0,3} = 3,86 \text{ A}.$$

Примем коэффициенты компенсации: $K_{KM}=0,25; 0,5; 0,75$.

Найдем эквивалентные сопротивление ротора с учетом IR – компенсации

$$R_{1ЭKB1} = R_1 \cdot (1 - K_{KM1}) = 1,235 \cdot (1 - 0,25) = 0,926 \text{ Ом}.$$

$$R_{1ЭKB2} = R_1 \cdot (1 - K_{KM2}) = 1,235 \cdot (1 - 0,5) = 0,617 \text{ Ом}.$$

$$R_{1ЭKB3} = R_1 \cdot (1 - K_{KM3}) = 1,235 \cdot (1 - 0,75) = 0,309 \text{ Ом}.$$

Строим электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для выбранных частот и коэффициентов K_{KM} , рисунок 16, по выражениям:

$$I_2'(s, f, K_{KM}) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_{1ЭKB}(K_{KM}) + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_{1ЭKB}(K_{KM}) \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2}},$$

где $R_{1ЭKB}(K_{KM}) = R_1 \cdot (1 - K_{KM})$ – эквивалентное активное сопротивление статорной цепи.

$$\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s),$$

$$f_{1*}(f) = \frac{f}{f_{1H}} \text{ – относительная частота питающего напряжения};$$

$\omega_0(f) = \omega_{0H} \cdot f_{1*}(f)$ – скорость идеального холостого хода при данной частоте напряжения питания;

в диапазоне скорости $\omega=0 \div \omega_0$.

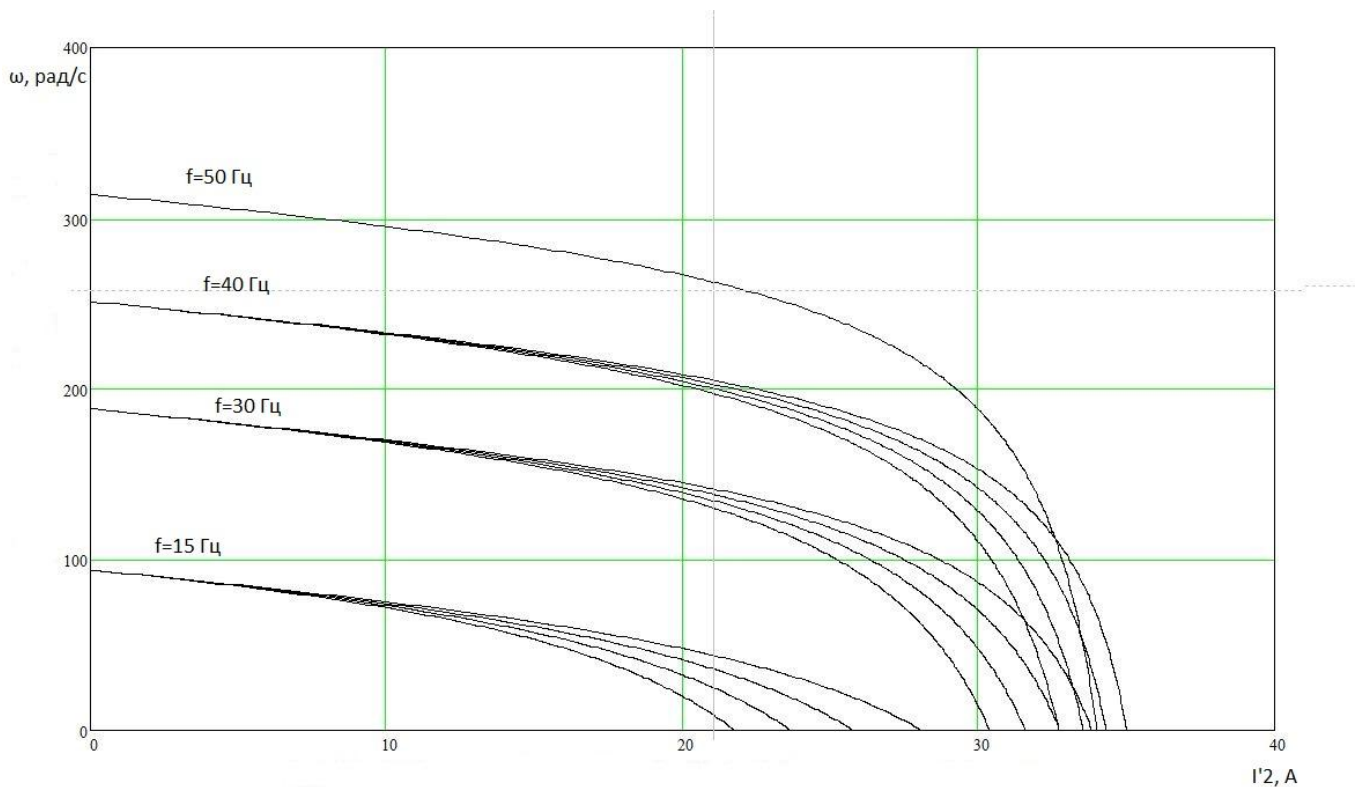


Рисунок 16 - Электромеханические характеристики $I_2(\omega)$ для выбранных частот и коэффициентов $K_{\text{КМ}}$

Также строим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот и коэффициентов $K_{\text{КМ}}$, рисунок 17, по выражениям:

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

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s),$$

$$\text{где } \sin \varphi_2(s, f, K_{\text{КМ}}) = \frac{X_{\text{КН}} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_{1\text{ЭКВ}}(K_{\text{КМ}}) + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{КН}}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu\text{Н}} \cdot f_{1*}(f)}$ – ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.

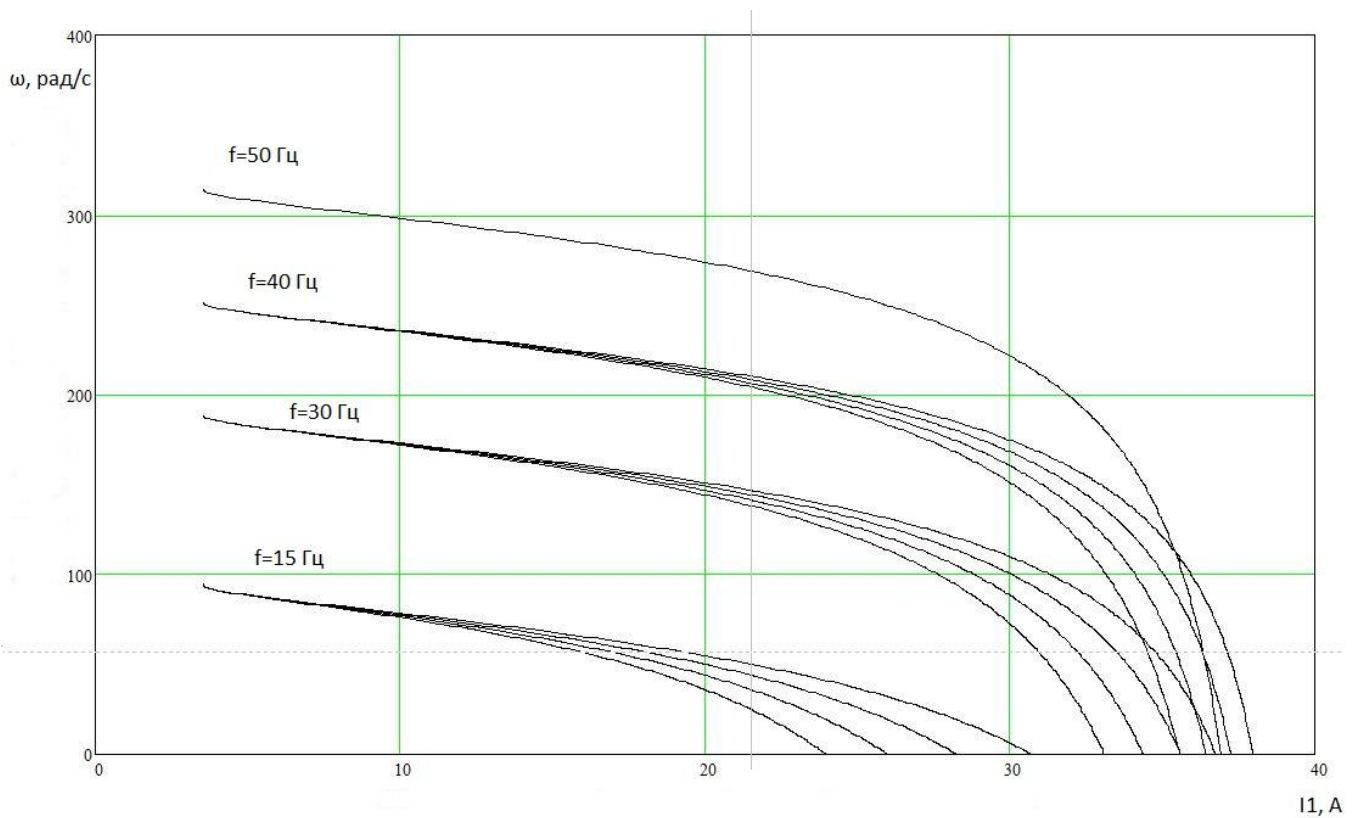


Рисунок 17 - Электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот и коэффициентов $K_{\text{КМ}}$

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ рассчитываем для выбранных частот и коэффициентов $K_{\text{КМ}}$, рисунок 18, по выражениям

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{КН}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_{1\text{ЭКВ}}(K_{\text{КМ}}) + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1\text{ЭКВ}}(K_{\text{КМ}}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{МН}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s).$$

Определим потери в роторе при работе с насосной нагрузкой. Зададим функцию нагрузки.

Вентиляторная нагрузка для насоса описывается функцией:

$$M_C = M_0 + (M_{\text{С.НОМ}} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^{x-1},$$

где M_C - момент нагрузки, при скорости вращения ω ;

$M_{C.HOM}$ - момент нагрузки при скорости ω_{HOM} ;

M_0 - момент трения;

X - показатель степени, для насоса $X = 3$.

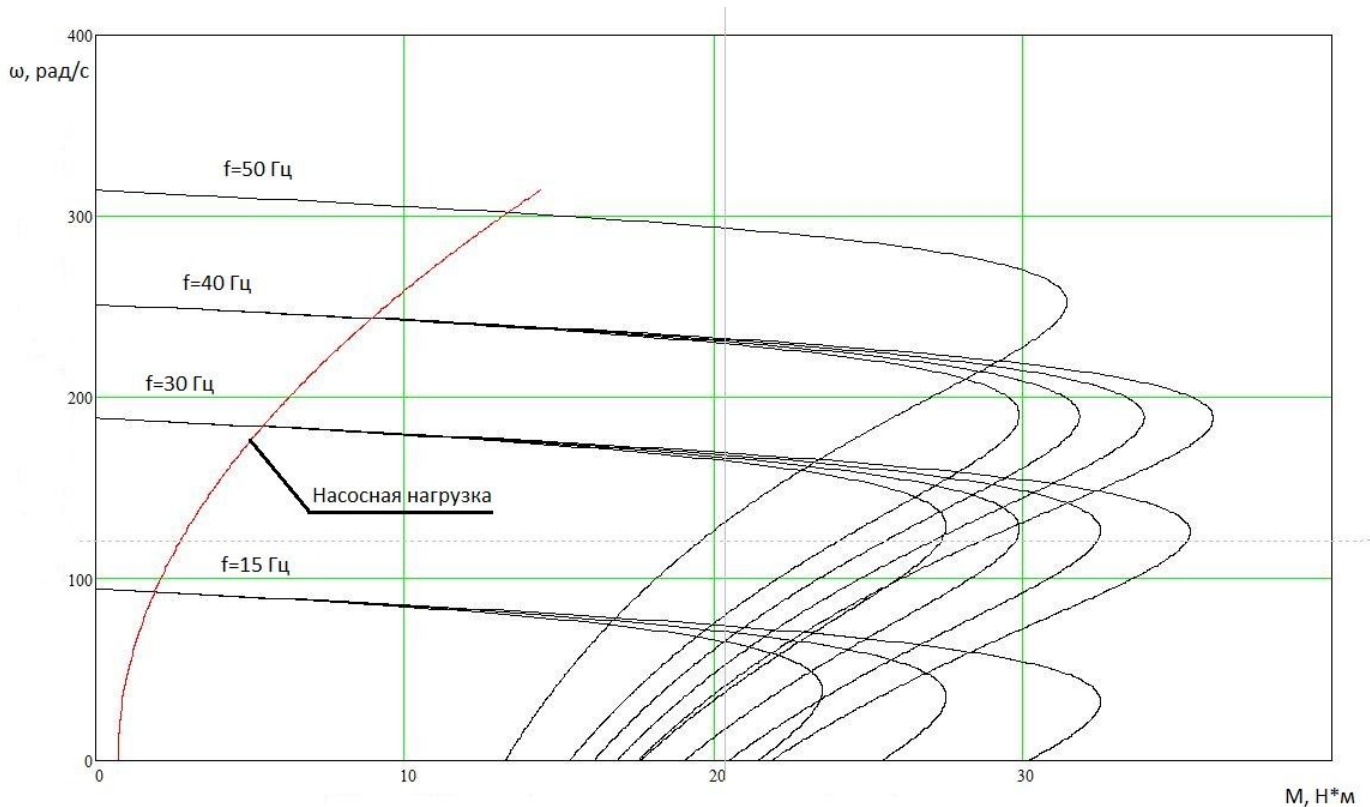


Рисунок 18 - Механические характеристики $M(\omega)$ для выбранных частот и коэффициентов K_{KM} , насосная нагрузка

6.2 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска и наброса нагрузки на валу двигателя

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink. Для создания имитационной модели найдем следующие параметры двигателя.

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,517}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,008012 \text{ Гн.}$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,377}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,011 \text{ Гн.}$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{56,992}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,181 \text{ Гн.}$$

Имитационная модель изображена на рисунке 19.

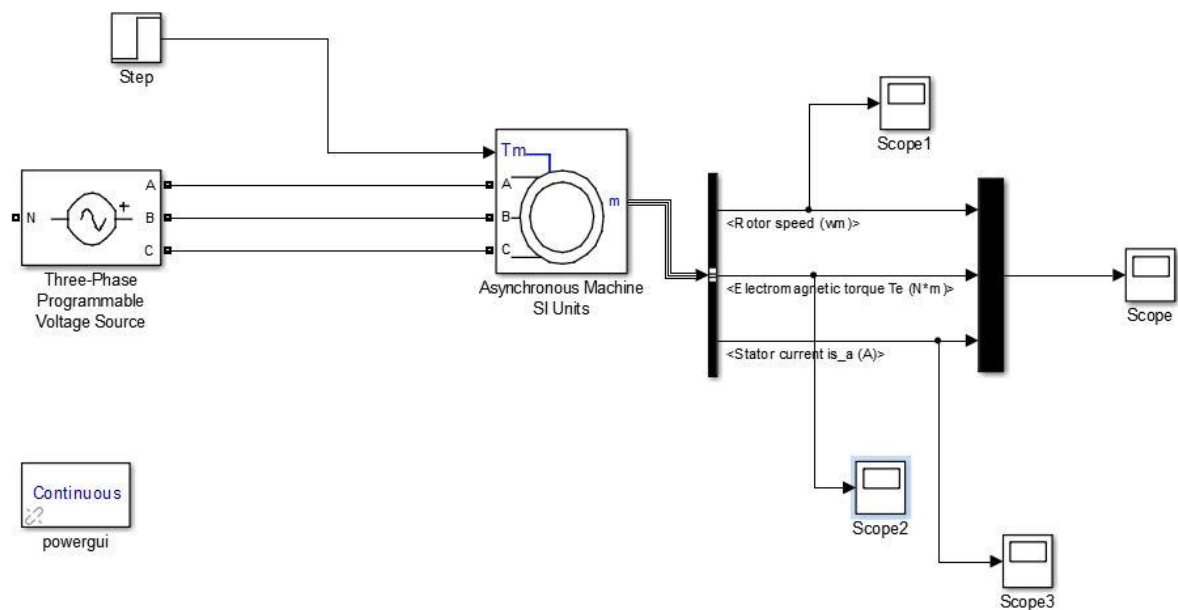


Рисунок 19 – Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Ниже, на рисунках 20, 21 представлены переходные характеристики скорости и момента при прямом пуске АД без нагрузки и при набросе нагрузки. При пуске время переходного процесса составляет $t_{пп1} = 0,2$ с, перерегулирование $H_1 = 5,1$ %. При набросе нагрузки время переходного процесса составляет $t_{пп2} = 0,06$ с, перерегулирование $H_2 = 3,65$ %.

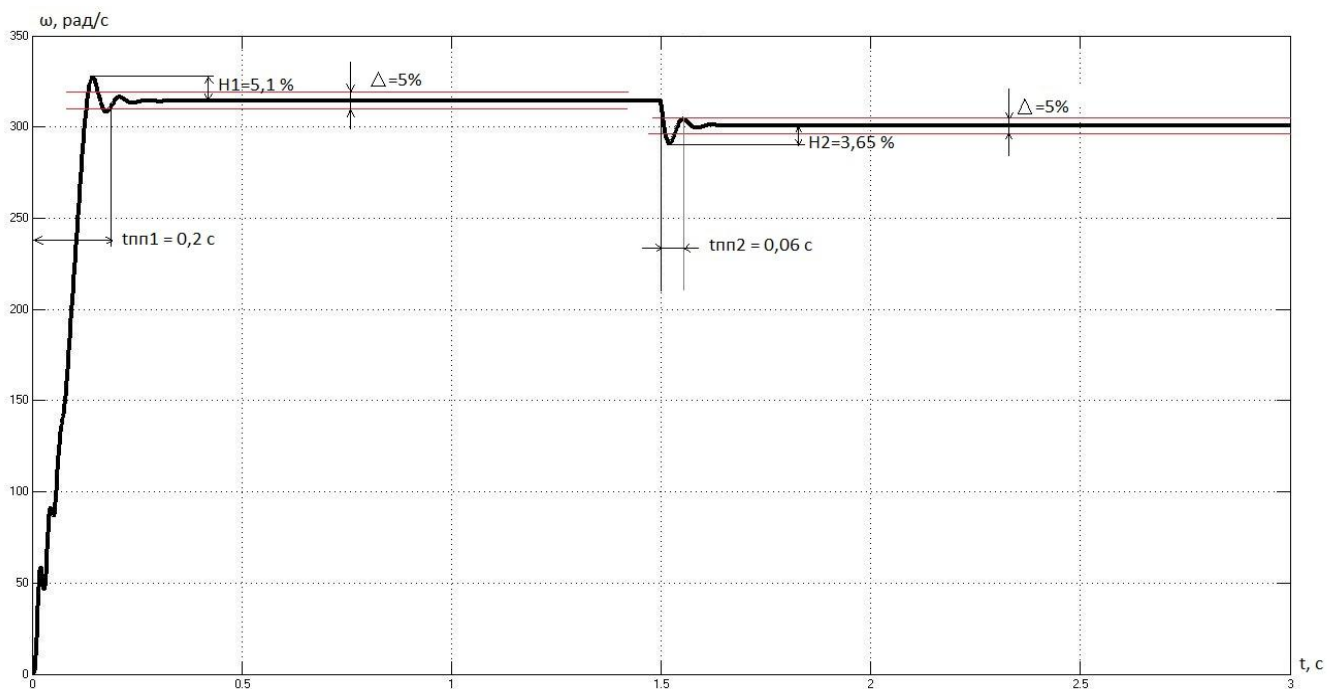


Рисунок 20 - Переходная характеристика скорости двигателя при прямом пуске и набросе нагрузки, $t_{пн1} = 0,2$ с, $H_1 = 5,1$ %, $t_{пн2} = 0,06$ с, $H_2 = 3,65$ %

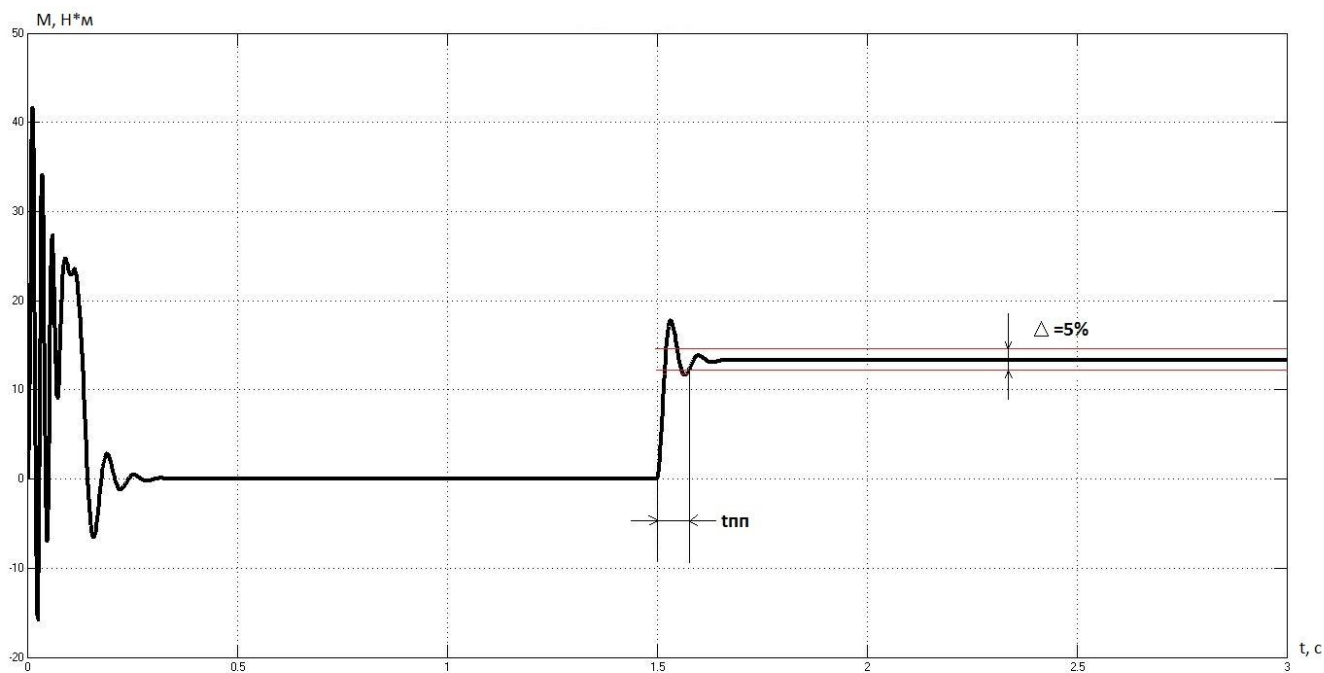


Рисунок 21 - Переходная характеристика момента двигателя при прямом пуске и набросе нагрузки

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией представлена на рисунке 23.

