

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Энергетический факультет
Кафедра «Автоматизированный электропривод»
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

**Заведующий кафедрой
автоматизированного электропривода,
д.т.н., профессор**

_____ / М.А. Григорьев /
« _____ » _____ 2020 г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ
КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.315 ВКР**

Руководитель, доцент, к.т.н.

_____ / А.Н. Горожанкин /
« _____ » _____ 2020 г.

**Автор работы,
бакалавр группы П–477**

_____ / О.А. Клоков /
« _____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер, доцент, к.т.н.

_____ / Т.А. Функ /
« _____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Клоков О.А. Модернизация электропривода и системы автоматики канализационной насосной станции. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 70 с., 36 ил., 22 табл., библиографический список – 16 наим., 3 листа чертежей ф. А2

В данной работе рассматривается модернизация электропривода канализационной насосной станции и системы автоматики с целью повышения эффективности ее работы, а также с целью своевременного оповещения персонала об аварийных и предаварийных ситуациях. Осуществляется поэтапный подбор силовых агрегатов электропривода, таких как механизированные решётки, дробилки отходов, затворы, насосы и электродвигатели. Производится подбор элементов системы автоматизации технологического процесса таких как программируемый логический контроллер, блок питания, автоматический выключатель, контактор, устройства плавного пуска и другие. Представлен метод блочного написания программы для автоматизации технологического процесса на двух языках программирования, а также описывается процесс создания общей мнемосхемы модернизируемого объекта с визуализацией технологического процесса на ней.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Клоков О.А.</i>			<i>Модернизация электропривода и системы автоматики канализационной насосной станции.</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>							4	68
<i>Реценз</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Функ Т.А.</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Григорьев М.А.</i>						

6.5 Автоматизация работы шиберных затворов	51
6.5.1 Составление логических уравнений	54
6.5.2 Визуализация автоматизации шиберного затвора насоса 1	56
6.6 Наладка программы и составление общей мнемосхемы	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	59
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	62

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и внедрение вычислительной техники, программного обеспечения, средств измерений приводит к существенному увеличению информационных потоков. Это в полной мере относится к объему передаваемых технологических данных. Опыт показывает: если современное предприятие хочет постоянно развиваться и совершенствоваться, ему просто необходимо оперативно принимать правильные управленческие решения, направленные на оптимизацию технологических процессов и режимов работы оборудования. Одним из основных путей решения этих задач является автоматизация технологических процессов.

Автоматизация процессов имеет особое значение в системе водоотведения и канализации, т. к. это связано не только с процессами эффективного управления, но и, что не менее важно, с экологическими вопросами. Несмотря на высокий уровень требований к водоканалам по непрерывности подачи воды в наши квартиры и отведения стоков, уровень автоматизации на этих предприятиях не всегда соответствует современным требованиям. Однако, автоматизация на водоканалах необходима для более эффективного управления технологическим процессом добычи и транспортировки воды, т. к. это позволяет снизить затраты энергии и более эффективно распорядиться имеющимися ресурсами. Особенно это касается работы насосных станций. Внедрение систем автоматического управления технологическим процессом водоотведения и, в частности, управления насосными станциями является одним из важнейших направлений технического прогресса в области создания энергосберегающих и экологически безопасных технологий.

Канализационные насосные станции систем водоотведения представляют собой комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий водоотведение стоков в соответствии с нуждами потребителя.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

Состав сооружений, их конструктивные особенности, тип и число основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из принципов комплексного использования водных ресурсов и охраны природы с учетом назначения насосной станции и предъявляемых к ней технологических требований. На насосных станциях автоматизируются: пуск и остановка насосных агрегатов и вспомогательных насосных установок; контроль и поддержание заданных параметров (например, уровня воды).

Из возможных систем очистки сточных вод выделяют биологическую и механическую. Биологическая система очистки основана на использовании биологических средств для очистки воды. В данной системе осуществляется автоматизация подачи биологического материала в резервуары, а также подача и откачка воды. В реальности, данный метод очистки возможно применять на очистных сооружениях, где нет потребности в быстрой очистке воды, а также где вода предварительно очищена от грубых загрязнений.

Механическая система очистки сточных вод предполагает применение установок, производящих грубую очистку вод от крупного мусора, а также наличие высокого быстродействия. Темпы подачи сточных вод сильно разнятся в течение суток, поэтому необходима быстрая реакция на скорость технологического процесса.

Эффективное управление работой КНС на основе применения современных средств связи и автоматики может позволить своевременно выявлять предаварийные ситуации и соответственно снизить затраты на обслуживание оборудования и более эффективно распорядиться имеющимися трудовыми и финансовыми ресурсами.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

Данный метод, бесспорно, обладает рядом преимуществ, таких как энергоэффективность, экологичность и биологическая очистка воды, однако существуют причины, из-за которых данный метод не подходит для реализации в текущем проекте. В Российской Федерации существуют отдельные очистные сооружения, на которых осуществляется биологическая очистка воды. Также, в сточных водах присутствует огромное количество неразлагаемого мусора, который необходимо отсеять до поступления сточных вод на очистные сооружения.

Крайне полезной для выполнения данного проекта оказалась статья Галева А.С., Сулейманова Р.Н. и Арсланова И.Г. «Автономная система контроля и мониторинга работы насосных агрегатов канализационной насосной станции» [3]. В ней описывается способ постоянного сбора и передачи технологической информации, а также своевременной сигнализации об аварийных ситуациях. Авторы рассказывают разработанной системе контроля и регистрации технологических параметров «АСКиР» с возможностью SMS – оповещения сотрудников об аварии. Данный метод оповещения будет рассматриваться и реализовываться в текущем проекте. Также в статье рассмотрен алгоритм автоматизации процесса откачки сточных вод. В статье приведены изображения разработанного программного обеспечения, а также обоснования для её применения.