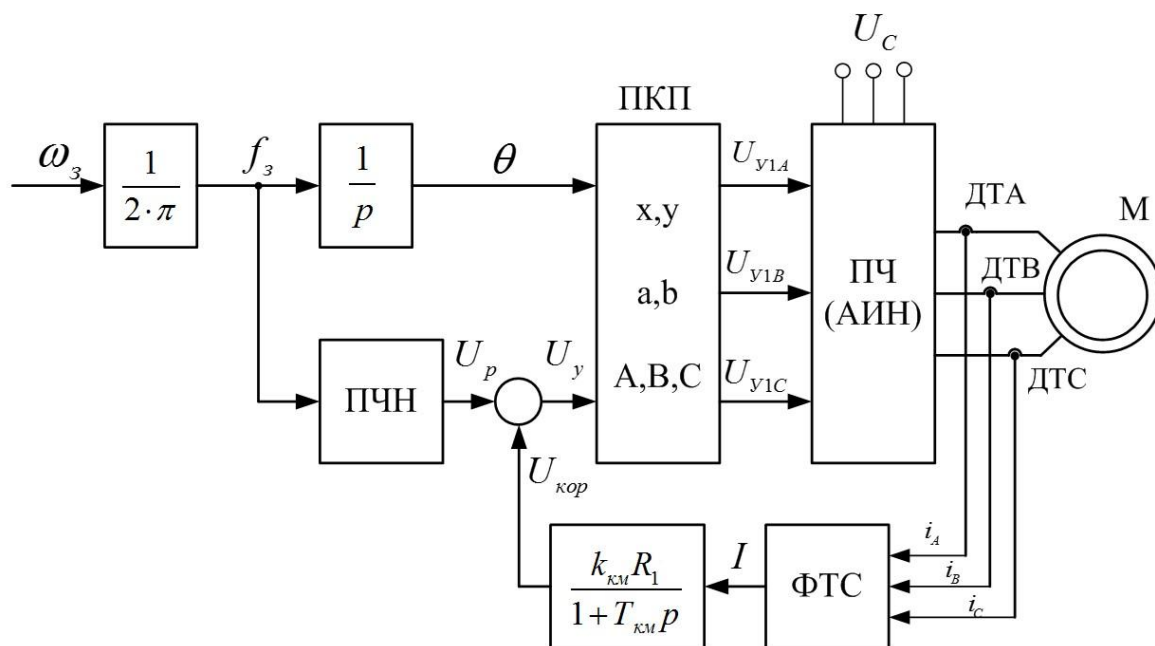


Рисунок 23 - Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией

Данная модель имитирует автоматический процесс поддержания уровня воды в резервуаре. Блок S-Function Builder является элементом релейной логики. На входе считывается сигнал, который определяет уровень воды в резервуаре. В блоке реализована программа, которая определяет значение на входе. Если значение больше 3 м, то на выходе блок выдает 0 Гц, то есть двигатель не запущен. Если значение становится меньше, чем 1,5 м, то на выходе блок выдает 50 Гц, то есть двигатель запускается и работает до тех пор, пока вода не наберется до отметки 3 м. Затем процесс повторяется, вода убывает до отметки 1,5 м и насос включается и работает до тех пор, пока уровень воды не достигнет отметки 3 м. Количество воды, перекачиваемое насосом, имитируется блоком Gain1, в нем задается коэффициент K, этот коэффициент преобразует скорость вращения двигателя в количество воды, перекачиваемое насосом, кубический метр в час. Потребляемое количество воды отнимается сумматором Add, и

значение задается в блоке Step3. В данном случае потребление воды начинается на отметке 15 часов, когда насос уже наполнил резервуар до нужной отметки, рисунок 24. Из графика видно, что время потребления воды от верхней до нижней отметки составляет 15,05 ч. Время набора воды от нижней до верхней отметки при потреблении составляет 9,5 ч.

Программный код, записанный в блоке S-function Builder, обеспечивающий регулирование включением/выключением насоса при заданных условиях:

```
static float k = 1;
xD[1] = 50;
if (u0[0] >= 3) {xD[1] = 0; k = 0;};
if ((u0[0] < 3) && (k == 0)) {xD[1] = 0;};
if ((u0[0] <= 1.5) && (k == 0)) {xD[1] = 50; k = 1;};
```

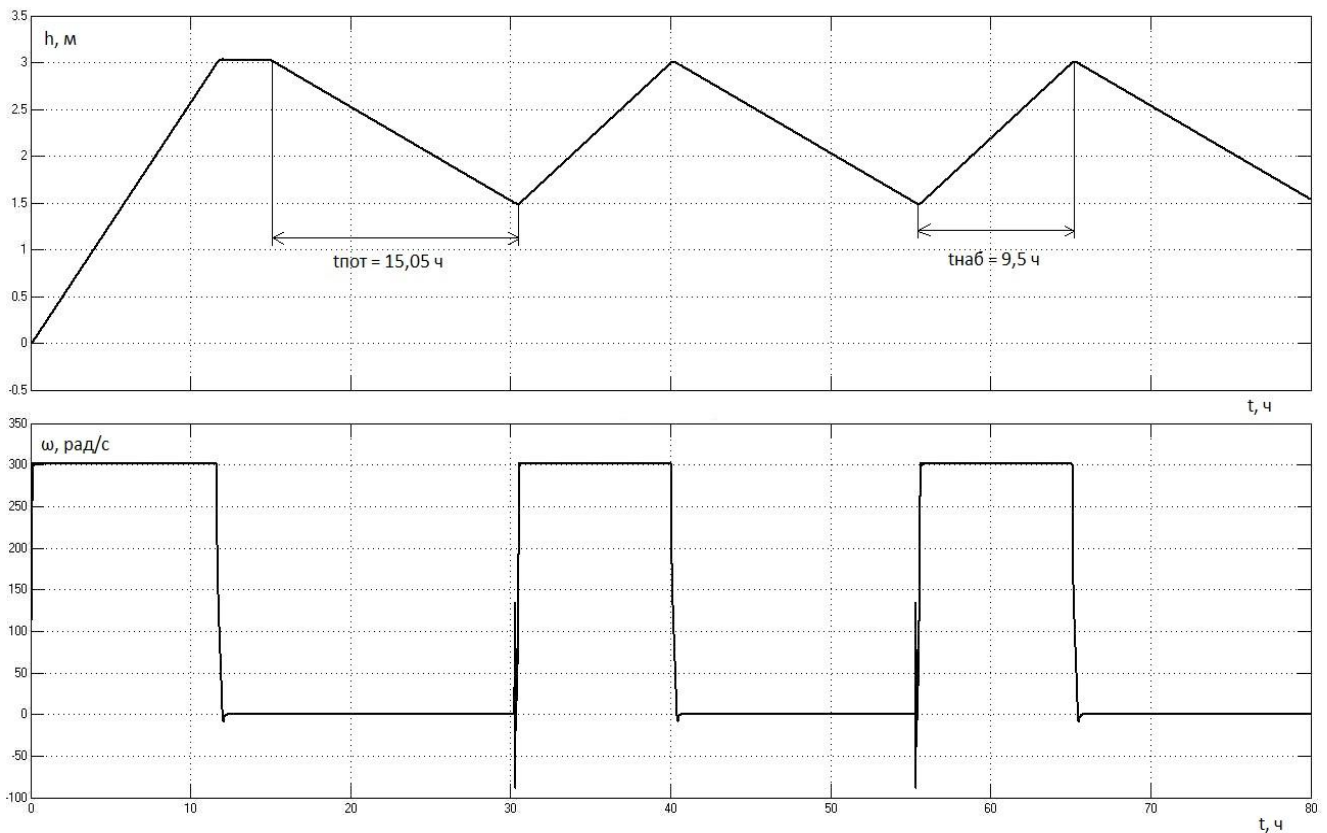


Рисунок 24 – Зависимости уровня воды и скорости вращения

двигателя от времени, $t_{\text{пот}} = 15,05$ ч, $t_{\text{наб}} = 9,5$ ч

Зависимости скорости вращения двигателя, момента на валу двигателя и тока статора от времени представлены на рисунке 25.

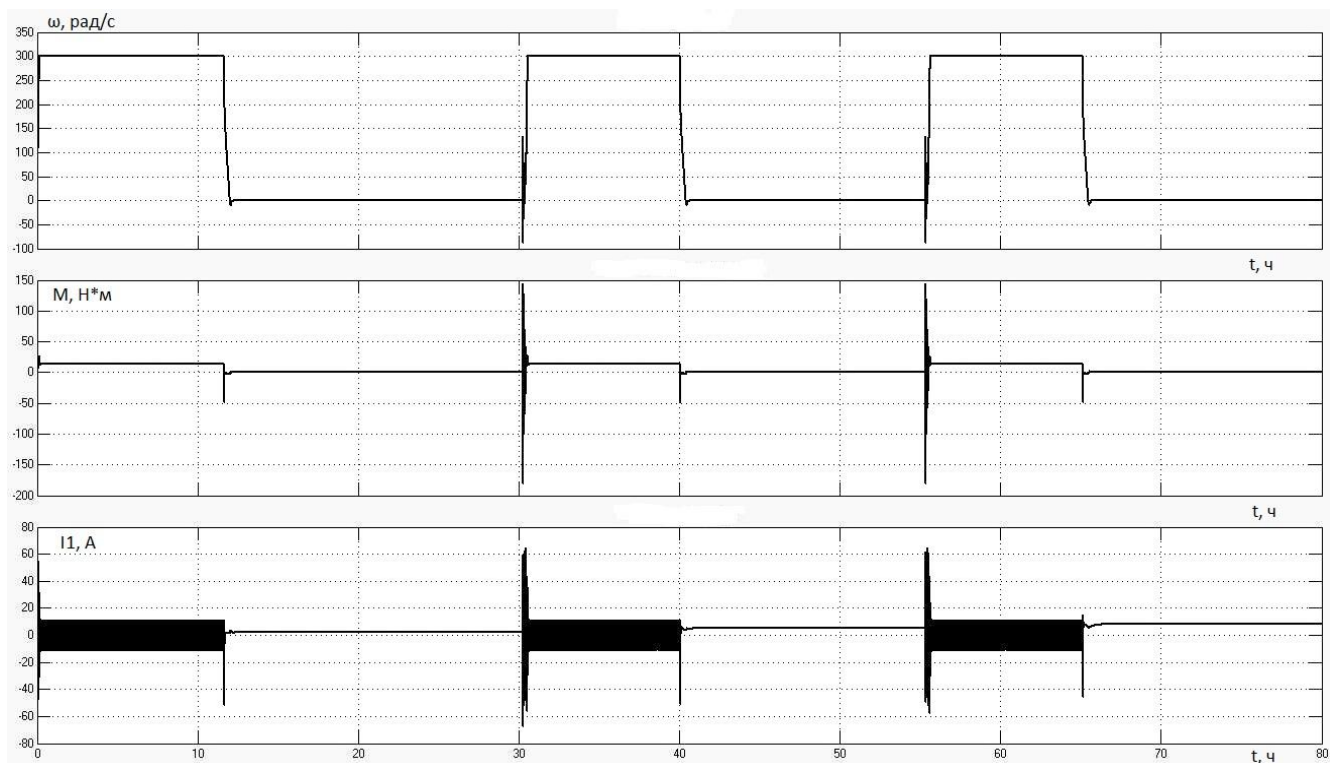


Рисунок 25 – Зависимости скорости вращения двигателя, момента на валу двигателя и тока статора от времени

Таким образом, при имитации модели автоматической поддержки уровня воды в резервуаре следует, что в режиме набора воды без ее потребления, насос закачивает воду в резервуар объёмом 100 м^3 за время 15,38 ч. От нижней отметки (1,5 м) до верхней отметки (3 м) насос закачивает воду за 5 ч. Если идет одновременное потребление воды из резервуара, то время набора воды от нижней до верхней отметки составляет 9,5 ч.

6.4. Разработка алгоритмов функционирования системы управления в среде MexBIOS Development Studio

MexBIOS Development Studio – визуальная среда разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления электродвигателями, технологическими комплексами, программируемыми логическими контроллерами.

Среда MexBIOS Development Studio предоставляет пользователю возможности:

- создавать собственные программы управления электродвигателями, технологическими комплексами, ПЛК;
- выполнять моделирование работы программы и электромеханических объектов и систем;
- производить отладку программы, загруженной в микроконтроллер;
- устанавливать библиотеки компонентов для новых микроконтроллеров.

Процесс создания скалярной системы управления (СУ) асинхронным двигателем будет производиться в MexBIOS Development Studio. Процесс создания включает себя создание упрощенной модели асинхронного двигателя (на базе двухфазной модели) и силовой части ПЧ в библиотеке Models. Модель необходима для получения отмасштабированных сигналов обратных связей (ОС) в формате данных, который будет применяться в СУ. Полученные сигналы ОС передаются блоками TP_OUT в СУ, и обратная связь в моделировании замыкается через модель.

При снятии экспериментов происходит переключение замыкания сигналов с обратных связей с модели двигателя, на сигналы, полученные с драйверов датчиков преобразователя частоты MBS-FC01.

Представленная очередность действий позволяет создать СУ для других ПЧ.

Для возможности перехода из режима моделирования в режим работы с реальным объектом управления и силовой установки применяется возможность блоков TP_IN передавать один из двух подключенных сигналов с блоков TP_OUT, в зависимости от режима

работы (моделирование или отладка на контроллере). Таким образом, без каких-либо изменений в схеме, в режиме моделирования обратные связи можно замкнуть по сигналам с модели, в режиме отладки на контроллере обратные связи замыкаются по драйверам (ADC, QEP).

В библиотеке Models, которая предназначена только для моделирования, необходимо собрать модели двух асинхронных двигателей. Простейший алгоритм основного (IM MODEL) и резервного (IM MODEL1) двигателей представлены на рисунке 26.

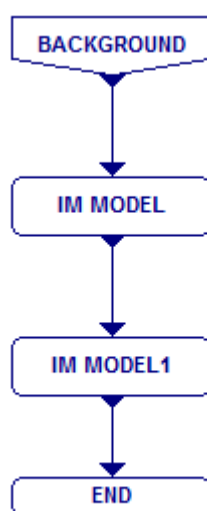


Рисунок 26 – Алгоритм функционирования основного или резервного двигателя

Описание процессов внутри блоков IM MODEL и IM MODEL1 будет рассмотрен в пункте 2.2.

Остальную часть системы управления необходимо собрать в режиме обмена данными с контроллером (библиотека TMS320F2833x). На рисунке 27 представлены алгоритмы функционирования системы управления в библиотеке TMS320F2833x для первого и второго двигателя.

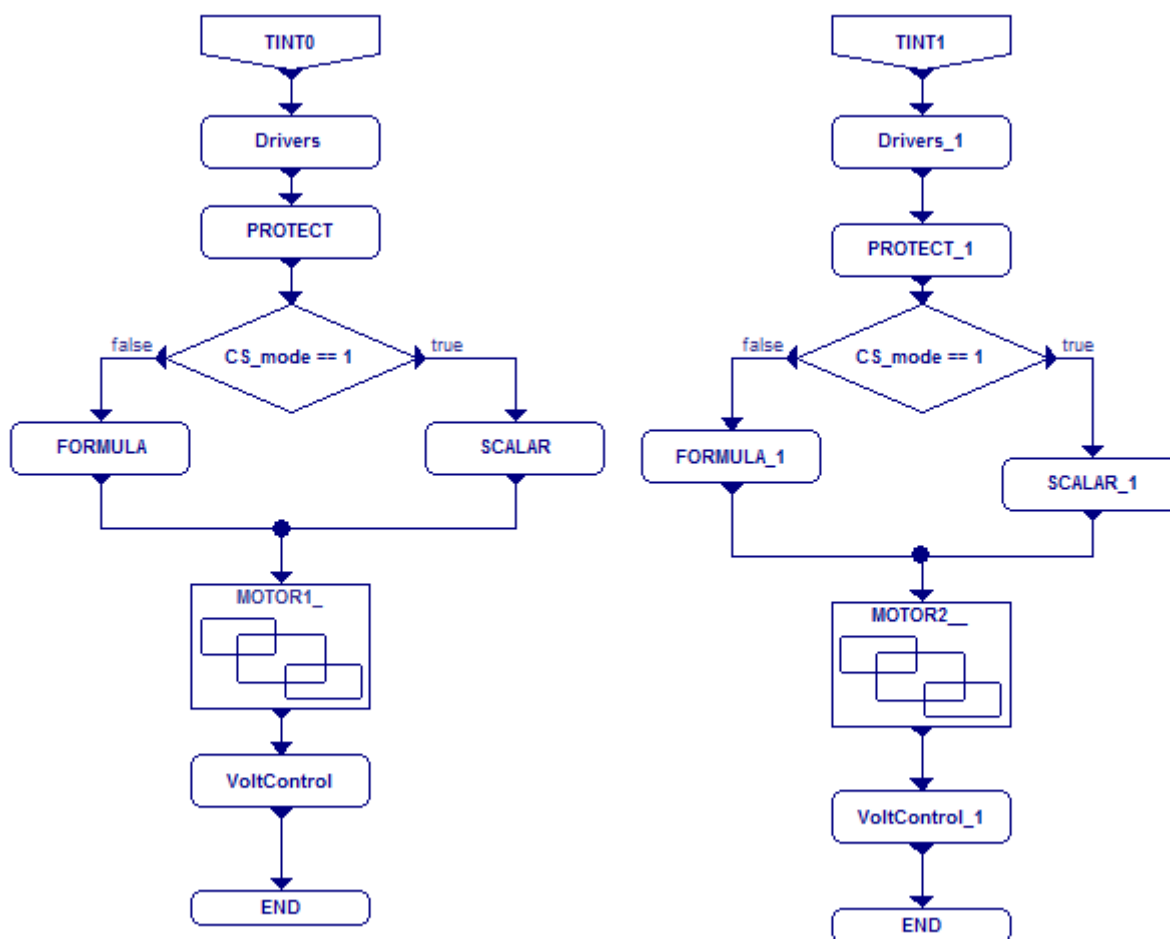


Рисунок 27 - Алгоритм функционирования системы управления в библиотеке TMS320F2833x

Рассмотрим каждый блок этого алгоритма. Стартовый блок TINT означает непрерывный режим моделирования с аппаратным прерыванием. Это означает, что событие будет выполняться по прерыванию со строгой периодичностью. Прерывание будет организовано средствами процессора. TINT0 – это название вектора.

Для получения и обработки сигналов с драйверов ПЧ необходим блок Drivers. В данную формулу добавляются драйвера, которые передают в систему управления сигналы с обратных связей. Полученные сигналы с блоков драйверов будут приведены к необходимому масштабу. Также, в формуле Drivers приведены схемы логики для формирования

разрешающего или запрещающего сигнала на движение (работу).
Описание процессов внутри блока Drivers будет рассмотрен в пункте 2.2.

Ниже идет блок защиты - Protect. В процессе разработки СУ возможно допустить ошибки, которые приведут к формированию тока, опасного для силового модуля и двигателя, поэтому, прежде чем проверять созданные СУ на ПЧ, в формуле реализован минимальный набор защит:

- Превышение длительного тока
- Превышение максимального тока в фазе А
- Превышение максимального тока в фазе В
- Перенапряжение в DC bus (более 800 В)

Описание процессов внутри блока Protect будет рассмотрен в пункте 2.2.

Блок условия CS_Mode определяет режим работы СУ. Для необходимости можно задать различные режимы работы СУ, причем с возможностью добавления/удаления какого-то ограниченного числа других режимов работы. В нашем случае режимов работы может быть только два: система работает (блок SCALAR, в котором идет формирования сигнала на двигатель) и система не работает (блок FORMULA, в котором реализован нулевой сигнал на останов двигателя). Описание процессов внутри блока SCALAR будет рассмотрен в пункте 2.2.

Далее идет машина состояний MOTOR1. В этом блоке реализованы сигналы на запуск и останов двигателя в зависимости от сигналов датчиков воды. Описание процессов внутри блока MOTOR1 будет рассмотрен в пункте 2.2.

Последний блок VoltControl необходим для размещения драйвера управления ШИМ и специальных блоков формирования вектора напряжения с помощью ШИМ. Описание процессов внутри блока VoltControl будет рассмотрен в пункте 2.2.

Для задания параметров и переключения между режимами работы СУ, необходим виртуальный пульт управления, рисунок 28.

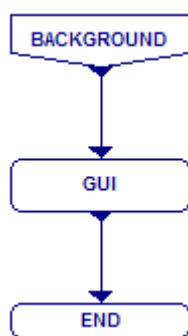


Рисунок 28 - Алгоритм функционирования виртуального пульта управления GUI, в библиотеке TMS320F2833x

Пульт позволяет выбирать режим СУ, задавать частоту питающего напряжения и отображать основные координаты двигателя – действующее значение тока статора в А и скорость двигателя, об/мин. Описание процессов внутри блока GUI будет рассмотрен в пункте 2.2.

6.5 Создание имитационной модели автоматического регулирования уровня воды в резервуаре

Далее рассмотрим каждый блок алгоритма по отдельности.

IM MODEL и *IM MODEL1*.

Модели основного и резервного двигателя одинаковы, поэтому рассмотрим только одну. На рисунке 29 представлена модель асинхронного двигателя, а также имитация потребления воды. Модель dACIM2 представляет собой двухфазную модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат. Параметры модели задаются с помощью элемента dMOTOR_PARAMS через вход Buf. Модель двигателя выполнена в двухфазной системе координат, а выходы токов получены в трехфазной системе координат, как и на реальном двигателе. Упрощенная модель преобразователя частоты представляет собой величину напряжения на шине постоянного тока Udc, которое с помощью fGAIN преобразуется в амплитудное фазное напряжение и поступает на блоки fMPY.

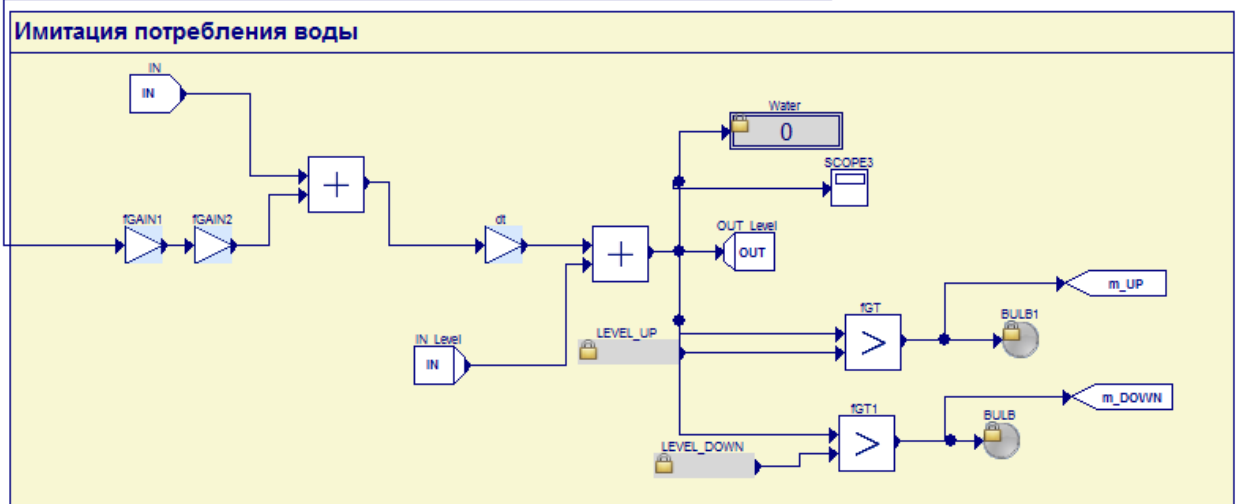
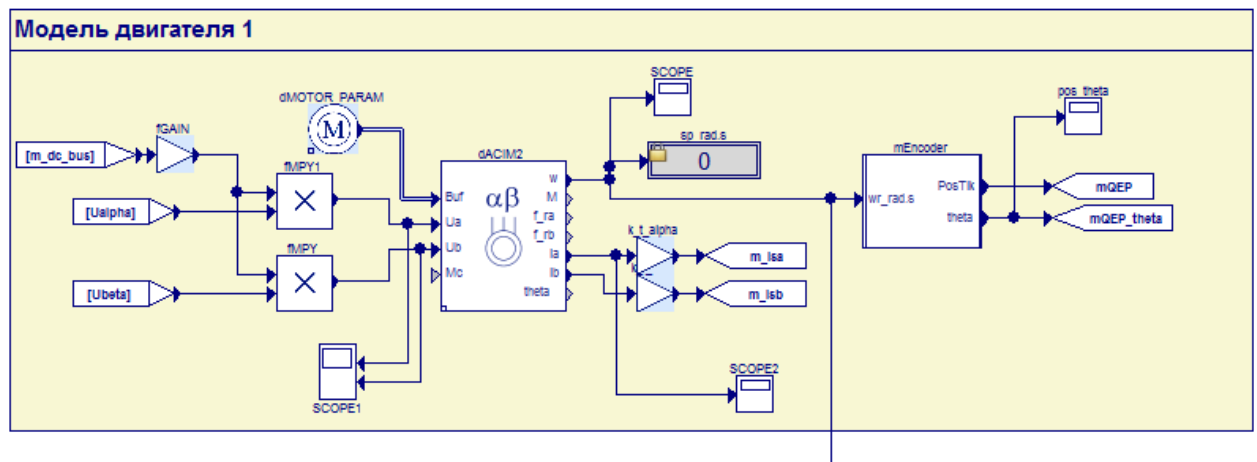


Рисунок 29 – Модель асинхронного двигателя и имитация потребления воды

Блок mEncoder представляет собой энкодер.

Для системы управления необходимо два сигнала с инкрементного энкодера: возрастающий сигнал положения и пилообразный сигнал положения вала ротора. Сигнал положения понадобится для реализации замкнутой системы управления по положению. Пилообразный сигнал необходим для вычисления скорости вращения вала двигателя.

Имитацию указанных сигналов можно получить из сигнала скорости, для этого необходимо проинтегрировать скорость и привести полученное значение положения в радианах в сигнал меток инкрементного энкодера. Также пилообразный сигнал необходимо получить в относительных единицах от 0 до 1.

Для получения сигнала в метках энкодера необходимо проинтегрировать входной сигнал (размерность рад/с) и умножить его на коэффициент $4 \cdot N / (2 \cdot \pi)$, где N – число меток на оборот энкодера (драйвер QEP считает положение с учетверением – считаются все фронты сигнала А и В).

Коэффициент реализован схемой 1 на рисунке 30. Интегрирование реализовано схемой 2, выходной сигнал положения.

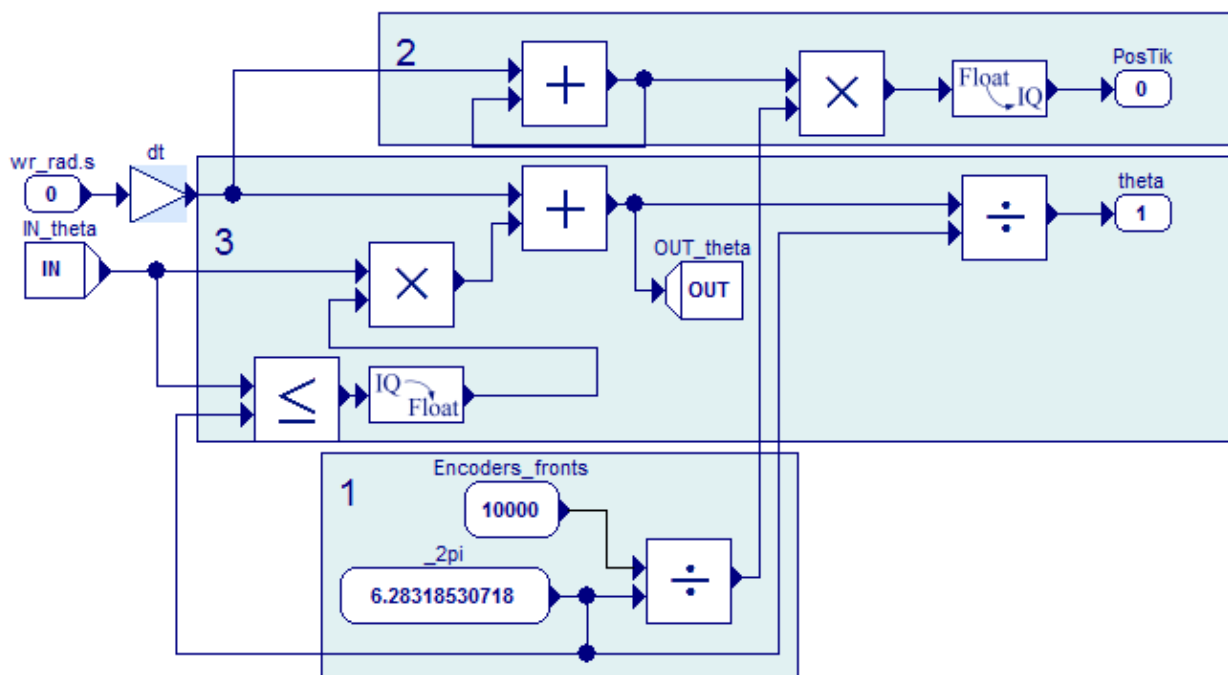


Рисунок 30 - Содержание подсистемы mEncoder

Для получения пилообразного сигнала в относительных единицах необходимо производить интегрирование сигнала с помощью переменной (переменная theta в корне библиотеки Models) и при равенстве (меньше либо равно) сигнала $2 \cdot \pi$ производить сброс в 0 сигнала положения. Далее, полученный сигнал разделить на $2 \cdot \pi$ для получения сигнала в относительных единицах. Данная схема реализована третьей группой блоков на рисунке 30.

Данная модель имитирует автоматический процесс поддержания уровня воды в резервуаре. Количество воды, перекачиваемое насосом, имитируется блоком fGAIN1, в нем задается коэффициент, этот коэффициент преобразует скорость вращения двигателя в количество воды, перекачиваемое насосом, кубический метр в час. При помощи блока fGAIN2 можно задавать скорость потребления. Потребляемое количество воды отнимается сумматором, и значение задается в блоке IN. В блоках LEVEL_UP и LEVEL_DOWN необходимо задать максимальный и минимальный уровень воды соответственно, на которых будут установлены датчики уровня воды. В данном случае минимальный уровень 1.5 м, а максимальный – 3 м. Блоки fGT и fGT1 сравнивают сигналы действующего уровня воды и заданного, и при значениях, превышающих заданные, происходит подача сигналов на пуск или останов двигателя.

На рисунке 31 представлен график зависимости уровня воды в резервуаре (h,м) от времени (t,ч).

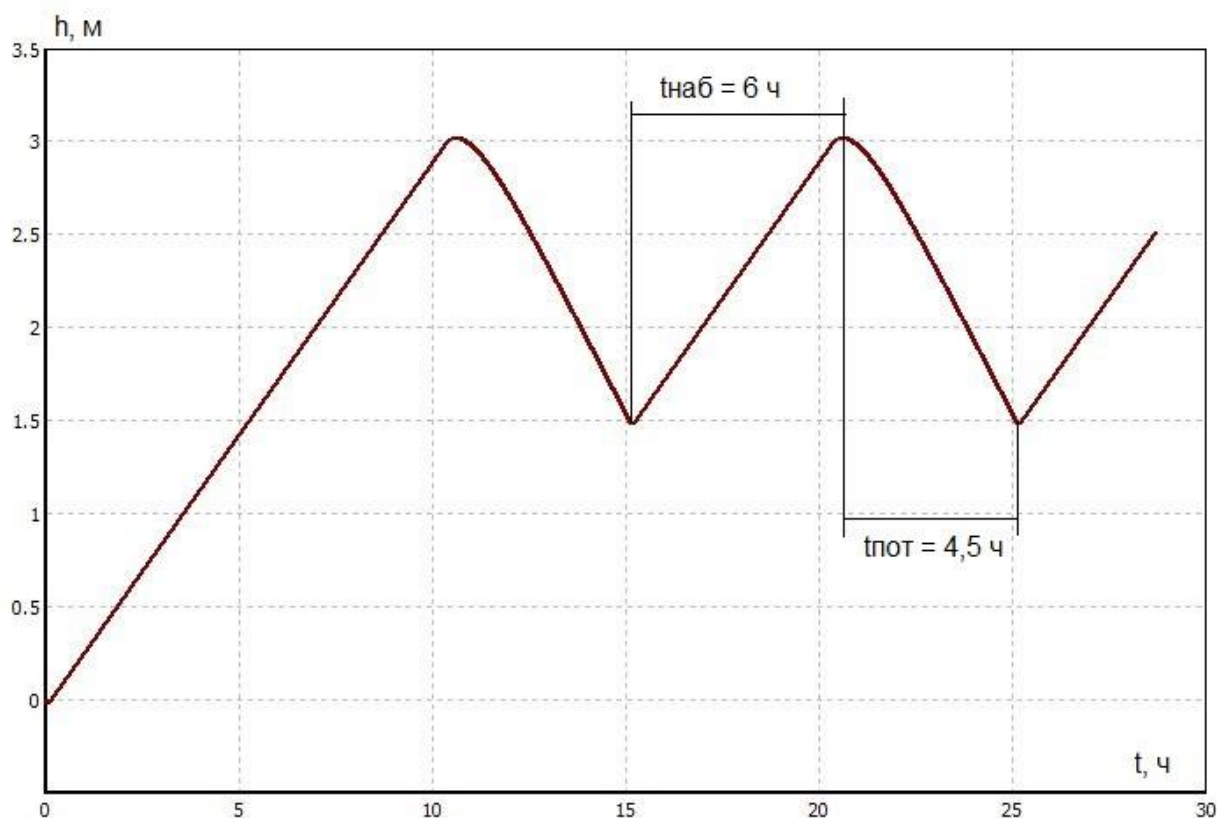


Рисунок 31 – График зависимости уровня воды в резервуаре от времени

Блок Drivers.

Для получения сигнала скорости необходим драйвер QEP. Схема получения сигнала скорости представлена на рисунке 32. На данном этапе построения СУ создаются схемы необходимые для обработки сигналов с ОС, которые будут обрабатывать сигнал с модели двигателя. Сигнал `fdb_wr` необходим для обратной связи в СУ, а сигнал `wr_ob.min` необходим для отображения текущего значения скорости на виртуальном пульте управления в об/мин.

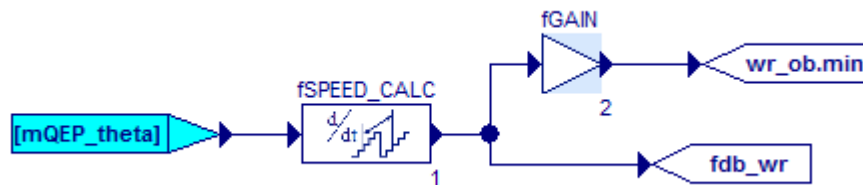


Рисунок 32 – Схема получения сигнала скорости

На рисунке 33 изображена схема для получения приближенного значения действующего значения тока в абсолютных единицах. Для вычисления приближенного действующего значения необходимо воспользоваться операцией вычисления модуля вектора (fMAG).

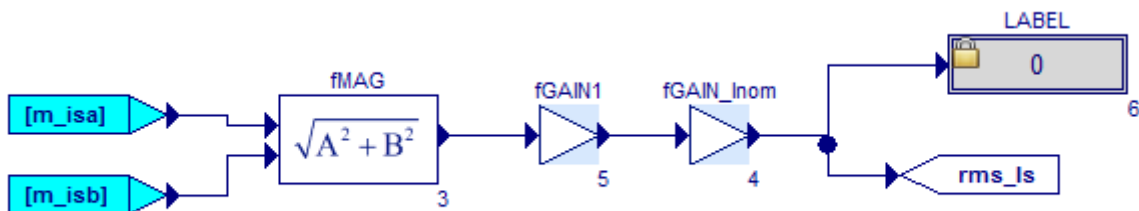


Рисунок 33 - Схема получения действующего значения тока

Для получения сигналов ОС с ПЧ необходимо добавить драйвера периферии. На рисунке 34 изображен АЦП.

- fCLARKE – координатное преобразование из трехфазной системы координат в двухфазную.
- hw_isa– оцифрованный сигнал тока фазы А двигателя (с драйвера АЦП) в абсолютных единицах.
- hw_isb – оцифрованный сигнал тока фазы В двигателя (с драйвера АЦП) в абсолютных единицах.
- hw_DC_BUS – сигнал напряжения с шины постоянного тока.
- hw_Resistor – сигнал задания с переменного резистора, подключенного к ПЧ, в о.е.

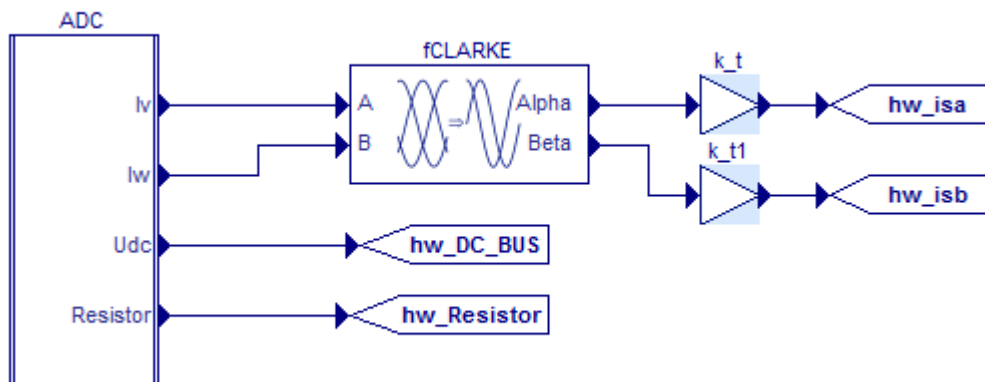


Рисунок 34 - Схема обработки сигналов с драйвера АЦП

QEP - драйвер инкрементного энкодера, представлен на рисунке 35.

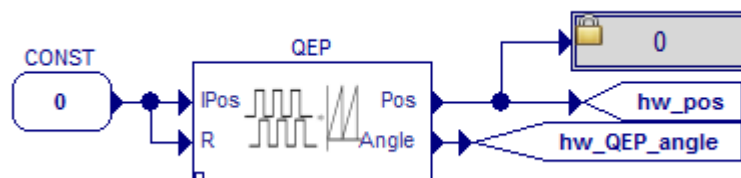


Рисунок 35 - Схема получения сигнала с датчика QEP

На рисунке 36 представлены схема разрешения ШИМ и схема включения сброса энергии шины постоянного тока, при превышении заданного порога напряжения.

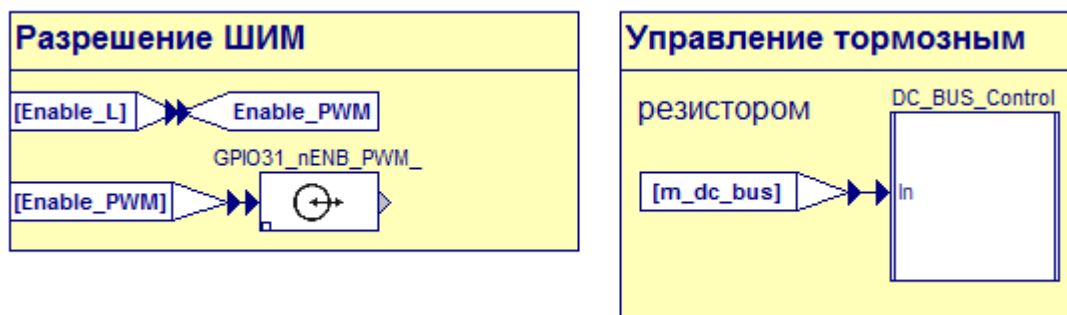


Рисунок 36 - Схема разрешения ШИМ для ПЧ и подсистема управления напряжением на шине постоянного тока

На рисунке 37 изображена схема, которая разрешает или запрещает работу СУ по кнопке Старт/Стоп. Enable_H и Enable_L – сигналы разрешения на работу блоков. Для некоторых блоков (GATE) разрешение на работу производится высоким уровнем сигнала (Enable_H), для других низким уровнем сигнала (Enable_L).

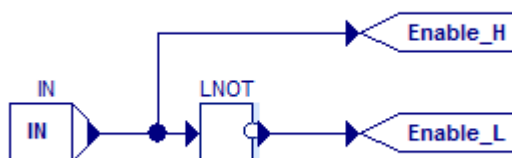


Рисунок 37 - Схема разрешения и запрещения работы СУ

Блок WPCK, изображенный на рисунке 38, необходим для формирования значения от 0 до 3. Это нужно для машины состояний. На

ВХОД ПОДАЮТСЯ СИГНАЛЫ С ДАТЧИКОВ И В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ВОДЫ В РЕЗЕРВУАРЕ, БЛОК ФОРМИРУЕТ ЗНАЧЕНИЕ ОТ 0 ДО 3, КОТОРЫЕ УПРАВЛЯЮТ ПУСКОМ ИЛИ ОСТАНОВОМ ДВИГАТЕЛЯ.