Подводя итог можно сказать, что тема автоматизации технологических процессов на канализационных насосных станциях поднимается уже давно. Доказана эффективность данной модернизации, предложены различные варианты для её осуществления. На основании прочитанного материала, а также реального опыта посещения сооружений рассматриваемого типа мною был разработан технологический процесс по предварительной очистке сточных вод и их откачке на очистные сооружения совместно с его автоматизацией.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

2.1 Первый этап

По назначенному каналу сточная вода поступает на оборудование механической очистки. Оборудование состоит из граблей механизированных и дробилки отходов. Второй канал с аналогичным оборудованием находится в резерве, перекрытый щитовым затвором. Канал оснащен датчиками уровня воды, расположенных вертикально. По ходу следования воды крупный мусор задерживается на сороудерживающем полотне. Механизированные грабли извлекают удержанный мусор и направляют его в дробилку. После измельчения мусор поступает обратно в канал движения сточных вод.

При уровне воды ниже уровня «0» механизированные грабли работают на низкой скорости, щитовой затвор резервного канала закрыт. При достижении сточной водой уровня «1» механизированные грабли переключаются на повышенную скорость, щитовой затвор резервного канала закрыт. В момент, когда уровень воды поднимается до уровня «2», открывается щитовой затвор резервного канала. В работу включаются механизированные грабли резервного канала на пониженной скорости. Одновременно с открытием затвора и снижением уровня воды ниже уровня «2» происходит переключение скорости механизированных граблей основного канала на пониженную скорость. Закрытие щитового затвора и отключение механизированных граблей резервного канала происходит при снижении уровня воды ниже уровня «0».

Назначение функций каналов как «основной» и «резервный» происходит по усмотрению оператора в ручном режиме управления, а также по заданному временному интервалу в автоматическом режиме управления.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

2.2 Второй этап

После очищения от крупного мусора вода поступает в резервуар сточных вод, который оснащён датчиками уровня воды. Датчики располагаются вертикально таким образом, чтобы информировать о достижении водой уровней «0», «1» и «2». Из резервуара вода откачивается парой насосов таким образом, что при достижении водой уровня «2», оба насоса включены. При снижении уровня воды ниже уровня «0» отключается оба работающих насосов, и обратное включение одного из насосов будет осуществлено при достижении водой уровня «1».

Для откачки сточных вод предусмотрена резервная пара насосов. Выбор рабочей пары насосов осуществляется оператором в ручном режиме управления и зависимостью от временных интервалов в автоматическом режиме.

2.3 Аварийный режим

В случае аварии на одном из каналов движения сточных вод происходит закрытие щитового затвора данного канала, и, одновременно, открытие затвора совместно со включением граблей и дробилки резервного канала. На панель оператора поступает сигнал «ALERT», информирующий о произошедшей аварии.

В случае аварии на одном из откачивающих насосов происходит запуск резервной пары насосов одновременно с отключением аварийной пары насосов. Шибберные затворы открываются и закрываются одновременно с запуском и остановом соответствующего насоса. На панель оператора поступает сигнал «ALERT», информирующий о произошедшей аварии. Иллюстрация технологического процесса представлена на рисунке 2.1.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

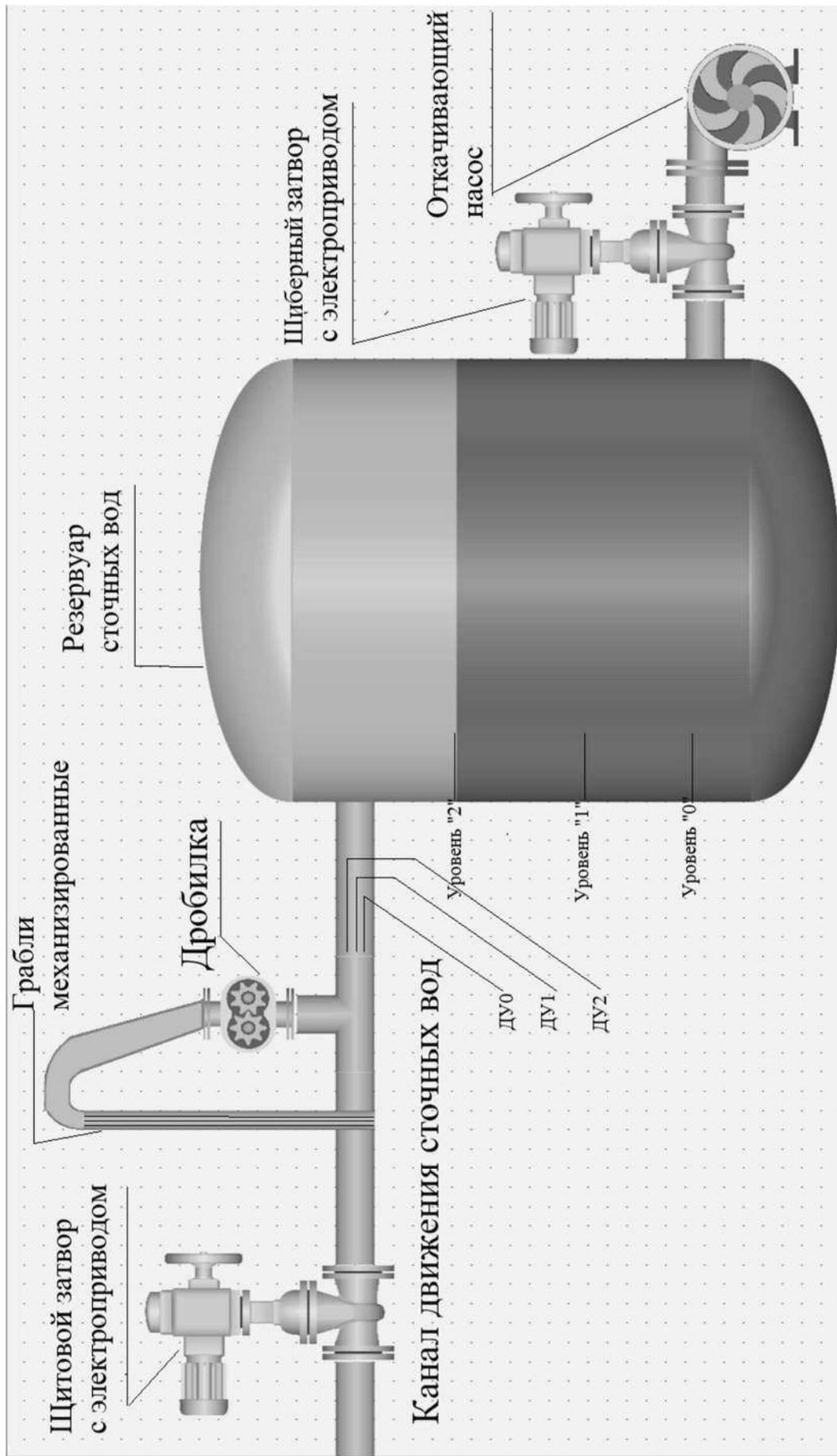


Рисунок 2.1 – Технологический процесс

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ

3 ВЫБОР СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ СИСТЕМЫ

3.1 Выбор граблей механизированных

Для обеспечения фильтрации сточных вод от крупного мусора технологическим процессом предусмотрено наличие грабельных решёток. Решётки устанавливаются в каналы глубиной от 270 мм и шириной от 300 мм и выпускаются с прозорами от 1 мм. Данные характеристики позволяют применять их:

- для защиты насосов на КНС от поломок из-за попадания грубых отбросов;
- для тонкой механической очистки на малых очистных сооружениях бытовых сточных вод;
- для локальной механической очистки сточных вод отдельных объектов.

Готовые решения грабельных решёток представлены на сайте компании «ЕКОТОН» [4]. Из широкого ассортимента выбираю «решётку малую грабельную», технические характеристики которой представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики грабельной решётки

Наименование показателя	Значение	Размерность
Мощность	0,09	кВт
Прозор	2	мм
Продуктивность	17...223	м ³ /час
Высота канала	400	мм
Высота решетки	900	мм
Ширина канала	400	мм
Угол установки	60	град.
Масса	30	кг

Для данного проекта необходимо 2 решётки вышеуказанного плана, так как технологическим процессом предусмотрен резервный канал. Внешний вид грабельных решёток приведён на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – внешний вид малой грабельной решётки

3.2 Выбор дробилки отходов

Согласно технологическому процессу задержанный решётками мусор, с помощью граблей, попадает непосредственно в загрузочный бункер дробилки отходов. Отбросы измельчаются вращающимися навстречу друг другу фрезами, после чего по склизу удаляются из решетки. Фрезы и валы дробилки изготавливаются из инструментальной стали, остальные детали дробилки изготавливаются из коррозионностойкой стали AISI 304. Готовое решение дробилки отходов представлено на сайте компании «EKOTON» [4].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ

Лист

13

Для данного проекта выбираю «дробилки отходов ДО», обладающие следующими достоинствами:

- сокращение потребности в обслуживающем персонале насосных станций и расходов на вывоз отходов;
- сохранение органических соединений в сточных водах, способствующее процессу их дальнейшей биологической очистки;
- автоматизированная система защиты от заклинивания решетки твердыми включениями – с реверсом и повторным пуском фрез дробилки.

Рассмотрим последнее достоинство выбранной дробилки подробнее. В случае попадания в дробилку отходов, измельчение которых вызывает остановку фрез дробилки, автоматизированная система защиты реверсирует направление вращения измельчающих фрез. Застрявший мусор изменит свое положение, и при повторном пуске возможно его измельчение. В случае повторной остановки создается выходной сигнал «ALERT» и происходит аварийное отключение дробилки.

Технические характеристики выбранной дробилки отходов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики дробилки отходов

Наименование показателя	Значение	Размерность
Электрический привод	1	шт.
Мощность	5,5	кВт
Масса	515	кг
Ширина бункера	364	мм
Длина бункера	700	мм
Высота бункера	150	мм

Для данного проекта необходимо 2 дробилки отходов вышеуказанного плана, так как технологическим процессом предусмотрен резервный канал. Внешний вид дробилки отходов представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – внешний вид дробилки отходов

3.3 Выбор щитового затвора

Щитовые затворы выполняют такую задачу как полное, либо частичное, перекрытие водного сечения со свободной поверхностью (поверхностные затворы) или находящегося ниже уровня свободной поверхности (глубинные затворы). Их применяют везде, где возникает необходимость блокировать поток жидкости (полное перекрытие проема) либо контролировать объемы ее поступления (частичное перекрытие канала). Для полного понимания принципа действия щитовых затворов рассмотрим их подробнее.

Щит свободно перемещается вдоль рамы за счет вращения вала электропривода или ручного штурвала, связанного со щитом при помощи винта. Винт может закрепляться непосредственно на щите, перемещаясь вместе с ним, или перемещать щит, вкручиваясь в закрепленную на щите бронзовую гайку.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ

Лист

15

При необходимости винт защищается кожухом. По периметру щит окантован устойчивым к воздействию агрессивных сред уплотнителем, который обеспечивает водонепроницаемость конструкции в закрытом состоянии.

Плотное прижатие уплотнителя в закрытом состоянии щита обеспечивается полимерными клиньями, попарно расположенными на щите и раме. Щитовые затворы изготавливаются с ручным или электрическим приводом. Мощность электропривода определяется в зависимости от необходимой скорости открытия-закрытия затвора и создания необходимого усилия на винте.