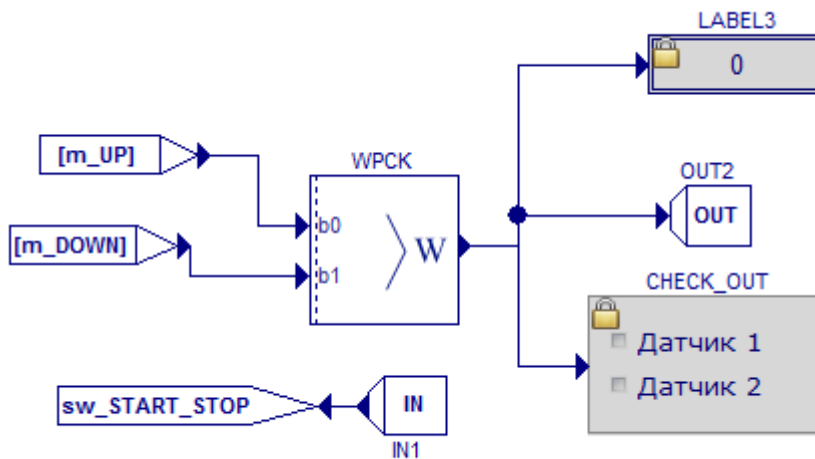


Рисунок 38 – Схема формирования сигнала для машины состояний

Блок Protect.

На рисунке 39 представлена схема защиты.

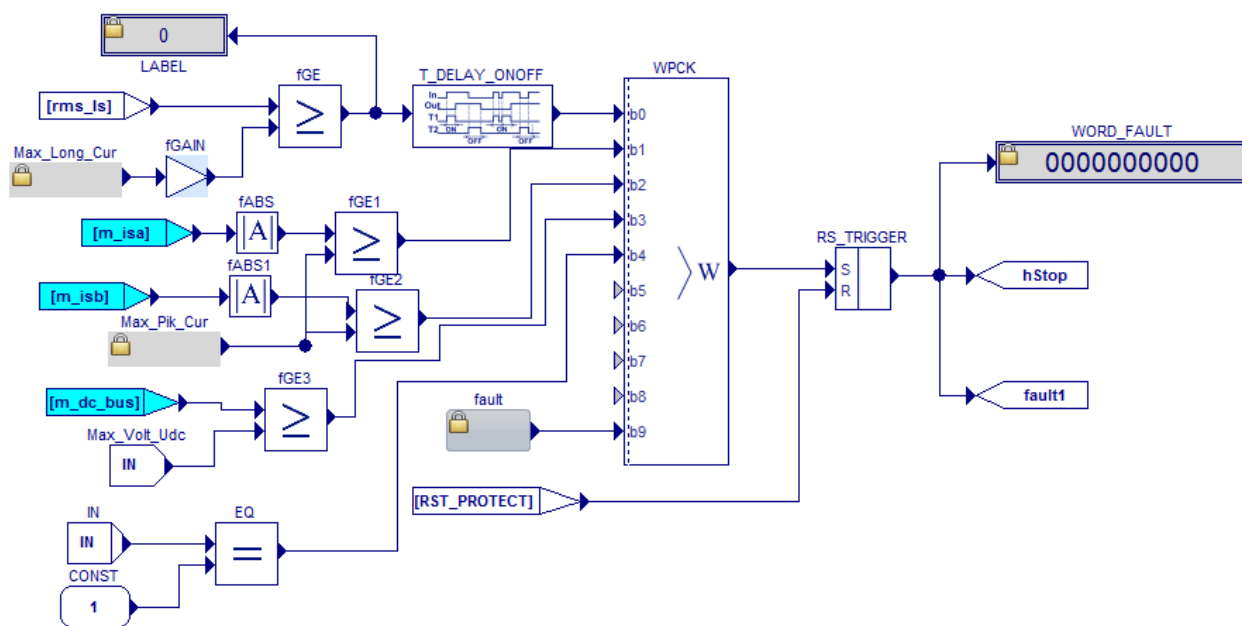


Рисунок 39 – Схема защиты

WPCK – блок формирования слова аварий. На каждый вход подается каждый вид защиты. При срабатывании какой-либо защиты сигнал поступает на hStop и на fault1, которые передают сигнал на останов двигателя. Также на блоке WORD_FAULT появляется код аварии, в зависимости от того, какой вид защиты сработал и, следовательно, на какой вход блока WPCK пришел сигнал.

На вход b0 создана защита от превышения длительного тока. В блоке Max_Long_Cur можно установить значение тока, при превышении которого сработает защита.

На вход b1 и b2 создана защита от превышения максимального тока в фазе А и В. Сигналы тока, в абсолютных единицах, поступают на блоки вычисления модуля сигнала fABS и сравниваются с величиной Max_Pik_Cur. Если в какой-то момент времени ток становится больше уставки Max_Pik_Cur - происходит срабатывание защиты.

На вход b3 создана защита от перенапряжения в DC bus (более 800 В). Защита позволяет сохранить конденсаторы звена постоянного тока в случае выхода из строя тормозного резистора.

На вход b4 создана защита датчиков уровня воды в резервуаре. Невозможно получить высокий сигнал с верхнего датчика и низкий сигнал с нижнего датчика. Если это произошло, значит произошла авария в датчиках.

На вход b9 создана кнопка имитации аварии.

Блок SCALAR.

На рисунке 40 изображены схемы управления скалярной СУ, для первого и второго двигателя.

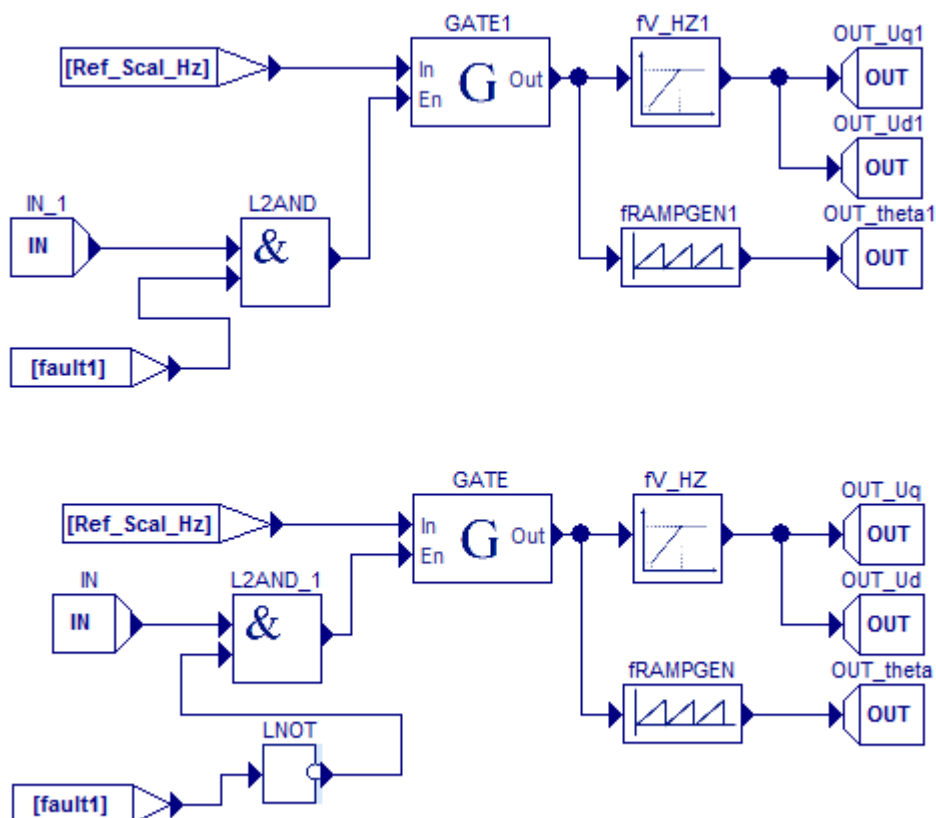


Рисунок 40 – Схемы управления скалярной СУ

Блоки GATE и GATE1 управляют разрешением на работу. Если на вход En этих блоков пришел сигнал, то на выходе выдается нулевой сигнал, то есть останов двигателя. В скалярной СУ необходимо задавать частоту питающего напряжения в GUI. Для этого используется Ref_Scal_Hz. Блок fV_HZ формирует амплитуду вектора напряжения. Блок fRAMPGEN генерирует пилообразный сигнал заданной амплитуды и частоты с требуемым смещением. Далее сигналы через выходы OUT поступают на входы асинхронного двигателя.

Блок MOTOR1

На рисунке 41 представлена машина состояний MOTOR1.

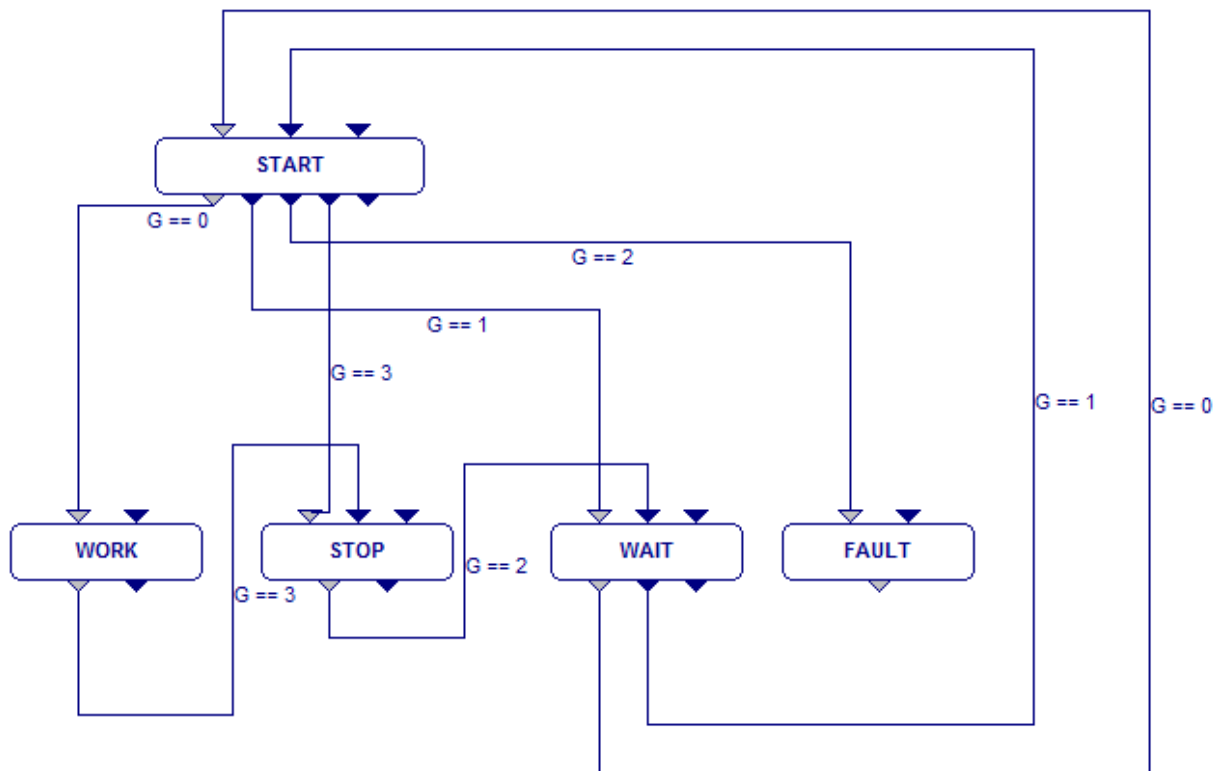


Рисунок 41 – Машина состояний

Введем переменную G , которая может принимать значения от 0 до 3.

- значение 0 означает, что оба датчика имеют низкий сигнал, значит двигатель должен работать (WORK).
- значение 1 означает, что верхний датчик имеет низкий сигнал, а нижний – высокий. При этом значении двигатель должен находиться в режиме ожидания (WAIT).
- значение 2 означает, что верхний датчик имеет высокий сигнал, а нижний – низкий. Это авария (FAULT), так как такого быть не может.
- значение 3 означает, что оба датчика имеют высокий сигнал, значит двигатель должен остановиться (STOP).

Внутри блока WORK создан сигнал, управляющий запуском двигателя, то есть подается константа 1, рисунок 42.

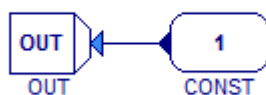


Рисунок 42 - сигнал, управляющий запуском двигателя, в блоке WORK

Внутри блоков WAIT и STOP создан сигнал, управляющий остановом двигателя, то есть подается константа 0.

Блок VoltControl.

На рисунке 43 изображена схема драйвера ШИМ для трехфазного инвертора напряжения.

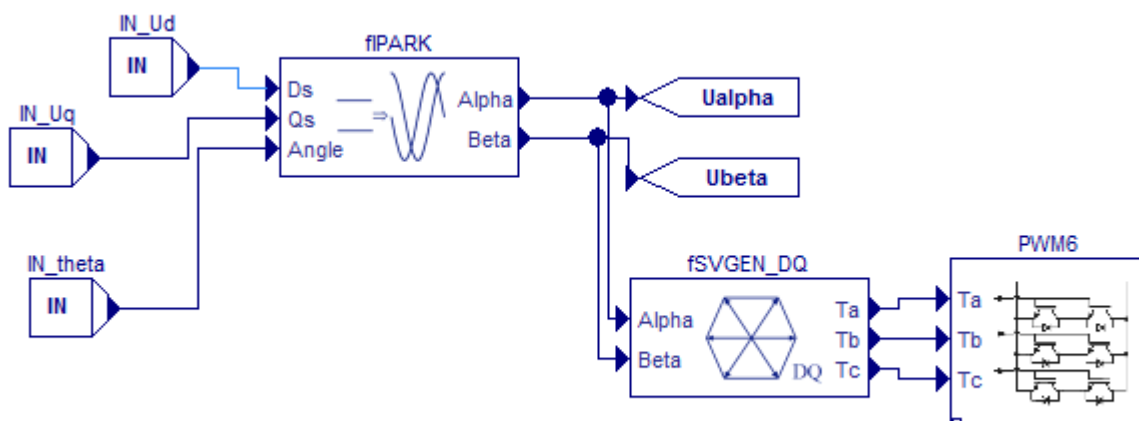


Рисунок 43 - Схема соединения драйвера ШИМ и блока fSVGEN_DQ

Блок fPARK – координатный преобразователь из неподвижной системы координат во вращающуюся. Блок PWM6 – драйвер ШИМ для трехфазного инвертора напряжения. fSVGEN_DQ – блок, предназначенный для формирования специального сигнала задания на блоке драйвера PWM6.

Блок GUI.

Пульт управления GUI представлен на рисунке 44.

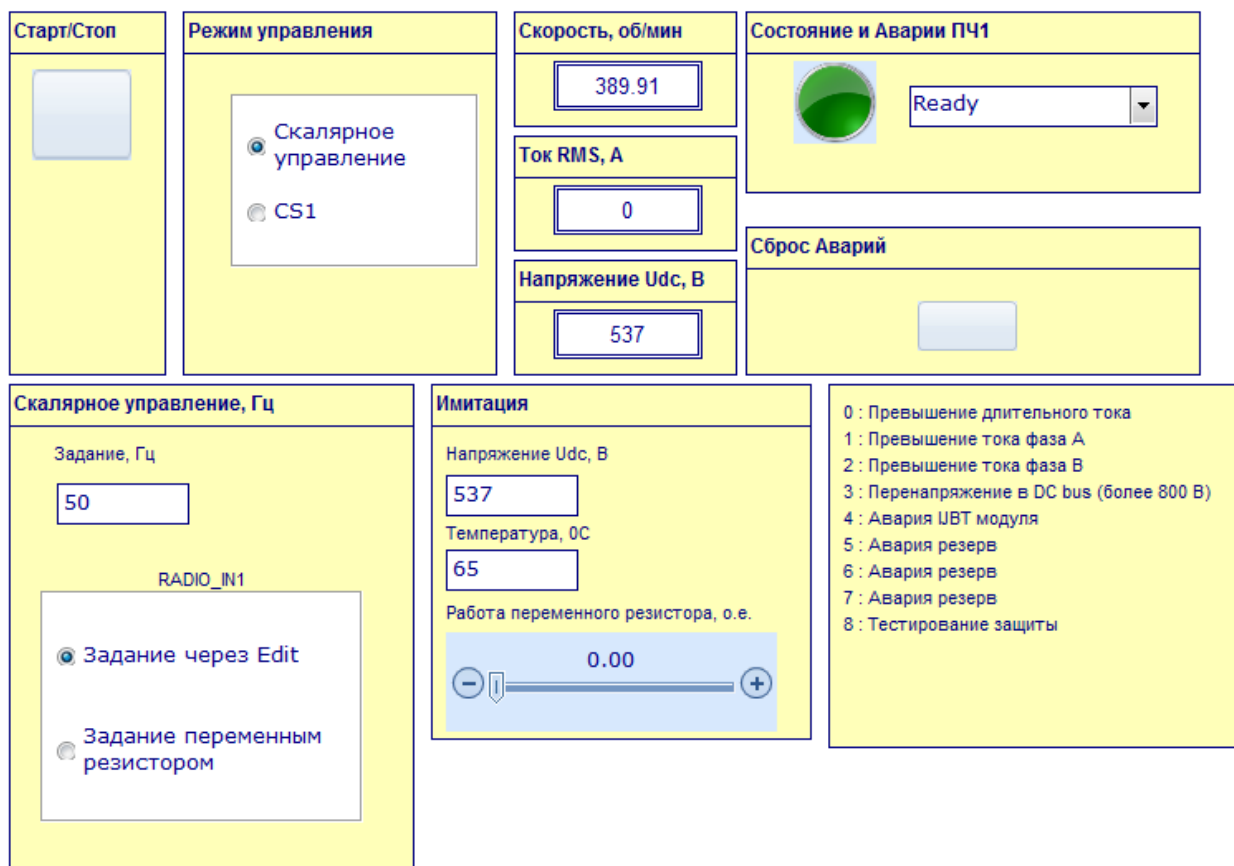


Рисунок 44 – Общий вид пульта управления

Кнопка “Старт/Стоп” управляет пуском и остановом двигателя.

“Режим управления” позволяет выбирать различные режимы управления. В данном случае создано только скалярное управление.

Блоки “Скорость”, “Ток RMS” и “Напряжение Udc” указывают значения в данный момент времени в об/мин, Амперах и Вольтах соответственно.

Код возникшей аварии (от 0 до 8) можно посмотреть на блоке “Состояние и Аварии”, при этом в режиме готовности лампа горит зеленым цветом, а при аварии загорается в красный.

В блоке “Скалярное Управление” можно задать частоту в Гц, а также выбирать задание скорости через частоту или переменным резистором.

В блоке “Имитация” можно задавать значение переменного резистора, меняя скорость двигателя, а также посмотреть значения Напряжения U_{dc} , В и Температуры, $0C$.

Алгоритм автоматизированной системы управления технологическим процессом представлен на рисунке 45.

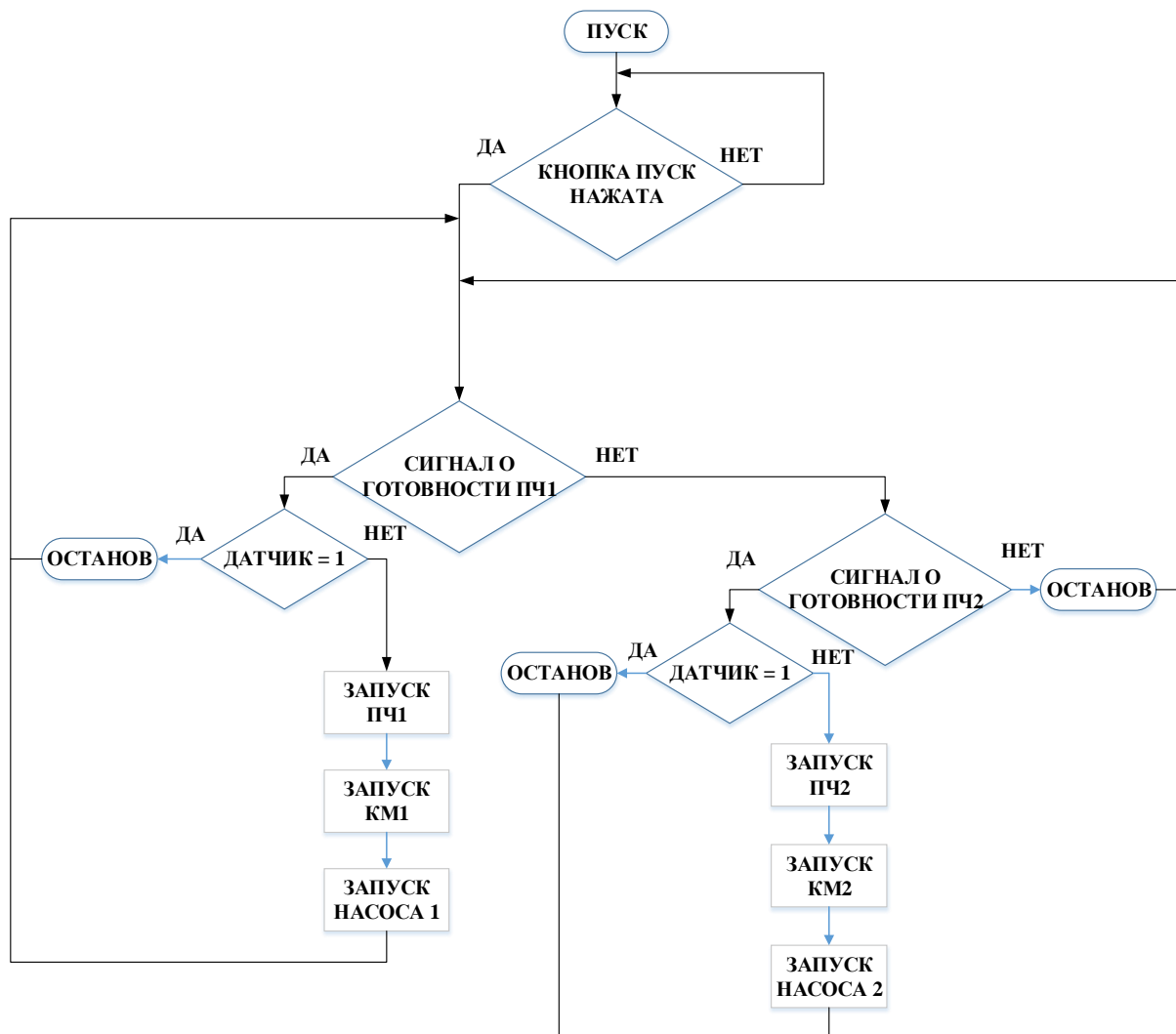


Рисунок 45 – Алгоритм работы автоматизированной системы управления технологическим процессом

6.6. Разработка электрической схемы

Электрическая схема представлена в Приложении Б.