Для данного проекта выбираю Затвор щитовой лотковый Арматурного завода «Адмирал» [5] в исполнении «под электропривод». Затвор щитовой лотковый применяется для перекрытия потока жидкости в открытом канале. Технические характеристики щитового затвора представлены в таблице 3.3. Внешний вид лоткового щитового затвора представлен на рисунке 3.3.

Таблица 3.3 – Технические характеристики щитового затвора

Наименование показателя	Значение	Размерность
Условный проход	400x400	мм
Номинальное давление	0,1	Мпа
Гарантийная наработка	500	цикл

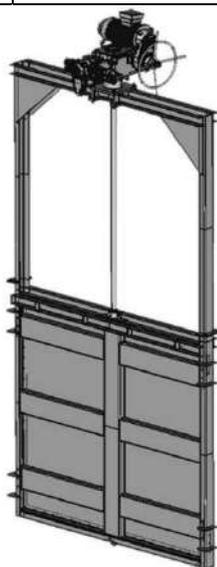


Рисунок 3.3 – внешний вид лоткового щитового затвора

3.4 Выбор электродвигателя и редуктора для щитового затвора

Производителем на сайте Арматурного завода «Адмирал» [5] приведены параметры для подбора электропривода. Данные параметры сведены в таблице 3.4.1.

Таблица 3.4.1 – Параметры для подбора электропривода

Условный проход	Тип присоединения		Макс. Крутящий момент, Н·м	Число оборотов втулки откр./закр.
	ЦКБА	ISO		
400x400	АЧ	F10	100	86

Рекомендуемые электропривода: Н-А-11 компании «Тулаэлектропривод» и SA 10.2 компании «AUMA». По согласованному техническому заданию время открытия/закрытия заслонок должно составлять 40-45 секунд. Значит, скорость вращения выходного вала должна составлять 115-129 об/мин. Выбираю многооборотный привод SA 10.2 [6], работающий в связке с многооборотным редуктором GST, так как он обеспечивает заданный режим работы, обладает стандартом пыле-/влагозащиты IP 68. Его характеристики приведены в таблице 3.4.2.

Таблица 3.4.2 – Параметры мотор-редуктора SA 10.2

Тип	Макс. Крутящий момент, Н·м	Момент регулирования, Н·м	Передаточное число	Коэффициент усиления	Выходная скорость, об/мин
GST 14.1	250	120	2	1,8	120

Внешний вид мотор-редуктора приведён на рисунке 3.4.2.



Рисунок 3.4 – Внешний вид мотор-редуктора SA 10.2

3.5 Выбор откачивающих насосов

Так как данный проект является инженерным решением поставленного технического задания, необходимо отталкиваться от заранее обговоренных условий. Одним из таких условий стало использование конкретных моделей откачивающих насосов. Откачка воды из резервуара должна осуществляться с помощью насосов «Иртыш НФ3 150/400-110/4» фирмы «Взлёт» с электродвигателями, мощностью 110 кВт и напряжением 380 В. Насос Иртыш «НФ3 150/400-110/4» предназначен для откачки чистой, загрязнённой воды (кроме морской) и других жидкостей, сходных с чистой водой по плотности, вязкости и химической активности, сточных и фекальных вод и промышленных отходов. [7] Технические характеристики откачивающих насосов приведены в таблице 3.5, а внешний вид представлен на рисунке 3.5.

Таблица 3.5 – Технические характеристики откачивающих насосов

Марка насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Мощность электродвигателя, кВт
НФ3 150/400- 110/4	400	50	1500	110



Рисунок 3.5 – Внешний вид насоса НФ3 150/400-110/4 фирмы «Взлёт»

3.6 Выбор электродвигателя

В техническом паспорте выбранного насоса производителем указаны рекомендации по подбору электродвигателя. Таким образом, электродвигатель стоит выбирать асинхронный, трёхфазный с короткозамкнутым ротором, специального взрывозащищенного исполнения группы ПВ или ПС уровнем взрывозащиты Gb или Gc согласно ГОСТ 30852 и ГОСТ ИЕС 60079-0, предназначенный для применения в зонах класса 1 или 2. Двигатель должен иметь сертификат соответствия, выданный аккредитованным органом.

Степень защиты не ниже IP54. Исходя из вышеуказанных рекомендаций, из каталога компании «РУСЭЛПРОМ» выбираю асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором ВА280S2 [8]. Технические характеристики данного двигателя приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Технические характеристики ВА280S2

Название параметра	Значение
Модель	ВА
Обороты, об/мин	3000
Мощность, кВт	110
Входное напряжение, В	380
КПД, %	93,5
Коэффициент мощности, %	92
Номинальный ток, А	194
Кратность пускового момента	1,6
Кратность максимального момента	2,3
Кратность пускового тока	6,5
Класс защиты	IP54
Динамический момент инерции ротора, кг · м ²	0,85
Крутящий момент, Н·м	354
Вес, кг	855
Страна производитель	Россия

ВА 280 S2 – асинхронный трехфазный взрывозащищенный электродвигатель - 110 кВт с короткозамкнутым ротором серии ВА предназначенный для привода механизмов в химической, газовой, нефтедобывающей и смежных отраслях промышленности, где могут образовываться взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом, отнесенные к категориям ПА, ПВ, по ГОСТ Р 51330.11 и группам воспламеняемости Т1, Т2, Т3 и Т4 по ГОСТ Р 51330.5.

В данном проекте осуществляется модернизация электропривода канализационной насосной станции, где отсутствует химическая и нефтегазодобывающая промышленность. Таким образом, возможен выбор двигателя не взрывозащищенного исполнения в целях экономии. По данным каталога электродвигателей, представленного на сайте компании «Русэлпром», экономия при выборе электродвигателя не взрывозащищённого исполнения с аналогичными механическими и энергетическими параметрами составит 150 000 рублей [8].

Внешний вид выбранного электродвигателя представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Внешний вид электродвигателя ВА 280 S2

3.7 Выбор шиберного затвора

В момент, когда происходит плановая смена роли текущей пары насосов с рабочей на резервную и наоборот, а также в момент аварии на действующей паре насосов необходимо перекрытие канала поступления воды из резервуара сточных вод. Данный канал отличается от описанного выше канала движения сточных вод тем, что он полностью закрытый. Поэтому, использование выбранного выше щитового затвора является невозможным.

Исходя из ранее выбранного привода для щитового затвора на сайте производителя подбираю шиберный затвор, совместимый с электроприводом выбранной фирмы «AUMA» [5,6]. Указанным требованиям соответствует задвижка AVK 702/70 ножевая шиберная с выдвижным штоком, с электроприводом AUMA. Число оборотов втулки для открытия/закрытия задвижки – 30. Технические характеристики задвижки приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Технические характеристики шиберной задвижки

Артикул	DN, мм	Расверловка фланцев, мм	Рабочее давление, PN	Испытательное давление, PN	Тип привода	Скорость вращения привода, об/мин
702-250-7003	250	10	7	10	SAN 10.1	45

Таким образом, подобранная шиберная задвижка, поставляемая в комплекте с электроприводом «AUMA SAN 10.1» выполняет поставленную задачу по открытию/закрытию канала сточных вод за 40 секунд. Внешний вид задвижки с электроприводом в комплекте приведен в рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Внешний вид шиберной задвижки AVK 702/70 в комплекте с электроприводом AUMA SAN 10.1

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

4 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

4.1 Выбор программируемого логического контроллера

По заданному техническому заданию предусмотрено управление системой автоматизации с помощью удалённого сервера. Реализация данного управления будет осуществляться с помощью среды разработки «MasterSCADA 4D» российской компании «ИнСАТ». «MasterSCADA 4D» – это продукт нового поколения SCADA-систем. В нем, по сравнению с предыдущей версией, существенно расширены инструменты по созданию крупных распределенных систем с возможностью использования технологий Интернета вещей, повышено удобство и гибкость, расширены возможности использования различных аппаратных платформ и операционных систем, увеличено число поддерживаемых уровней систем управления и реализована миграция функционала между уровнями [9].

«MasterSCADA» позволяет разрабатывать проекты любого масштаба и сложности. Для этого предлагаются различные подходы, обеспечивающие наиболее комфортные условия разработки под каждый тип проекта.

В своем продукте компания «ИнСАТ» использовала самые последние технологии в области создания крупных распределенных программных комплексов, предназначенных для работы в реальном времени. Это в совокупности с огромным опытом компании в области разработки SCADA и SoftLogic-систем позволило существенно расширить функциональность платформы «MasterSCADA 4D» по сравнению с конкурентами. Можно сказать, что на сегодня этот продукт по своим возможностям не имеет аналогов на рынке.

Компании «ОВЕН» и «ИнСАТ» являются партнерами и предлагают на рынке совместное программно-аппаратное решение – ПЛК ОВЕН, программируемые средствами «MasterSCADA».

Для решения поставленной задачи выбираю ПЛК110-60-MS4 [M02] контроллер с исполнительской средой «MasterSCADA 4D», обладающий необходимым количеством входов/выходов [10].

Основные технические характеристики выбранного контроллера приведены в таблице 4.1.1.

Таблица 4.1.1 – Технические характеристики ПЛК110-60-MS4 [M02]

Параметр	ПЛК110-60 [M02]
Напряжение питания:	от 9 до 26 В постоянного тока при минус 40 °С > Т > минус 20 °С (номинальное 12 или 24 В);
Потребляемая мощность, не более	31 Вт
Параметры встроенного источника питания	Выходное напряжение равно входному напряжению на клеммах питания ПЛК, ток не более 630 мА
Протоколы передачи данных	DCON Modbus TCP/RTU/ASCII USB
Количество входов	36
Количество выходов	24
RS-485	2
RS-232	1
RS-232 Debug	1
Ethernet 100 Base-T	1
USB B – USB-RNDIS	1

Внешний вид ПЛК110-60-MS4 [M02] представлен на рисунке 4.1.



а)

б)

Рисунок 4.1 – Внешний вид ОВЕН ПЛК110-60-MS4 [M02] (а)
и ПЛК110-30-MS4 [M02] (б)

Дополнительно выбираем модуль аналоговых входов MB110-8A фирмы ОВЕН для подключения датчиков уровня воды [10]. 8 аналоговых входов обеспечат запас для возможного расширения системы автоматизации. Его технические характеристики приведены в таблице 3.1.2. Внешний вид приведён на рисунке 4.2.

Таблица 4.1.2 – Технические характеристики MB110-8A

Протокол передачи данных	DCON Modbus TCP/RTU/ASCII ОВЕН
AI (аналоговых входов)	8
Потребляемая мощность, Вт	6



Рисунок 4.2 – Внешний вид MB110-8A

4.2 Выбор датчиков уровня воды

По согласованному техническому заданию было условлено, что датчики уровня воды необходимо рассматривать фирмы «Метран» [11]. Из предложенного каталога стоял выбор между бесконтактными уровнемерами: 5408 – радарный и 3101 – ультразвуковой. Обе эти модели могут быть использованы в закрытом вертикальном резервуаре сточных вод, однако, в значимое преимущество выбора ультразвукового уровнемера 3101 стоит отнести отсутствие ЖК-дисплея, компактность и наличие в продаже на момент выполнения проекта.

Уровнемер обладает возможностью установки сигнала «ALERT» по минимальному уровню и максимальному уровню. Возможна его установка на открытый канал в исполнении 3105. Технические характеристики уровнемера 3101/3105 приведены в таблице 4.2, а его внешний вид на рисунке 4.3.