В электрической схеме присутствуют два двигателя, основной М1 и резервный М2, каждый присоединен к преобразователю частоты ПЧ1 и ПЧ2 соответственно. Преобразователь частоты MBS-FC01 включает в себя силовую плату и плату управления, а также источник питания.

Преобразователи частоты имеют 6 цепей:

X1 – входные клеммы для присоединения к питающей сети,

X2 – выходные клеммы для присоединения к двигателю,

X3 – дискретные входы, 24 В,

X4 – клеммы для подключения тормозного резистора,

X5 – заземление,

X6 – дискретный выход, 24 В,

Оба ПЧ питаются от трехфазной цепи, защищенной автоматическим выключателем QF1. Двигатели запускаются при помощи контакторов КМ1 и КМ2 и защищены автоматическими выключателями QF2 и QF3 соответственно.

Для ПЧ1:

DIN1 – Кнопка запуска Пуск/Стоп

DIN2 – Входной сигнал о готовности ПЧ2

DIN3 – Входной сигнал о работе насоса 2

DIN4 – Датчик уровня жидкости

Q1 – Выходной сигнал о работе ПЧ1

Q2 – Выходной сигнал о работе насоса 1

Q3 – Включение лампы HL1 “Готовность ПЧ1”

Q4 – Включение магнитного контактора КМ1

Для ПЧ2:

DIN1 – Входной сигнал о готовности ПЧ1

DIN2 – Входной сигнал о работе насоса 1

- Q1 – Выходной сигнал о работе ПЧ2
- Q2 – Выходной сигнал о работе насоса 2
- Q3 – Включение лампы HL2 “Готовность ПЧ2”
- Q4 – Включение магнитного контактора KM2

Источник питания, встроенный в ПЧ MBS-FC01, подключается к переменной сети 220 В и выдает постоянное напряжение 24 В.

В нормальном режиме, при значении датчика уровня жидкости равном 0, в работе находится Насос 1. В этом случае запущен контактор KM1 и горит лампа HL1. При значении датчика уровня жидкости равном 1, приходит команда на ПЧ1 об останове насоса, до тех пор, пока значение датчика уровня снова не станет 0. В случае, если пропадет сигнал о работе ПЧ1 или сигнал о работе насоса 1, то автоматически в работу вступает резервный Насос 2.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5Б	Адамчуку Александру Владимировичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Энергосберегающие режимы электрических источников питания комплексов и систем

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

<p>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых и человеческих ресурсов</p> <p>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</p>	<p>Смета затрат на проект – 319002 руб. Смета затрат на реализацию проекта – 151900 руб. Затраты на заработную плату – 166717 руб. Накладные затраты – 123838 руб.</p>
<p>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений</p>	<p>В соответствии с Налоговым кодексом РФ ЕСН=30 %</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Планирование комплекса работ (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности работы)</p>	<p>1. Планирование перечня работ, и оценка времени их выполнения</p>
<p>2. Расчет бюджета для научно-технического исследования</p>	<p>2. Смета затрат на проектирование</p>
<p>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</p>	<p>3. Смета затрат на оборудование. 4. Анализ полученных результатов</p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<p>1. График Ганта</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Б	Адамчук Александр Владимирович		

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время идет стремление сделать технический процесс наиболее автоматизированным, а также создавать оборудование, наиболее функциональное и доступное для понимания обычному пользователю. Преобразователь частоты с открытой программной платформой MBS-FC01 позволяет пользователям дорабатывать программное обеспечение, оптимизировать его под собственные задачи, в том числе разрабатывать и добавлять собственные программные модули как уровня управления силовым инвертором, так и уровня программно-логического контроллера для решения задач локальной автоматизации. Причем для этого могут использоваться языки как текстового, так и блочно-модульного программирования, что делает процесс доступным не только для профессиональных программистов, но и для инженеров-электроников, системотехников и т. п. При помощи данного оборудования необходимо создать автоматическую систему поддержания уровня воды в резервуаре, используя центробежные насосы.

7.1 Планирование научно-исследовательских работ. Структура работ в рамках научного исследования

Структура работ составляется в рамках проведения научного исследования, произвести распределение работ исполнителей по видам работ. Структура работ приведена в таблице 11:

Таблица 11 - Структура работ в рамках научного исследования

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер
	10	Публикация полученных результатов	Инженер

Таблица 12 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

№	Наименование работы	Количество исполнителей	Продолжительность, дн.
1	Составление и утверждение технического задания	Инженер 10р. НР 15р.	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер 10р.	35
3	Выбор направления исследований	Инженер 10р. НР 15р.	2
4	Календарное планирование работ по теме	Инженер 10р.	7
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер 10р.	12
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер 10р.	14
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер 10р.	30
8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер 10р. НР 15р.	7
9	Составление пояснительной записки	Инженер 10р.	30
10	Проверка полученных результатов	Инженер 10р. НР 15р.	2

Всего 127 дн., в том числе НР 11 дн.

НР участвует в проекте 8,6%.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ														
			март		апрель			май			июнь			июль			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер	■														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и инженер	■														
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер	■														
4	Календарное планирование работ по теме	Инженер		■													
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер		■													
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель и инженер		■	■												
7	Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими данными	Инженер				■											
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель и инженер						■	■								
9	Составление пояснительной записки	Инженер						■	■								
10	Проверка полученных результатов	Научный руководитель и инженер							■	■							

7.2 Смета затрат на проект

Данная смета включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{np} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл}, \text{ где [7.1]}$$

K_{mat} – материальные затраты;

$K_{ам}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$ – затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные расходы.

7.2.1. Материальные затраты

Материальные затраты принимаем в размере 1000 руб. на канцелярские товары.

$$K_{mat} = 1000 \text{ руб.}$$

7.2.2. Затраты на амортизацию

Амортизация - это процесс переноса стоимости основных средств на стоимость произведенной и проданной конечной продукции по мере их износа, как материального, так и морального.

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \text{ где [7.2]}$$

$T_{исп.кт}$ – время использования компьютерной техники

$T_{кал}$ – календарное время (365 дней)

$Ц_{кт}$ – цена компьютерной техники (20000 руб)

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники (7 лет)

$$K_{ам} = \frac{60}{365} \cdot 20000 \cdot \frac{1}{5} = 657 \text{ руб}$$

7.2.3. Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату исполнителей проекта, рассчитываем по формуле:

$$Kз / пл = ЗПинж + ЗПнр , где [7.3]$$

$$ЗПмес = ЗПо \cdot k1 \cdot k2, где [7.4]$$

$K1$ – коэффициент, учитывающий отпуск (1,1=10%)

$K2$ – районный коэффициент (1,3=30%)

$ЗПо$ – месячный оклад (для доцента 26300 р., для инженера 17000 р.).

Для научного руководителя:

$$ЗПмес = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$ЗПмес = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

Определяем заработную плату за фактически отработанное время:

$$ЗПф = \frac{ЗПмес}{21} \cdot n, где [7.5]$$

21 – число рабочих дней в месяц

n – фактическое число дней в проекте.

Для научного руководителя:

$$ЗПф = \frac{37609}{21} \cdot 11 = 19700 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$ЗПф = \frac{24310}{21} \cdot 127 = 147017 \text{ руб.}$$

$$Kз / пл = 19700 + 147017 = 166717 \text{ руб.}$$

7.2.4. Затраты на социальные нужды

Социальные затраты – затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского страхования от затрат на оплату

труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непромышленной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством. Затраты на социальные нужды (отчисления) берем 30% от $Kз/нл$

$$Kc.o. = \frac{Kз / нл \cdot 30\%}{100\%} \quad [7.6]$$

$$Kc.o. = \frac{61919 \cdot 30}{100} = 18575 \text{ руб.}$$

7.2.5. Прочие затраты

$Kпр$ – прочие затраты, принимаются в размере 10% от ($Kмат + Кам + Kз/нл + Kc.o$)

$$Kпр = \frac{(Kмат + Кам + Kз / нл + Kc.o.) \cdot 10\%}{100\%} \quad [7.7]$$

$$Kпр = \frac{(1000 + 657 + 61919 + 18575) \cdot 10}{100} = 8215 \text{ руб.}$$

7.2.6. Накладные затраты

Накладные расходы принимаются в размере 200% от $Kз/нл$.

$$Kнакл = \frac{Kз / нл \cdot 200\%}{100\%} \quad [7.8]$$

$$Kнакл = \frac{61919 \cdot 200}{100} = 123838 \text{ руб.}$$

7.2.7. Смета затрат на проект

Смета затрат на проект составляет:

$$Kпр = 1000 + 657 + 166717 + 18575 + 8215 + 123838 = 319002 \text{ руб}$$

Таблица 14 – Результаты полученных данных

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация компьютерной техники	657
3	Затраты на заработную плату	166717
4	Затраты на социальные нужды	18575
5	Прочие затраты	8215
6	Накладные расходы	123838
	Итого:	319002

7.3 Расчет затрат на реализацию проекта

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 15:

Таблица 15 – Материальные затраты НТИ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу	Затраты на материалы, руб
Насос	Шт.	2	7000	14000
ПЧ	Шт.	2	66000	132000
Тепловое реле	Шт.	2	500	1000
Автоматический выключатель	Шт.	3	200	600
Магнитный контактор	Шт.	2	500	1000
Датчик уровня	Шт.	2	650	1300
Провода	-	-	-	2000
Итого				151900

В данном проекте для вращения центробежного насоса используется асинхронный двигатель *AIP 100S2* с короткозамкнутым ротором мощностью 4 кВт. Насосы по своим характеристикам имеют большой момент инерции, а, следовательно, чтобы раскрутить ротор двигателя необходимо приложить немалое усилие, что затрудняет их пуск. Пусковой ток в обмотке статора данного двигателя при прямом пуске превышает номинальное значение в 7,5 раз, что сильно сказывается на двигателе и сокращает срок его эксплуатации. Также, при прямом запуске такого двигателя может наблюдаться просадка напряжения, которая может повлечь за собой полное отключение питания вследствие срабатывания защиты.

Останов данного технического процесса недопустим, так как он предназначен для постоянного поддержания уровня воды в резервуаре. Вода в данном случае необходима для обеспечения жизни населения, а также для поддержания некоторых технологических процессов на промышленных предприятиях.

Для решения данной проблемы необходимо использовать преобразователь частоты (ПЧ) *MBS-FC01*, который обеспечивает плавный пуск электродвигателя и существенно снижает пусковые токи. Также данный преобразователь частоты имеет встроенный программируемый логический контроллер (ПЛК), необходимый для полной автоматизации данного технологического процесса. Использование данного преобразователя частоты с открытой программной платформой позволяет снизить дополнительные расходы на оборудование, так как ПЛК изначально встроен в ПЧ, что исключает необходимость в приобретении дополнительного ПЛК. Также существенно снижается количество релейно-коммутационного и защитного оборудования, что делает данный технологический процесс автоматического поддержания уровня воды в резервуаре максимально простой и удобной в эксплуатации.

Преобразователь частоты с открытой программной платформой *MBS-FC01* является разработкой Томского Политехнического

Университета, по характеристикам не уступает зарубежным аналогам, а по стоимости существенно дешевле зарубежных.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5Б	Адамчуку Александру Владимировичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Энергосберегающие режимы электрических источников питания комплексов и систем

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ 12.0.003-74, ГОСТ 12.1.01290, ГОСТ 12.1.005-88, ПУЭ 7-е издание, "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	Вредные факторы, возникающие из-за ПЭВМ. - Негативные влияния: электромагнитное и ионизирующее излучения, шум, вибрация
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	Установлены удлинители в розетках (эл. сеть перегружена) Физические опасные факторы: электрический ток.
3. Охрана окружающей среды	Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ
4. Безопасность в ЧС	Наиболее вероятная ЧС в здании - пожар
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Использовать оборудование и мебель согласно антропометрическим данным

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Б	Адамчук А.В.		

8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

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 оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды.

8.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

К числу вредных производственных факторов относятся: неблагоприятные метеорологические условия, высокие уровни шума и вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, производственная пыль, механические факторы, которые могут привести к травмированию персонала. К опасным в данном помещении относятся следующие факторы [14]:

- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- нервно-психические перегрузки.

Помещение, его размеры (площадь, объем) должны в первую очередь соответствовать количеству рабочих и размещенному в нем оборудованию. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [15] площадь на одно

рабочее место пользователей должна составлять не менее 6 м². Также для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы устанавливают, что на одного рабочего должно приходиться 20 м³ объема воздуха.

Помещение имеет следующие параметры:

- длина помещения 5 м;
- ширина 4 м;
- высота 2,5 м.

Исходя из этих параметров, площадь данного помещения составляет:

$$S = 5 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 20 \text{ м}^2;$$

Объем:

$$V = 5 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = 50 \text{ м}^3.$$

Учитывая, что в офисном помещении работает 2 человека, то на каждого из них приходится по 10 м² площади помещения и по 25 м³ объема воздуха, что соответствует нормам.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в помещениях, оборудованных ПК, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание.

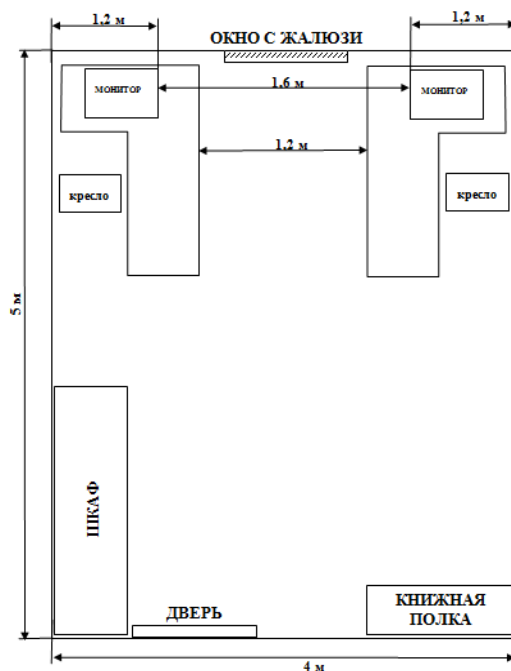


Рисунок 46 – Схема учебной аудитории

Высота рабочего стола с клавиатурой составлять 0,7 м над полом, а высота экрана над полом – 1 м. Монитор находится от оператора на расстоянии 60 – 70 см на 20° ниже уровня глаз. Пространство для ног 0,7 м высотой и шириной 1,3 м, глубиной не менее 0,5 м. В офисных столах предусмотрена подставка для ног сотрудника шириной 0,3 м с регулировкой угла наклона. Ноги при этом должны быть согнуты под прямым углом.

8.1.1 Воздух рабочей зоны

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

По ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [16] нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.

Эти данные приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Нормируемое качество воздуха

Сезон года	Категория работы	Температура, С°	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	I	20-30	60-40	0,2
	II а	18-20		0,2
	II б	17-19		0,3
	III	16-18		0,3
Теплый	I	22-25	60-40	0,2
	II а	21-23		0,3
	II б	20-22		0,4
	III	18-21		0,5

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, выполняемая сотрудниками офиса, относится к категории легких работ I.

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

8.1.2 Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [17].

Правильно спроектированное и выполненное освещение, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Поэтому в соответствии с СанПиН помещение имеет естественное освещение. Но дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а также зависит от погодных условий.

В данном помещении используют искусственное и естественное освещение, поскольку работа в основном зрительная.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Помещение имеет размеры: длина $A = 5$ м, ширина $B = 4$ м, высота $H = 2,5$ м. Площадь помещения:

$$S = A \times B = 5 \times 4 = 20 \text{ м}^2$$

Рекомендуемая освещенность помещения, при работе с монитором, составляет $E_0 = 400$ Лк, учитывая коэффициент запаса (загрязнение светильника) $K = 1,3$ получаем освещенность в помещении:

$$E = E_0 \cdot K = 400 \cdot 1,3 = 520 \text{ Лк.}$$

Коэффициент отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно равны: $q_{\text{п}} = 70\%$, $q_{\text{с}} = 50\%$, $q_{\text{з}} = 30\%$. Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$h = H - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м,}$$

где h_p – высота рабочей поверхности.

Для освещения используются светильники типа ЛБ - 40, для которых оптимальное отношение световых потоков составляет $g = 1,3$. Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = g \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м.}$$

Число рядов светильников:

$$n = \frac{B}{L} = \frac{4}{2,21} = 1,8,$$

где B – ширина помещения.

Выбираем $n = 2$ рядов светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(A+B) \cdot n} = \frac{20}{(4+5) \cdot 2} = 1,11.$$

Зная коэффициенты отражения световых потоков от потолка, стен, пола в лаборатории, можно определить коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{q_i + q_c + q_3}{3} = \frac{70\% + 50\% + 30\%}{3} = 50\%.$$

Световой поток лампы ЛБ - 40 составляет $F_0 = 2480$ Лм. Тогда световой поток светильника, состоящего из двух ламп:

$$F = 2 \cdot F_0 = 2 \cdot 2480 = 4960 \text{ Лм.}$$

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{520 \cdot 20 \cdot 1,15}{2 \cdot 4960 \cdot 0,5 \cdot 1} = 2,4,$$

где $Z = 1,15$ – коэффициент непрерывности;

$\gamma = 1$ – коэффициент затемнения.

Таким образом, примем, что необходимо всего 5 светильников, со схемой их размещения на рисунке 47. При длине светильника $l_{св} = 1,27$ м [18].

Их общая длина составляет:

$$l_{общ} = N \cdot l_{св} = 5 \cdot 1,27 = 6,35 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками:

$$l = \frac{A - l_{\text{общ}}}{N + 1} = \frac{5 - 3,81}{3 + 1} = 0,3 \text{ м.}$$

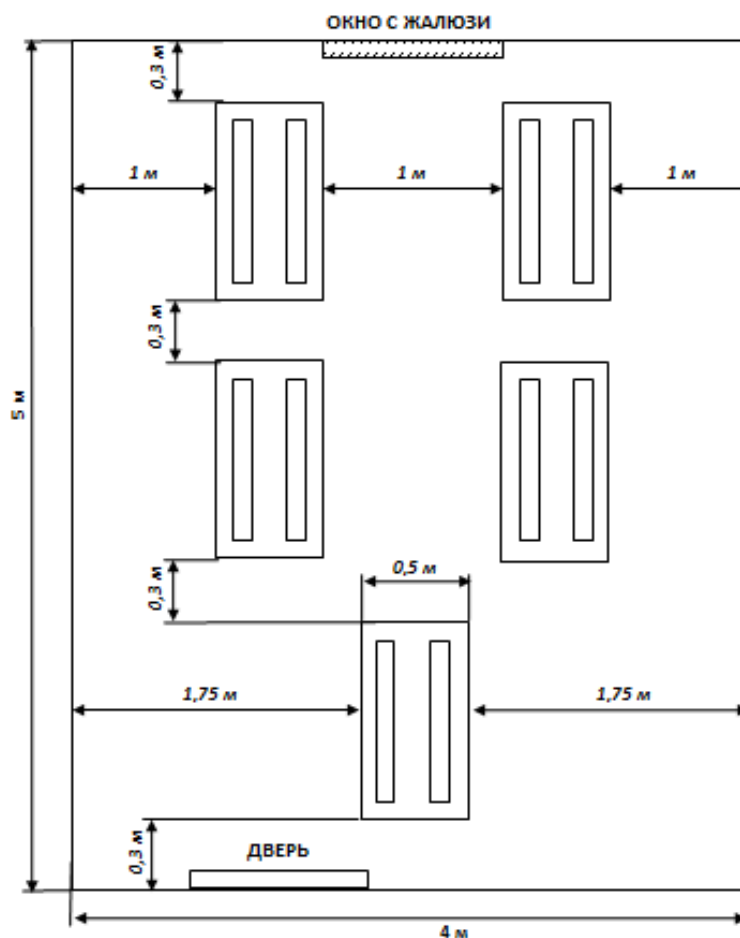


Рисунок 47 – Схема размещения светильников в помещении

8.1.3 Защита от шума и вибрации

Так же к вредным факторам относится шум. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Для измерения громкости (в децибелах Дб) может быть использован двушкальный шумомер. Громкость выше 140 Дб может вызвать болевой эффект.