Таблица 4.2 – Технические характеристики уровнемера серии 3100

Модель	3101 – для измерения уровня и расстояния до поверхности жидкости; 3105 – для измерения уровня, расстояния до поверхности в открытых каналах
Принцип измерений	Измерение временного интервала между передачей излученного и приемом отраженного эхо-сигналов
Диапазон измерений	Модель 3101: от 0,3 до 8 м; Модель 3105: от 0,3 до 11 м
Обновление показаний	1 раз в секунду
Электропитание	Модель 3101: 12-30 В постоянного тока; Модель 3105: 12-40 В постоянного тока (в безопасных зонах)
Выходной сигнал	Аналоговый 4-20 мА
Сигнализация	Стандартно: Низким уровнем = 3,75 мА, Высоким уровнем = 21,75 мА



Рисунок 4.3 – Внешний вид ультразвукового уровнемера серии 3100

4.3 Выбор устройства плавного пуска

Устройства плавного пуска обеспечивают мягкий (безударный) пуск и останов двигателя методом плавного нарастания/спада напряжения в течение заданного времени. Устройства плавного пуска предназначены для легкого и нормального режимов пуска и должны использоваться совместно с устройствами защиты двигателя. Компания «ОВЕН» предлагает такие устройства в своем каталоге, и так как элементы управления выбраны компании «ОВЕН» имеет смысл выбирать устройства плавного пуска из каталога данной фирмы [10].

Для выбранных насосов НФ3 150/400-110/4 фирмы «Иртыш» мощностью 110 кВт выбираю УПП2-110К-В. Технические характеристики данного устройства плавного пуска представлены в таблице 4.3, его внешний вид на рисунке 4.4.

Таблица 4.3 – Технические характеристики УПП2-110К-В

Модификация	Мощность, кВт	Номинальный ток, А		Допустимая кратность пускового тока, %	Время между запусками, с
		Нормальный режим	Тяжёлый режим		
УПП2-110К-В	110	200	160	400	594



Рисунок 4.4 – Внешний вид УПП2-110К-В

Особенности и преимущества линейки УПП2:

- встроенный байпас;
- 2- или 3-проводное управление запуском/остановом;
- отличный ресурс по запускам (до 400% кратности в течение 20 секунд при тяжелом режиме работы);
- совместимость с системами электропитания с соединением по схеме «треугольника» и заземлением.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ

Лист

30

4.4 Выбор модема стандарта GSM

Зачастую, аварии происходят в нерабочее время суток. Так как разрабатываемая система по модернизации канализационной насосной станции подразумевает сокращение числа обслуживающего персонала, существует вероятность несвоевременного обнаружения аварии на сооружении. Авария может случиться как предусмотренная заложенной программой автоматизации, так и непредусмотренная. Зачастую, в случае затопления машинного зала электрическая цепь питания размыкается, что обесточивает и средства управления.

Во избежание случаев несвоевременного обнаружения аварии в данном проекте предусмотрено наличие модема стандарта GSM. С его помощью на телефоны сотрудников будет отправлено SMS – сообщение об аварии на сооружении.

В каталоге производителя «ОВЕН» присутствует необходимый модем [10]. Выбираю ПМ01-24.АВ. Его технические характеристики приведены в таблице 4.4. Внешний вид модема представлен на рисунке 4.5.

Таблица 4.4 – Технические характеристики ПМ01-24.АВ

Параметр	Значение
Диапазон напряжений питания, В	10-30
Потребляемая мощность, Вт	15
Рабочий частотный диапазон	EGSM900/DCS1800/PCS1900
Скорость обмена, бит/с	9600
Поддержка SIM-карт, В	1,8 и 3
Интерфейс связи с компьютером	RS-232/RS-485
Габаритные размеры модема, мм	120,1×107,1×22,5
Масса модема, кг	0,25

Модем ОВЕН ПМ01-24.АВ предназначен для обмена данными через сети стандарта GSM с оборудованием, оснащенным последовательными интерфейсами связи RS232 или RS485. Областями его применения являются системы сбора данных, диспетчеризации и управления, автоматические терминалы самообслуживания (платежные, вендинг и др.), системы охранной и противопожарной безопасности, удаленный контроль датчиков и различного оборудования.



Рисунок 4.5 – внешний вид ОВЕН ПМ01-24.АВ

4.5 Выбор блока питания

Блок питания системы управления должен обеспечивать напряжение 24 В. В таблице 4.5.1 приведены потребляемые мощности элементов системы управления, исходя из которых будет выбран блок питания.

Таблица 4.5.1 – Токи потребления элементов системы управления

Элемент	Потребляемая мощность, Вт	Количество
ОВЕН ПЛК110-24.60.К-MS4-10	31	1
ОВЕН ПМ01-24.АВ	15	1
МВ110-8А	6	1
Уровнемер 3101	0,018	2
Уровнемер 3105	0,02	1

Стоит отметить, что питание от сети постоянного тока всех выбранных элементов согласовано и равно 24 В. Сложив всю потребляемую мощность, выбираем ОВЕН БП60К-24, так как основные элементы выбраны фирмы ОВЕН [10]. Выходная мощность блока питания в 60 Вт обеспечит запас для расширения системы автоматизации дополнительными датчиками и модулями, но в то же время сохранит приемлемую стоимость. Технические характеристики блока питания приведены в таблице 4.5.2. Внешний вид блока питания представлен на рисунке 4.6.

Таблица 4.5.2 – Технические характеристики ОВЕН БП60К-24.