Допустимые уровни шума ГОСТ 12.1.003-83 [19] для некоторых рабочих мест приведены в таблице 17, а допустимые уровни виброскорости ГОСТ 12.1.012-90 [20] – в таблице 18.

Таблица 17 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблица 18 - Гигиенические нормы уровней виброскорости

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц											
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
В служебных помещениях, конструкторских бюро, лабораториях	–	91	82	76	75	75	75	–	–	–	–	

8.1.4 Состояние воздушной среды

Определяется запыленностью или загазованностью воздуха рабочей зоны. В офисном помещении делается ежедневная влажная уборка, а также отсутствуют источники загрязнения воздушной среды. Концентрации вредных веществ, выделяемых ПК в воздух помещений, не должны превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных для атмосферного воздуха.

Содержание вредных химических веществ в воздухе помещений, предназначенных для использования ПК во всех типах образовательных учреждений, не должно превышать предельно допустимых среднесуточных концентраций для атмосферного воздуха в соответствии с действующими санитарно - эпидемиологическими нормативами. Нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГОСТ 12.1.005-88 [16] представлено в таблице 19.

Таблица 19 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
Азота диоксид	2	п	3	0
Акролеин	0,2	п	II	
Алюминий и его сплавы	2	а	III	Ф
Аминопласты (пресс-порошки)	6	а	3	Ф, А
Аммиак	20	п	IV	
Ангидрид серный +	1	а	2	
Ангидрид сернистый +	10	п	3	
Ацетон	200	п	IV	
Бензол +	15/5	п	2	К
Бенз(а)пирен	0,00015	а	1	К
Бензин (растворитель топливный)	100	п	IV	
Водород фтористый (фтороводород) (в пересчете на F)	0,5/0,1	п	1	О
Кислота азотная+	2	а	III	
Кислота серная+	1	а	II	
Ксилол	50	п	III	
Марганец в сварочных аэрозолях при его содержании: до 20% от 20 до 30%	0,2 0,1	а а	II II	
Углерода оксид	20	п	4	0

Если в графе «ПДК» приведены две величины, то это означает, что в числителе дана максимальная, а в знаменателе – среднесменная ПДК.

Условные обозначения: п – пары и (или) газы; а – аэрозоль; п + а – смесь паров и аэрозоля; О – вещество с остронаправленным механизмом действия, требующее автоматического контроля за его содержанием в воздухе; + – требуется специальная защита кожи и глаз; А – вещества, способные вызывать аллергические заболевания; К – канцерогены; Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК): максимально

разовых рабочей зоны (ПДКМР.РЗ) и среднесменных рабочей зоны (ПДКСС.РЗ).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов государственного санитарного надзора) сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($K_1, K_2 \dots K_n$) в воздухе к их ПДК (ПДК₁, ПДК₂ ... ПДК_n) не должна превышать единицы:

$$\frac{K_1}{ПДК_1} + \frac{K_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{K_n}{ПДК_n} \leq 1.$$

8.1.5 Оценка уровней электромагнитных полей

Проводится при выполнении ряда работ с компьютерами и прочим электрическим оборудованием.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) указаны в таблице 20. Они нормируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [15].

Таблица 20 - Допустимые уровни ЭМП

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

8.1.6 Статическое электричество

Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, в условиях отрицательного контакта или взаимодействия становятся электростатически заряженными. Опасность возникновения статического

электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающем при заряженном поле.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает произвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ [21].

Для защиты от статического электричества компьютерная и орг. техника в помещении заземлена, а также ежедневно в помещении проводится влажная уборка.

8.2 Безопасность в ЧС

Наиболее вероятная ЧС в здании – пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ [22] понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с

установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Офисное помещение по степени пожароопасности относится к классу П-2а [23], так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в офисном помещении проводятся следующие мероприятия:

- сотрудники проходят противопожарный инструктаж;
- сотрудники знают расположение средств пожаротушения и умеют ими пользоваться;
- обеспечивается правильный тепловой и электрический режим работы компьютерной и орг. техники;
- пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения содержатся в исправном состоянии и находятся на видном и легко доступном месте.

8.3 Охрана окружающей среды

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке [24].

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоиться заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том

числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В-третьих, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом, утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.

2. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

3. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники [25].

8.4 Защита в чрезвычайных ситуациях

В помещении, где производилась выпускная квалификационная работа, имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное помещение относится к категории Д (наличие твердых сгораемых вещей) [26].

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия [26]:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и, на достигаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.



Рисунок 48 - План эвакуации второго этажа



Рисунок 49 - План эвакуации первого этажа

8.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно [15] при размещении рабочих мест с ЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинках с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ЭВМ при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации

внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной магистерской диссертации был разработан регулируемый электропривод погружного насоса по системе ПЧ-АД с автоматической системой поддержания уровня воды в резервуаре. Произведен выбор двигателя, преобразователя частоты, защитной аппаратуры.

Получены графики механической и электромеханической характеристик, а также графики механической и электромеханической характеристик при различных частотах закона регулирования $\frac{U_{1H}}{f}$.

Разработана имитационная модель в среде MatLab, отражающая процессы регулирования уровня воды в резервуаре с применением релейного регулятора. Получены графики переходных процессов при прямом пуске двигателя и набросе нагрузки, согласно технологическому процессу. При пуске время переходного процесса составляет $t_{пп1} = 0,2$ с, перерегулирование $H_1 = 5,1$ %. При набросе нагрузки время переходного процесса составляет $t_{пп2} = 0,06$ с, перерегулирование $H_2 = 3,65$ %. Также, получен график, отображающий зависимость уровня воды в резервуаре от времени. Время потребления воды от верхней (3 м) до нижней отметки (1,5 м) составляет 15,05 ч. Время набора воды от нижней (1,5 м) до верхней отметки (3 м) при потреблении составляет 9,5 ч.

Программное обеспечение для преобразователя частоты MBS-FC01, управляющего системой управления, разработано в среде MexBIOS Development Studio. С целью проверки адекватности работы программного обеспечения выполнена симуляция работы системы в штатных и аварийных режимах работы, демонстрирующая адекватность работы системы в целом.

Разработана электрическая схема и спецификация, показывающая всю необходимую аппаратуру данного электропривода и принцип соединения преобразователей частоты с датчиком уровня жидкости,

лампами, катушками контакторов, кнопки Пуск/Стоп. Разработана схема шкафа электроавтоматики.

Экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем. Был проведен расчет сметы затрат на проект, смета затрат на оборудование. Произведено планирование перечня работ, оценка времени их выполнения, а также анализ полученных результатов.

Произведен анализ вредных и опасных факторов, предложены меры по охране окружающей среды, рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, а также безопасность в чрезвычайных ситуациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байбаков С. А. и Субботина Е. А. Частотно-регулируемый привод. Регулирование центробежных насосов, и методы регулирования отпуска тепла в тепловых сетях. 2012. – 23 с.
2. URL: <http://msv-nasko.ru/msv/catalogue/item/ecv/ecv6-65-125.html> (дата обращения: 15.02.2017)
3. ООО «НПФ Мехатроника-Про». Преобразователь частоты с открытой программной платформой MBS-FC01, техническое описание. Томск. – 44 с.
4. Медведев Г.Г., Дорохов А.Р. Введение в курс Насосы, вентиляторы, компрессоры. – Конспект лекций. Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 64 с.
5. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
6. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
7. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчёт характеристик электроприводов переменного тока. Ч.1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136 с.
8. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. – М.: Наука, 1966. – 300 с.
9. Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник/Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822с.
10. В.И. Ключев «Теория электропривода», М: Энергоиздат, 1998.
11. Каталог продукции ОАО «Сибэлектромотор», 2010.

12. М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В. М. Терехов, А.В. Шинянский. Основы автоматизированного электропривода. Учеб. Пособие для вузов. М., «Энергия», 1974. – 568 с.
13. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М., «Энергия», 1972. – 240 с.
14. Крепша Н.В., Свиридов Ю.В. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. – метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 145 с.
15. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
16. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
18. Федосова В.Д. расчет искусственного освещения: Методич. указания. – Томск: Изд – во ТПУ, 1991. – 23 с.
19. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
20. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность.
21. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.
22. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
23. Правила электроустановок ПУЭ.
24. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. / М.: Высшая школа, 1991. – 128с.
25. Как утилизировать бытовую технику и электронику – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ecorb.ru/70>
26. ГОСТ 12.1.010 – 76. Основы противопожарной защиты предприятий.
27. Эргономика рабочего места пользователя ПЭВМ – [Электронный ресурс]-режим доступа: http://bgd.alpud.ru/private/glava4/V_4_A_gigienan.htm

**THE SUBMERSIBLE PUMP ECW 6-6,5-125 CONTROLLED
ELECTRIC DRIVE**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Б	Адамчук Александр Владимирович		

Консультант кафедры ЭПЭО

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Краснов Иван Юрьевич	К.Т.Н.		

Консультант кафедры ИЯ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Баластов Алексей Владимирович			

6.4. Algorithms Development for the control system functioning in the MexBIOS Development Studio environment

MexBIOS Development Studio is a visual environment for the development and modeling of embedded software for control systems for electric motors, technological complexes, programmable logic controllers.

MexBIOS Development Studio provides the user with the following options:

- create own programs for controlling electric motors, technological complexes, PLC;
- perform simulation of program operation and electromechanical objects and systems;
- debug the program loaded into the microcontroller;
- Install component libraries for new microcontrollers.

The process of creating a scalar control system (CS) by an induction motor will be performed in MexBIOS Development Studio. The creation process involves creating a simplified model of an induction motor (based on a two-phase model) and the power section of the frequency converter in the *Models* library. The model is necessary to obtain scaled feedback signals (FS) in the data format that will be used in the CS. The received signals from the FS are transmitted by the *TP_OUT* blocks in the CS, and the feedback in the simulation is closed through the model.

When the experiments are removed, the feedback signals switching from the motor model to the signals received from the drivers of the MBS-FC01 frequency converter sensors is switched.

The presented actions sequence allows creating CS for other FCs.

For the transition possibility from simulation mode to operating mode with real control object and power plant, the *TP_IN* units' ability to transmit one of two connected signals from *TP_OUT* units, depending on the operation mode (simulation or debugging on the controller) is used. Thus, without any changes in the circuit, in the simulation mode, feedback can be closed by signals from

the model, in the debugging mode on the controller, the feedbacks are closed by the drivers (*ADC*, *QEP*).

In the Models library, that is only for modeling, it is necessary to assemble the models of two induction models. The simplest algorithm for the main (*IM MODEL*) and backup (*IM MODEL1*) motors is shown in Figure 26.

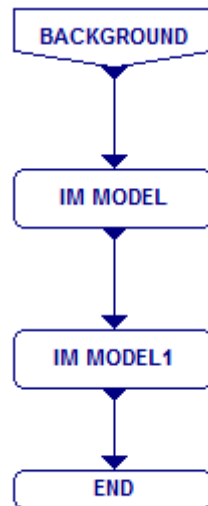


Figure 26 - The algorithm for the main or reserve engine operation

The processes description inside the *IM MODEL* and *IM MODEL1* blocks will be considered in clause 2.2.

The rest of the control system must be assembled in the data exchange mode with the controller (library *TMS320F2833x*). Figure 27 shows the algorithms for the control system operation in the *TMS320F2833x* library for the first and second engines.

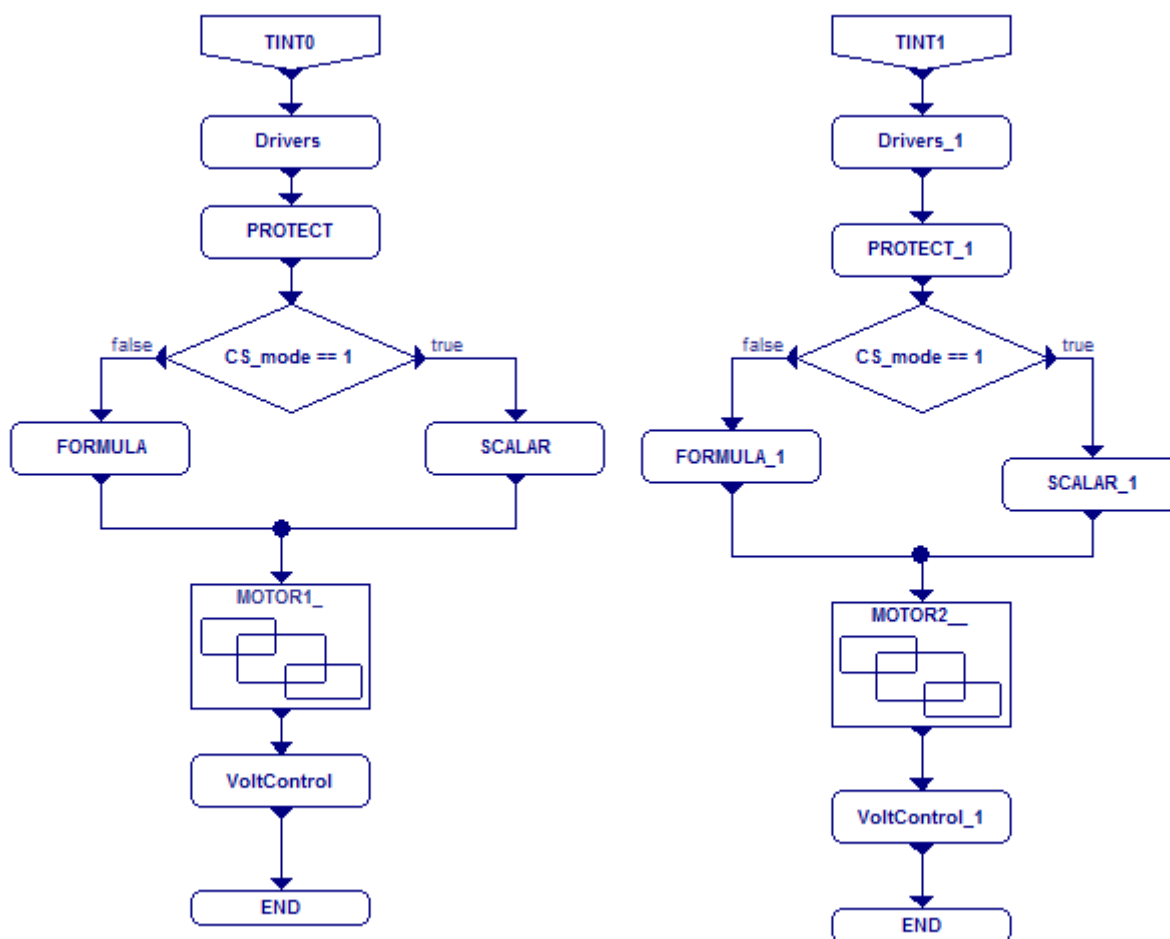


Figure 27 - the control system functioning algorithm in the TMS320F2833x library

We consider each block of this algorithm further. The start block *TINT* means a continuous simulation with a hardware interrupt. This means that the event will be executed by interruption with a strict periodicity. The interrupt will be organized by the processor means. *TINT0* is the name of the vector.

There is required *Drivers* block to receive and process signals from the FC drivers. In this formula, drivers are added that transmit signals to the control system with feedbacks. The received signals from the driver blocks will be reduced to the required scale. Also, in the *Drivers* formula, the logic diagrams for generating an enabling or inhibiting signal for movement (work) are given. The processes description inside the *Drivers* block will be considered in clause 2.2.

The protection unit *Protect* is discussed below. During the CS development it is possible to make mistakes that will lead to the formation of a current dangerous for the power module and the motor, therefore, before checking the created CS for the FC, the formula implements a minimum protections set:

- Exceeded continuous current
- Exceedance of the maximum current in phase A
- Exceedance of the maximum current in phase B
- Overvoltage in DC bus (more than 800 V)

The processes description inside the *Protect* unit will be considered in paragraph 2.2.

The *CS_Mode* condition block defines the CS operating mode. It is possible to set different operation modes of the CS, and with the ability to add/remove a limited number of other operation modes. In our case, there are only two operation modes: the system is running (the *SCALAR* block in which the signal is being generated to the motor) and the system does not work (the *FORMULA* block in which the zero signal for stopping the motor is implemented). The processes description inside the *SCALAR* block will be considered in paragraph 2.2.

Next comes the *MOTOR1* state machine. In this block, signals for starting and stopping the motor are realized depending on the signals of the water sensors. The processes description inside the *MOTOR1* block will be considered in clause 2.2.

The last *VoltControl* block is required to accommodate the PWM control driver and special voltage vector generation units using PWM. The processes description inside the *VoltControl* block will be considered in clause 2.2.

There is required virtual control panel to set parameters and switch between the operating modes of the control system, figure 28.

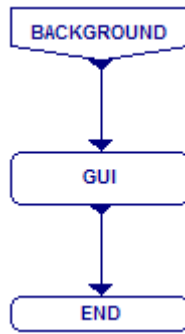


Figure 28 - virtual GUI control panel algorithm, in the TMS320F2833x library

The panel allows you to select the CS mode, set the supply voltage frequency and display the main motor coordinates - the actual value of the stator current in Amperes and the motor speed, rpm. The processes description inside the *GUI* block will be considered in clause 2.2.

6.5 Simulation model creation for the water level automatic regulation in a tank

We consider each block of the algorithm separately.

IM MODEL and *IM MODEL1*.

The main and reserve engines models are the same, then we consider only one. Figure 29 shows the induction motor model, as well as an water consumption imitation. The *dACIM2* model is a two-phase induction motor model in a fixed coordinate system. The model parameters are set using the *dMOTOR_PARAMS* element through the *Buf* input. The engine model is made in a two-phase coordinate system, and the current outputs are obtained in a three-phase coordinate system, as well as on a real engine. The simplified model of the frequency converter is the voltage value on the DC bus *Udc*, which is converted to phase amplitude voltage by *fGAIN* and fed to the *fMPY* blocks.

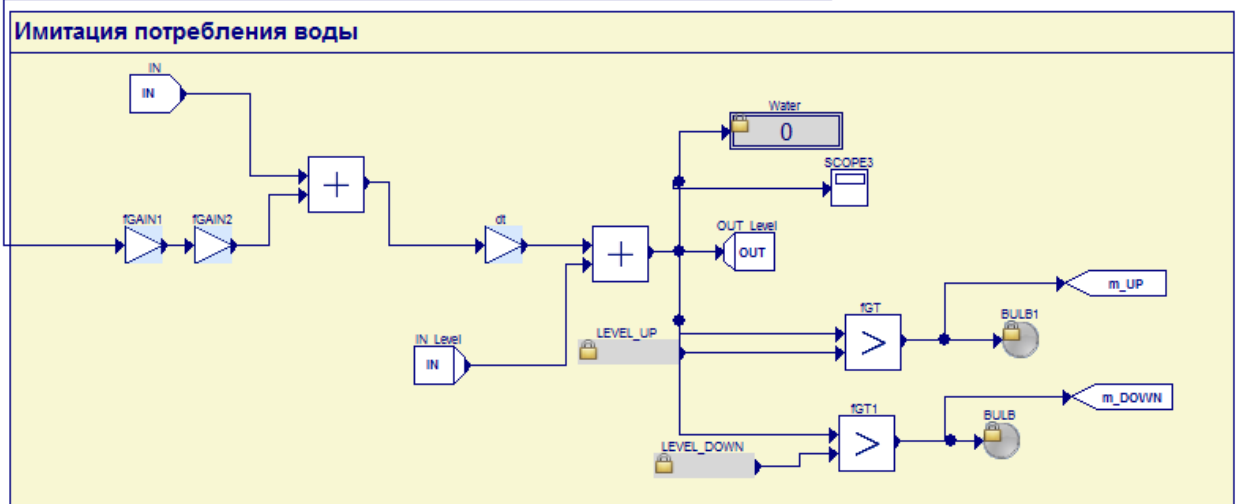
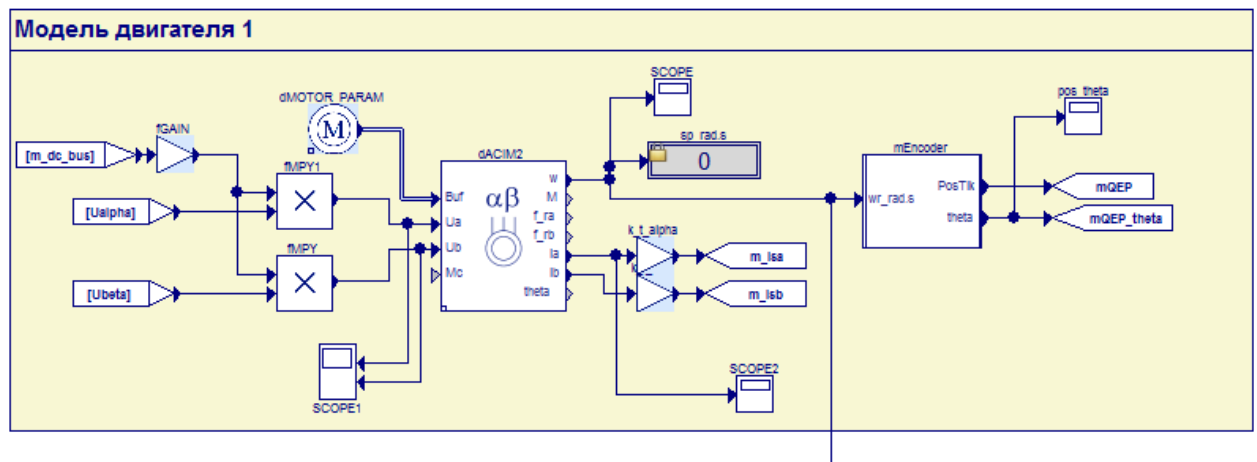


Figure 29 – The induction motor model and imitation of water consumption

The *mEncoder* block is an encoder.

There is required two signals from the incremental encoder for the control system: an increasing position signal and a sawtooth signal of the rotor shaft position. A position signal will be required to implement a closed position control system. A sawtooth signal is required to calculate the rotational speed of the motor shaft.

These signals simulation can be obtained from the speed signal, for this it is necessary to integrate the velocity and bring the obtained position value in radians to the signal of the incremental encoder marks. Also, the sawtooth signal must be obtained in relative units from 0 to 1.

It is necessary to integrate the input signal (dimension rad / s) and multiply it by a factor of $4 \cdot N / (2 \cdot \pi)$ to obtain the signal in the encoder marks,

where N is the number of marks per encoder revolution (the *QEP* driver counts the quadruple position - all fronts are counted Signal A and B).

The factor is realized by the circuit 1 in Figure 30. The integration is realized by circuit 2, the position output signal.

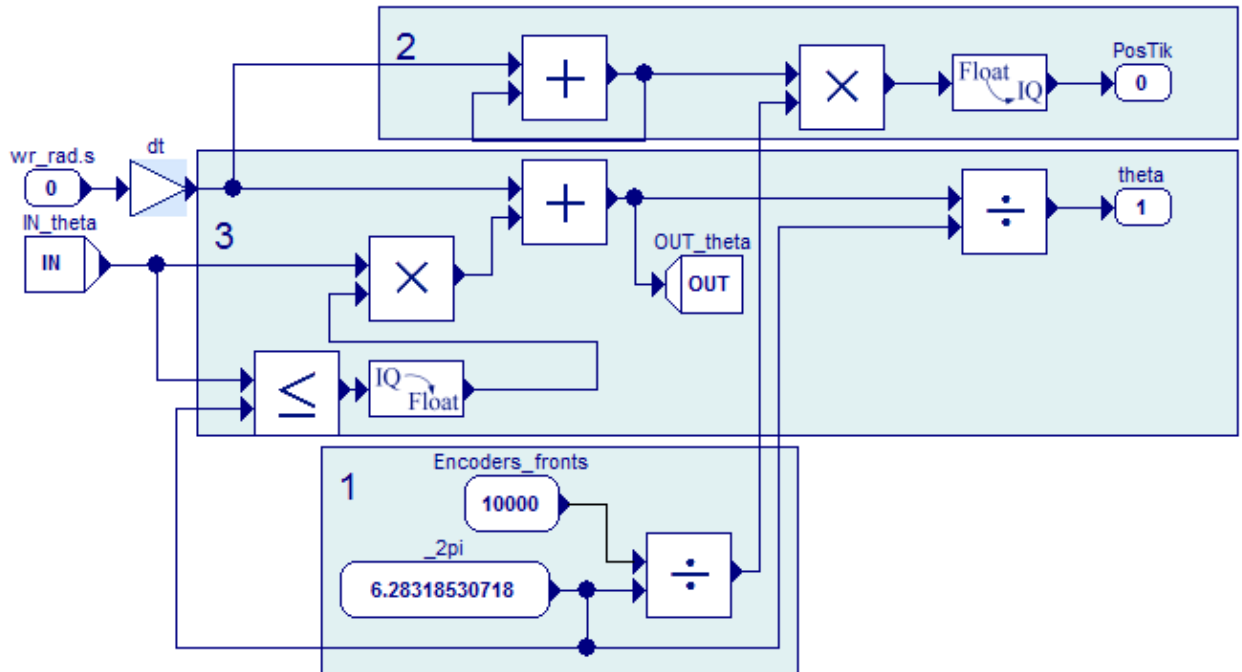


Figure 30 - The mEncoder subsystem contents

It is necessary to integrate the signal with a variable (*theta* variable in the *Models* library root) to obtain a sawtooth signal in relative units and to reset the position signal to zero when equal (less than or equal to) the signal $2 \cdot \pi$. Next, divide the received signal by $2 \cdot \pi$ to obtain the signal in relative units. This scheme is implemented by the third group of blocks in Figure 30.

This model simulates an automatic process of maintaining the water level in the reservoir. The water quantity pumped by the pump is simulated by the *fGAIN1* block, the coefficient is set in it, this coefficient converts the engine rotation speed into the water quantity pumped by the pump, cubic meter per hour. Using the *fGAIN2* block, you can set the consumption rate. The consumed water quantity is subtracted by the adder, and the value is set in the *IN* block. In blocks *LEVEL_UP* and *LEVEL_DOWN* it is necessary to set the maximum and

minimum water level, respectively, on which the water level sensors will be installed. In this case, the minimum level is 1.5 m and the maximum level is 3 m. The *fGT* and *fGTI* units compare the signals of the active water level and the set one, and at the values exceeding the preset, the signals are given to start or stop the engine.

Figure 31 shows a water level plot in the reservoir (h, m) versus time (t, h).

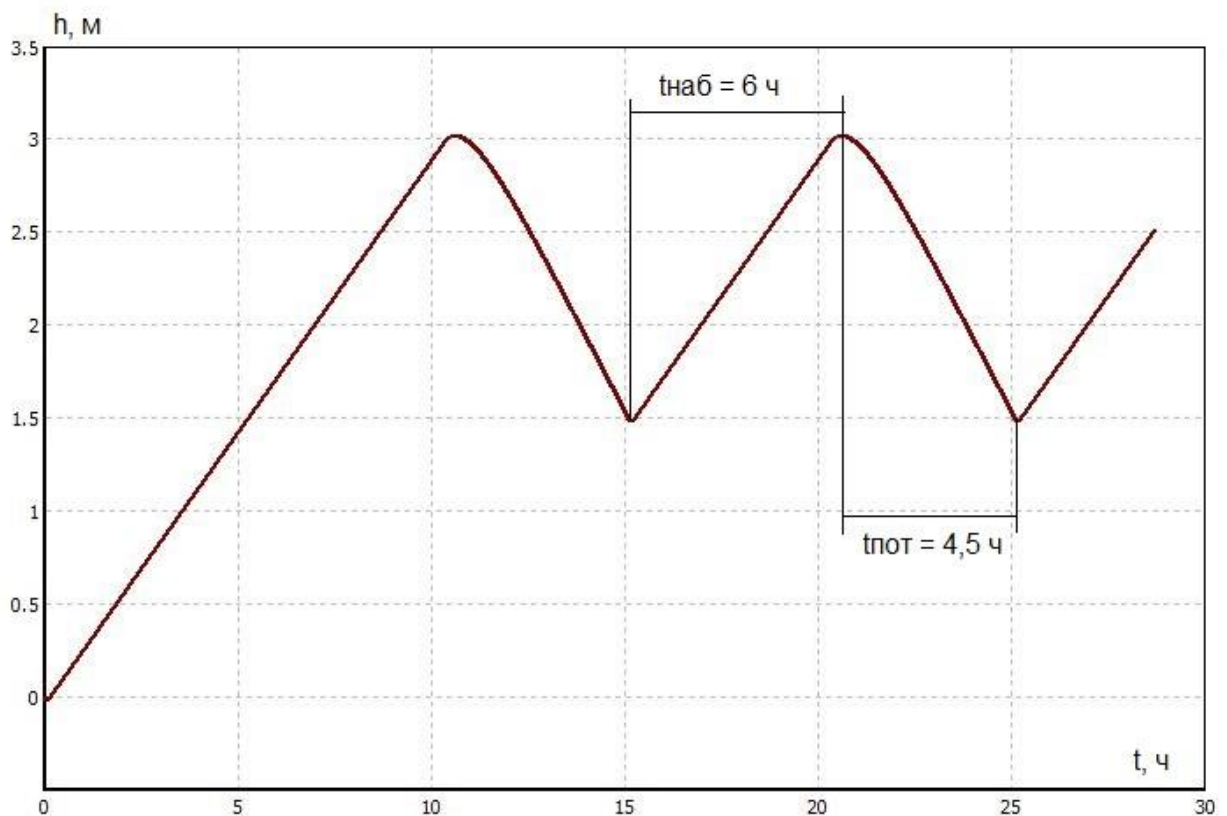


Figure 31 - Graph of the water level in the tank versus time

Block Drivers.

A *QEP* driver is required to obtain the speed signal. The circuit for obtaining the speed signal is shown in Figure 32. At this CS construction stage, the necessary circuits are created for processing signals from the FS, which will process the signal from the engine model. The signal *fdb_wr* is required for feedback in the CS, and the *wr_ob.min* signal is required to display the current speed value on the virtual control panel in rpm.

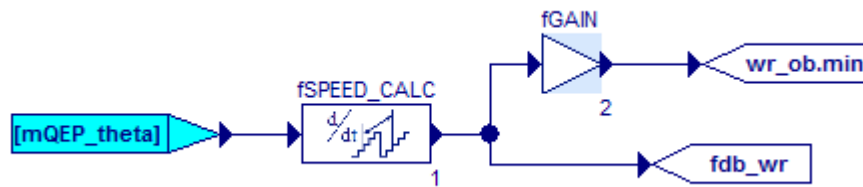


Figure 32 - Speed signal acquisition circuit

Figure 33 shows a diagram for obtaining an approximate value of the effective current value in absolute units. To calculate the approximate effective value, it is necessary to use the calculation operation of the vector modulus ($fMAG$).

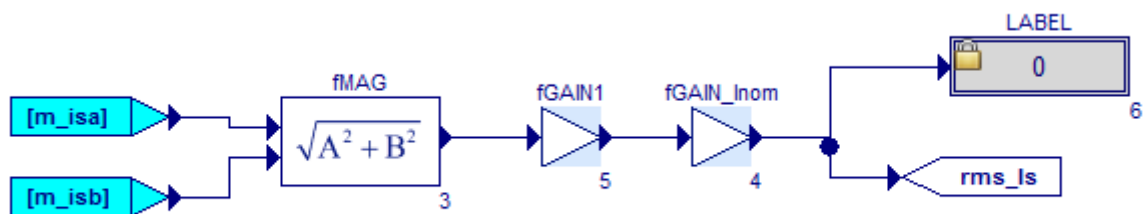


Figure 33 - The scheme of obtaining the actual current value

It is necessary to add peripheral drivers to obtain the FS signals from the FC. Figure 34 shows the ADC.

- $fCLARKE$ - coordinate transformation from a three-phase coordinate system to a two-phase system.
- hw_isa - digitized current signal of motor phase A (from ADC driver) in absolute units.
- hw_isb - digitized current signal of phase B of the motor (from the ADC driver) in absolute units.
- hw_DC_BUS - voltage signal from the DC bus.
- $hw_Resistor$ - reference signal from the variable resistor connected to the inverter, in relative units.

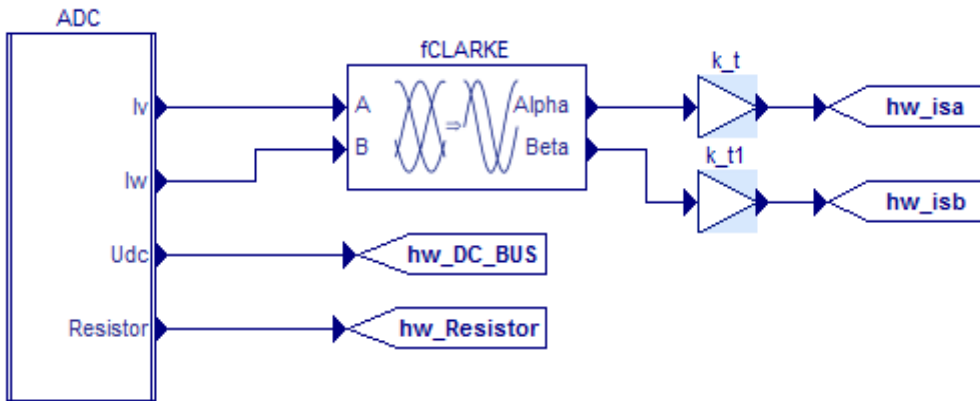


Figure 34 - Signal processing scheme from the ADC driver

QEP is an incremental encoder driver, shown in Figure 35.

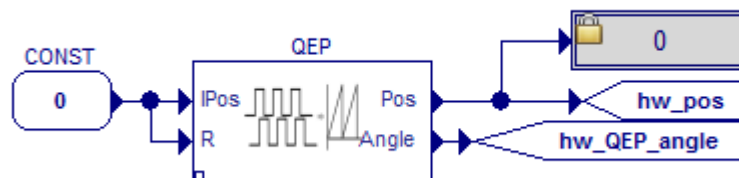


Figure 35 - Scheme for receiving the signal from the QEP sensor

Figure 36 shows the PWM resolution circuit and the DC bus power-on reset circuit when the specified voltage threshold is exceeded.

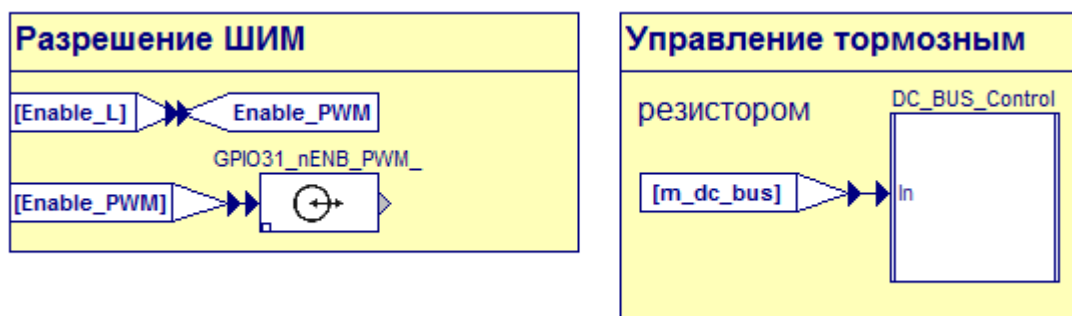


Figure 36 - PWM resolution scheme for the drive and the voltage control subsystem on the DC bus

Figure 37 shows a diagram that allows or prohibits the CS operation by the Start / Stop button. *Enable_H* and *Enable_L* - block enable signals. For some blocks (*GATE*), the permission to work is produced by a high level of signal (*Enable_H*), for others by a low signal level (*Enable_L*).

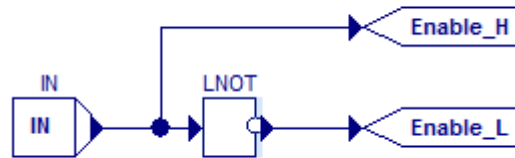


Figure 37 - Diagram of the CS permission and prohibition

The *WPCK* block shown in Figure 38 is required to form a value from 0 to 3. This is necessary for the state machine. The input signals from the sensors and depending on the level of water in the tank, the unit generates a value from 0 to 3, which control the start or stop of the engine.

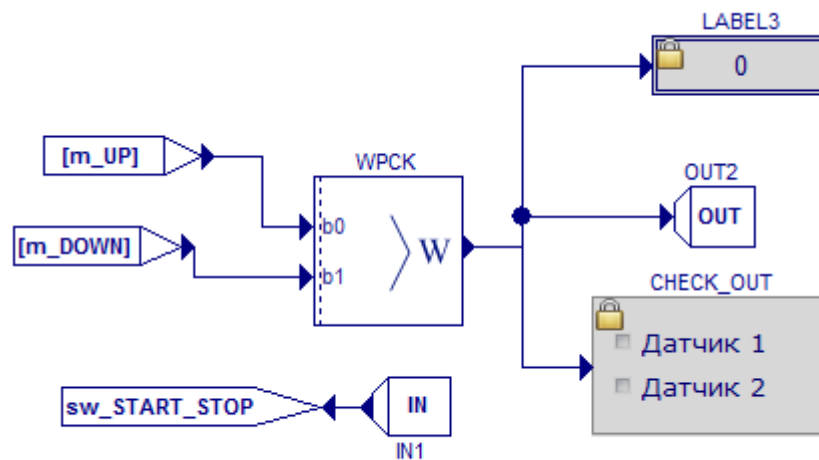


Figure 38 - Signal conditioning circuit for the state machine

Block Protect.

Figure 39 shows the protection scheme.

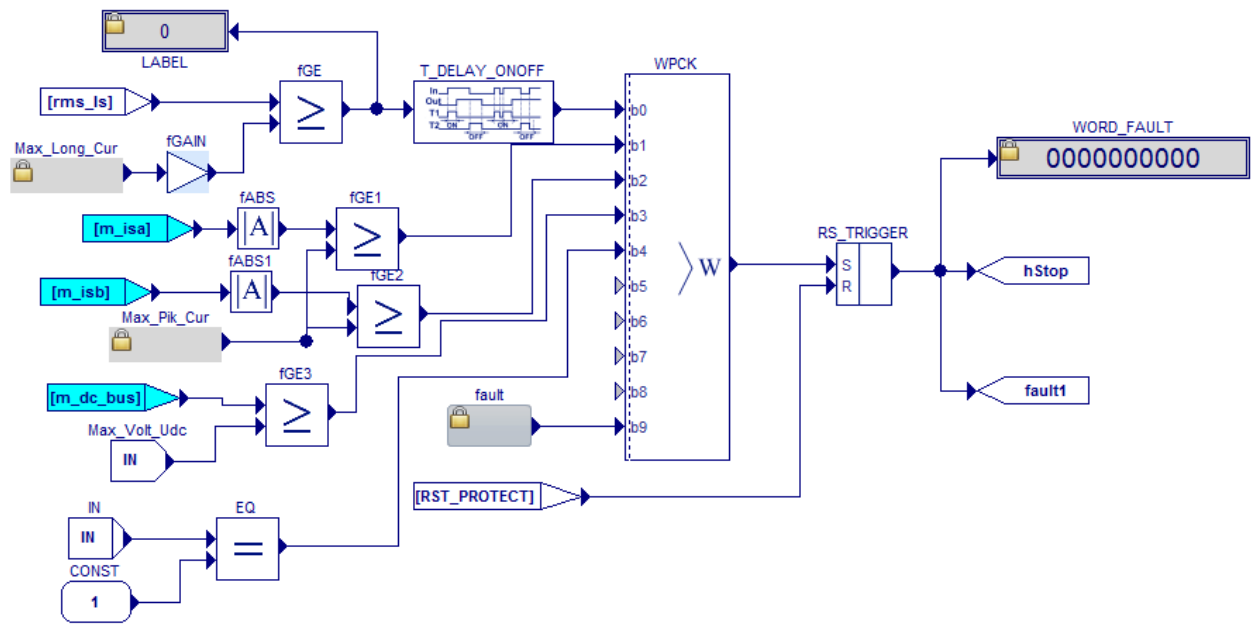


Figure 39 - Protection scheme

WPCCK is the block for forming the accident word. Each protection type is provided for each input. When any protection is triggered, the signal goes to *hStop* and *fault1*, which transmit the signal to stop the motor. Also, an alarm code appears on the *WORD_FAULT* block, depending on which type of protection has been triggered and, consequently, which input the *WPCCK* unit received the signal.

The input *b0* provides protection against exceeding the long-time current. In the *Max_Long_Cur* block, you can set the current value, if exceeded, the protection will work.

Inputs *b1* and *b2* provide protection against exceeding the maximum current in phases A and B. Current signals, in absolute units, are fed to the calculation units of the signal module *fABS* and compared with the *Max_Pik_Cur* value. If, at some point in time, the current becomes greater than the *Max_Pik_Cur* setting, the protection trips.

At input *b3*, an overvoltage protection is created in the DC bus (more than 800 V). Protection allows you to save the capacitors of the DC link in the event of braking resistor failure.

At the input *b4*, the protection of the water level sensors in the tank is created. It is not possible to get a high signal from the upper sensor and a low signal from the lower sensor. If this happened, then there was an accident in the sensors.

An alarm simulation button is created at the input *b9*.

Block SCALAR.

Figure 40 shows the control schemes for a scalar CS for the first and second engines.