Параметр		Значение
Выходные параметры	Номинальное напряжение, В	24
	Номинальный ток, А	2,5
	Номинальная мощность, Вт	60

Продолжение таблицы 4.5.2

Параметр		Значение
Выходные параметры	Допустимое отклонение напряжения, %	± 2
	Напряжение питания переменного тока, В	85...264
Входные параметры	Номинальный ток потребления, А	1,25
	Пусковой ток, А	36
	КПД при номинальной нагрузке, %	85
	порог ограничения выходного тока, % от $I_{ном}$	104...116
Защита	порог ограничения выходного напряжения, % от $U_{ном}$	150



Рисунок 4.6 – Внешний вид ОВЕН БП60К-24

4.6 Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель предназначен для безопасной коммутации электрической цепи, защиты установок, кабелей, потребителей от токов перегрузки и от токов короткого замыкания. Основным потребителем в данном проекте являются четыре насоса НФЗ 150/400-110/4 фирмы «Иртыш», мощностью 110 кВт, работающие в паре с электродвигателями ВА 280 S2 фирмы «РУСЭЛПРОМ».

Технологическим процессом и, соответственно, логикой программы автоматизации предусмотрено одновременное включение в работу только одного насоса. По техническим характеристикам электродвигателей видно, что их номинальный ток составляет 194 А, а кратность тока при пуске 6,5. При включении данного электродвигателя в сеть «напрямую» значение пускового тока составит 1261 А. Данное значение тока необходимо ограничить, так как при протекании токов подобной величины значительно сокращается время эксплуатации проводящих элементов, изоляции и самих электродвигателей. Именно с этой целью в электрическую схему внедрены устройства плавного пуска УПП2-110К-В фирмы «ОВЕН».

Исходя из специфики технологического процесса, потребность в быстром пуске и быстром останове отсутствует. Таким образом, уставка пускового тока ограничивается до кратности 2.

Питание проектируемого объекта обеспечивается трёхфазной четырёхпроводной сетью напряжением 380 В.

Исходя из вышеперечисленных условий выбираю автоматический выключатель на четыре полюса, с рабочим напряжением 380 В и номинальный ток 600 А. При выборе руководствуюсь доступностью автоматического выключателя на складе и стоимостью аппарата.

Для данного проекта выбираю АВВ SACE TMAX T5N 4P 630А 36КА. Его технические характеристики приведены в таблице 4.6 [12].

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

Таблица 4.6 – Технические характеристики автоматического выключателя

Название параметра	Значение
Бренд	ABB
Отключающая способность, кА	36
Рабочее напряжение, В	380
Номинальный ток, А	630
Количество полюсов	4
Тип расцепителя	Термомагнитный ТМА
Типоразмер	T5N

Внешний вид данного автоматического выключателя приведён на рисунке 4.7.

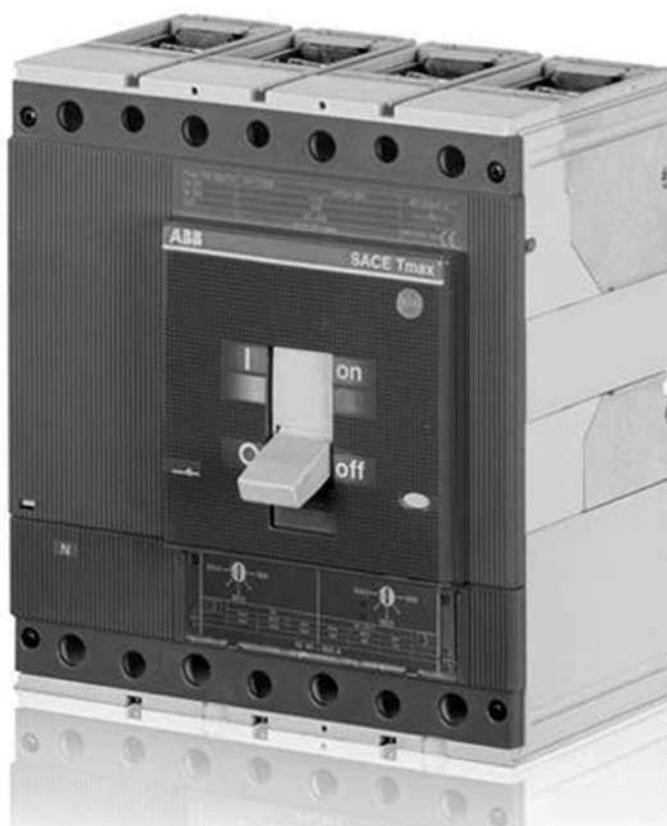


Рисунок 4.7 – внешний вид ABB SACE TMAX T5N 4P 630A 36КА

4.7 Выбор контактора

Контакторы применяются для коммутации трёхфазных электродвигателей и силовых цепей общего назначения. Также их можно использовать для решения множества других задач, разделения электрических цепей, коммутации конденсаторов и осветительных ламп. В данном проекте контактор необходим для коммутации силовых цепей и обеспечения электропитанием всех элементов. Так как автоматический выключатель был выбран фирмы АВВ контактор выбираю так же из каталога этого производителя. Технические характеристики выбранного контактора АВВ АF-630-30-11 приведены в таблице 4.7 [12]. Внешний вид контактора АВВ АF-630-30-11 представлен на рисунке 4.8.

Таблица 4.7 – Технические характеристики контактора

Название параметра	Значение
Номинальное напряжение, В	380
Номинальное напряжение катушки, В	110-250
Номинальный ток цепи, А	630
Номинальная мощность, кВт	200
Масса, кг	12

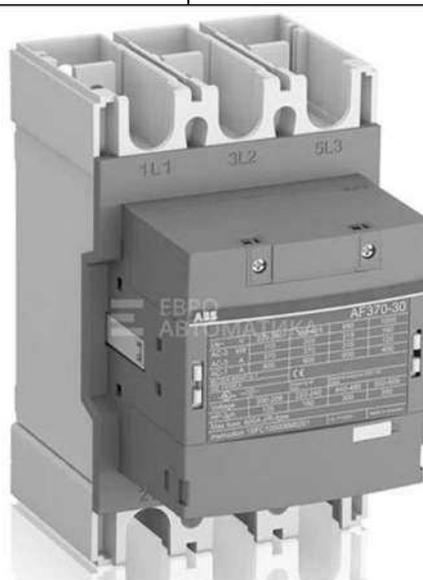


Рисунок 4.8 – Внешний вид контактора АВВ АF-630-30-11

5 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

На рисунке 5.1 представлена функциональная схема автоматизации канализационной насосной станции, указаны все входные и выходные сигналы.