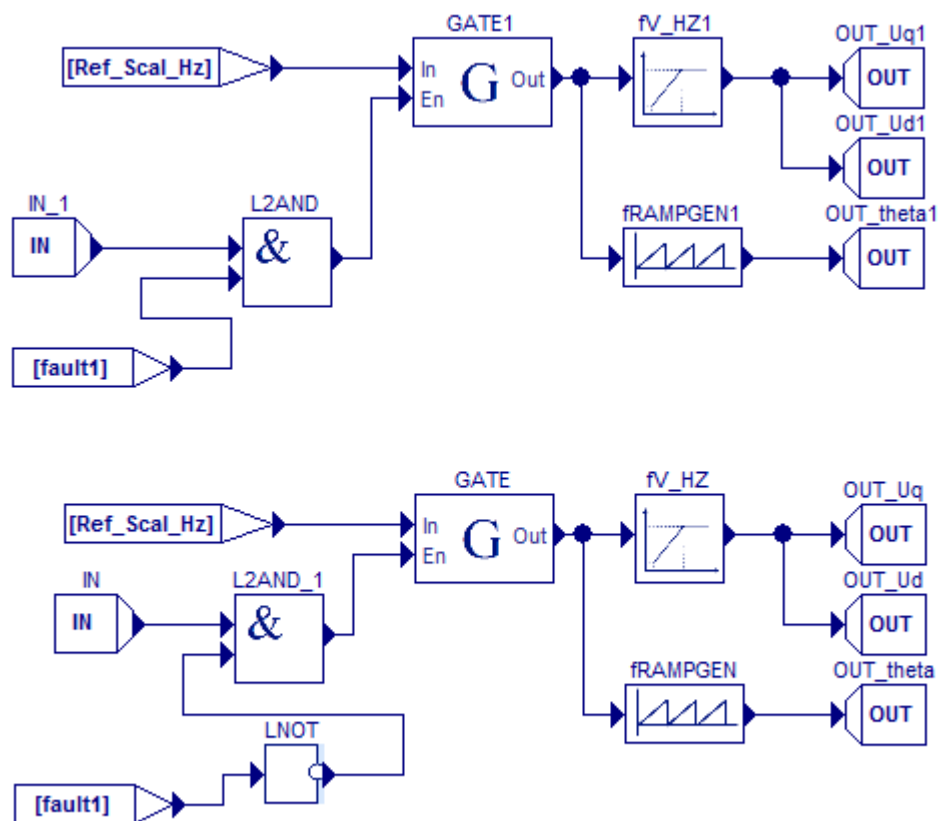


Figure 40 - Schemes for managing the scalar SU

The *GATE* and *GATE1* blocks control the work permit. If a signal comes to the input *En* of these blocks, then a zero signal is output, that is, the motor stop. In the scalar CS, it is necessary to set the supply voltage frequency in the *GUI*. To do this, use *Ref_Scal_Hz*. The block *fV_HZ* forms the voltage vector amplitude.

The *fRAMPGEN* unit generates a sawtooth signal of a specified amplitude and frequency with the desired offset. Then the signals are output from the *OUT* outputs to the induction motor inputs.

MOTOR1 block

Figure 41 shows the *MOTOR1* state machine.

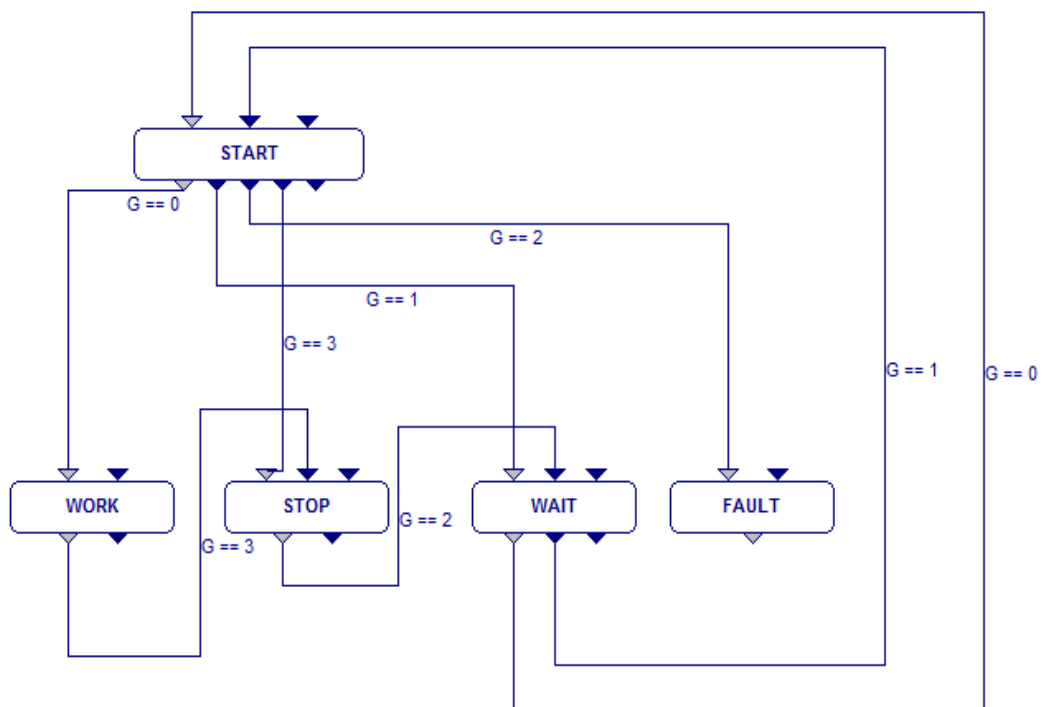


Figure 41 - State machine

We introduce the variable *G*, which can take values from 0 to 3.

- a value of 0 means that both sensors have a low signal, then the motor must work (*WORK*).
- a value of 1 means that the upper sensor has a low signal and the lower one has a high signal. At this value, the motor must be in the standby mode (*WAIT*).
- a value of 2 means that the upper sensor has a high signal and the lower one has a low signal. This is an accident (*FAULT*), as this can not be.
- a value of 3 means that both sensors have a high signal, then the engine must stop (*STOP*).

Inside the *WORK* block, a signal is created that controls the motor start, that is, a constant 1 is supplied, figure 42.

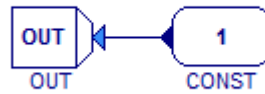


Figure 42 - The signal that controls the engine start, in the block *WORK*

Inside the *WAIT* and *STOP* units, a signal is generated controlling the motor stop, that is, a constant 0 is applied.

Block VoltControl.

Figure 43 shows the PWM driver circuit for a three-phase voltage inverter.

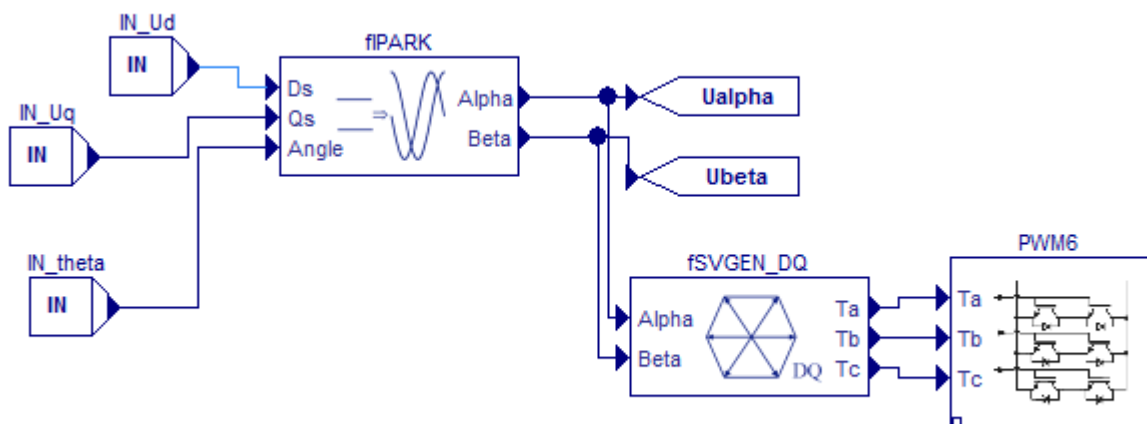


Figure 43 - Connection diagram of the PWM driver and the *fSVGEN_DQ* block

The *fPARK* block is a coordinate converter from a fixed coordinate system to a rotating coordinate system. Block *PWM6* - PWM driver for three-phase voltage inverter. *FSVGEN_DQ* - block, designed to generate a special reference signal on the driver block *PWM6*.

The GUI block

The GUI control panel is shown in Figure 44.

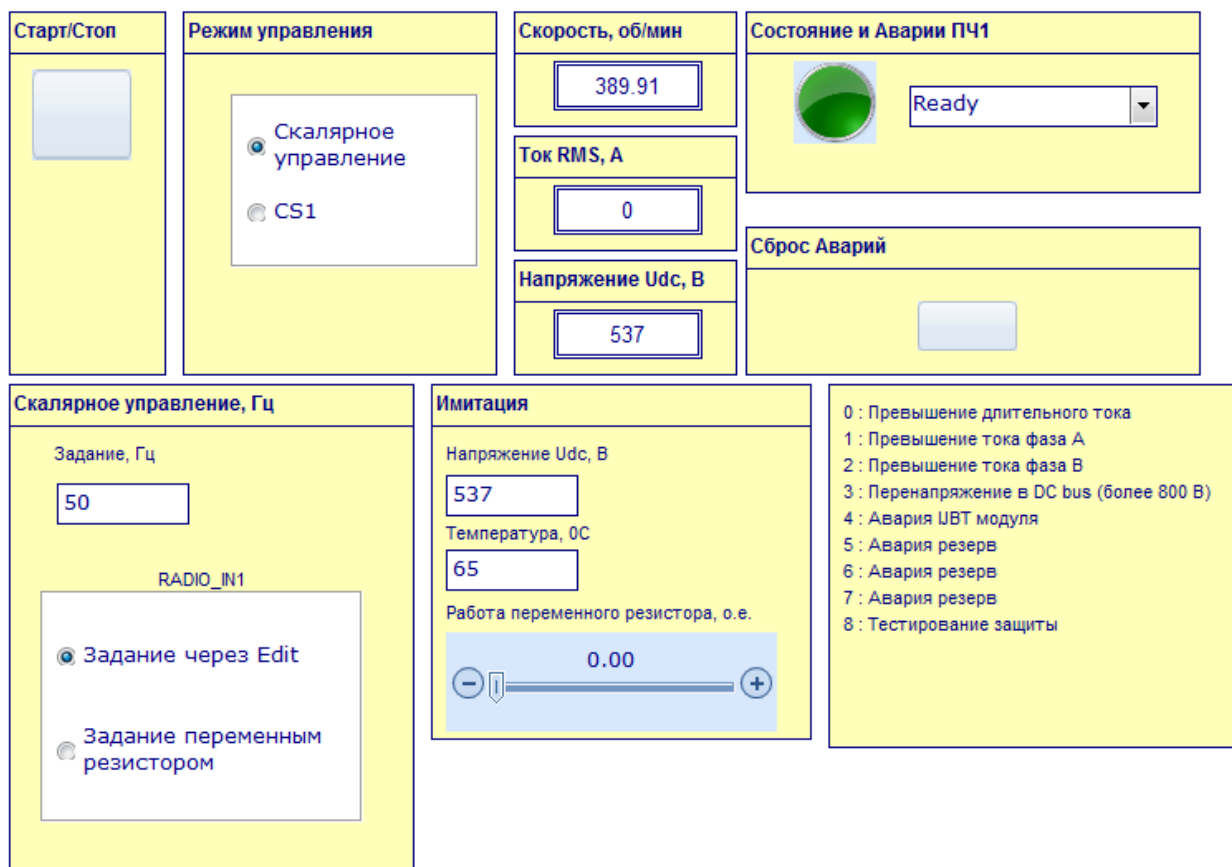


Figure 44 - General view of the control panel

The "Start / Stop" button controls the starting and stopping of the motor.

"Control Mode" allows you to select different control modes. In this case, only scalar control is created.

Blocks "Speed", "Current *RMS*" and "Voltage *Udc*" indicate the values at a given time in rpm, Amps and Volts respectively.

The fault code that occurred (from 0 to 8) can be viewed on the "Status and Alarms" block, while in the standby mode the lamp lights up in green, and in the accident event, it lights up in red.

In the "Scalar Control" block, you can set the frequency in Hz, and also select the speed reference via frequency or a variable resistor.

In the "Simulation" block, you can set the variable resistor value, changing the motor speed, and also see the values of Voltage *Udc*, V and Temperature, °C.

The algorithm of the automated process control system is shown in Figure 45.

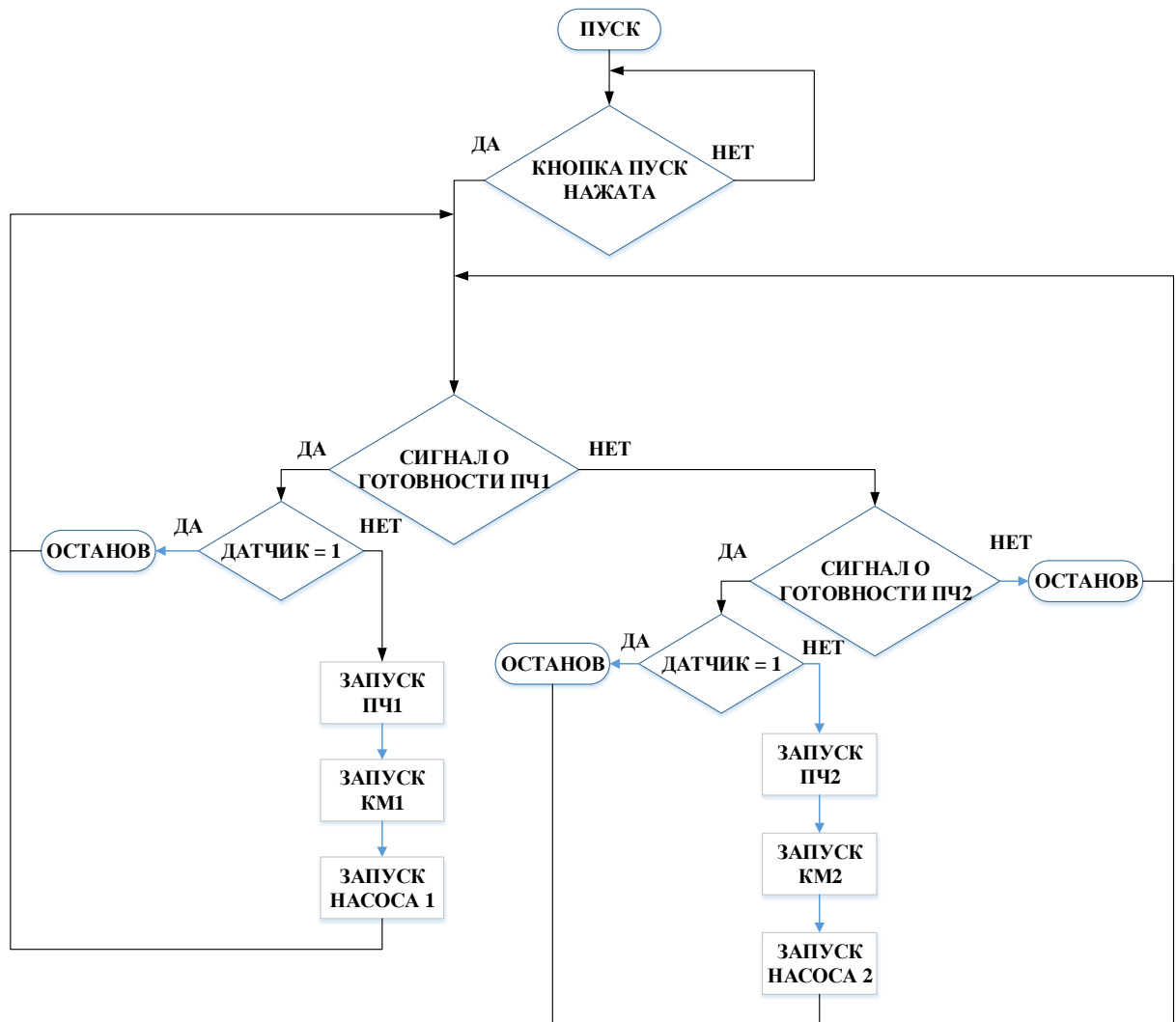
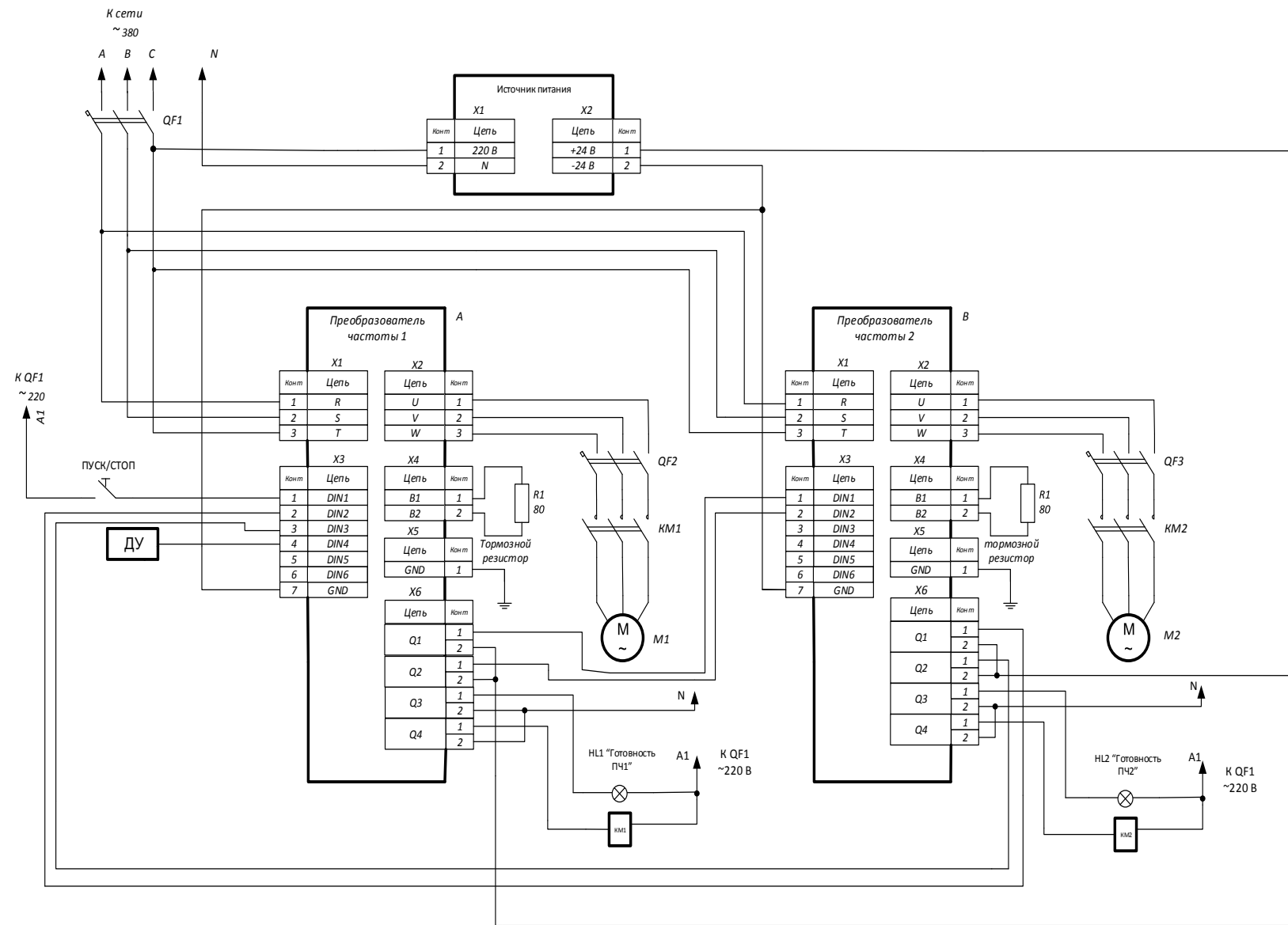


Figure 45 - The automated process control system algorithm



Исполн. в табл. 1.1
 Исполн. в табл. 1.2
 Исполн. в табл. 1.3
 Исполн. в табл. 1.4
 Исполн. в табл. 1.5
 Исполн. в табл. 1.6
 Исполн. в табл. 1.7
 Исполн. в табл. 1.8
 Исполн. в табл. 1.9
 Исполн. в табл. 1.10
 Исполн. в табл. 1.11
 Исполн. в табл. 1.12
 Исполн. в табл. 1.13
 Исполн. в табл. 1.14
 Исполн. в табл. 1.15
 Исполн. в табл. 1.16
 Исполн. в табл. 1.17
 Исполн. в табл. 1.18
 Исполн. в табл. 1.19
 Исполн. в табл. 1.20

				ФЮРА 454131.001.33			
Изм.	Лист	Изменения	Испол.	Дата	Исполн.	Проверен.	Дата
1	1		А.А.А.		Б.Б.Б.	В.В.В.	Г.Г.Г.
2	2		Г.Г.Г.		Д.Д.Д.	Е.Е.Е.	З.З.З.
3	3		И.И.И.		К.К.К.	Л.Л.Л.	М.М.М.
4	4		О.О.О.		П.П.П.	Р.Р.Р.	С.С.С.
5	5		Т.Т.Т.		У.У.У.	Ф.Ф.Ф.	Х.Х.Х.
6	6		Ц.Ц.Ц.		Ч.Ч.Ч.	Ш.Ш.Ш.	Щ.Щ.Щ.
7	7		Ъ.Ъ.Ъ.		Ы.Ы.Ы.	Э.Э.Э.	Ю.Ю.Ю.
8	8		Я.Я.Я.		А.А.А.	Б.Б.Б.	В.В.В.
9	9		Г.Г.Г.		Д.Д.Д.	Е.Е.Е.	З.З.З.
10	10		И.И.И.		К.К.К.	Л.Л.Л.	М.М.М.
11	11		О.О.О.		П.П.П.	Р.Р.Р.	С.С.С.
12	12		Т.Т.Т.		У.У.У.	Ф.Ф.Ф.	Х.Х.Х.
13	13		Ц.Ц.Ц.		Ч.Ч.Ч.	Ш.Ш.Ш.	Щ.Щ.Щ.
14	14		Ъ.Ъ.Ъ.		Ы.Ы.Ы.	Э.Э.Э.	Ю.Ю.Ю.
15	15		Я.Я.Я.		А.А.А.	Б.Б.Б.	В.В.В.