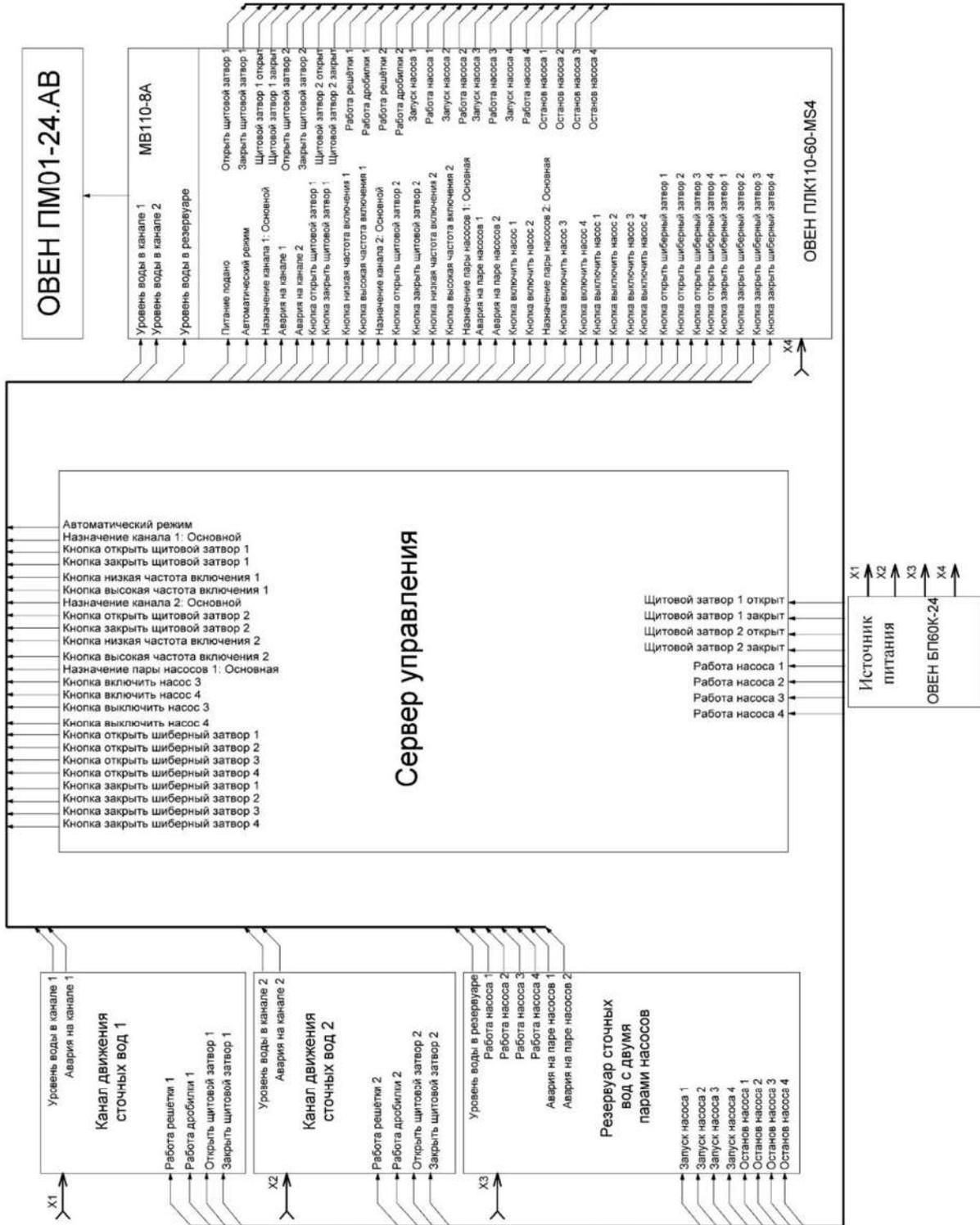


Рисунок 5.1 – Функциональная схема системы управления

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На функциональной схеме показаны следующие взаимосвязи:

- источник питания обеспечивает питанием все функциональные блоки системы выходами X1, X2, X3, X4;

- блоки канал движения сточных вод 1, канал движения сточных вод 2 и резервуар сточных вод с двумя парами насосов формируют выходные сигналы, которые совместно с выходными сигналами блока сервер управления приходят на вход блока ОВЕН ПЛК110-60-MS4, объединенного с блоком MB110-8A;

- блок ОВЕН ПЛК110-60-MS4 исходя из написанной программы автоматизации формирует выходные сигналы, которые приходят как на вход блока сервер управления, так и на вход блоков резервуар сточных вод с двумя парами насосов, канал движения сточных вод 2 и канал движения сточных вод 1;

- блок ОВЕН ПМ01-24.АВ получает сигнал об аварии от ОВЕН ПЛК110-60-MS4.

Блок сервер управления представляет собой мнемосхему, размещенную на заданном IP - адресе, с помощью которой осуществляется контроль за технологическим процессом, а также управление оператором в ручном режиме.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

6 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СРЕДЕ MASTERSCADА 4D

Процесс разработки программы удобнее разбить на несколько этапов. Каждый этап несет в себе написание программы для автоматизации одного силового агрегата, а также создание визуализации его работы. Каждый автоматизированный силовой агрегат системы удобно поместить в библиотеку, чтобы при дальнейшем проектировании канализационной насосной станции вставлять нужные элементы в необходимом количестве. Окончательным результатом данного пункта будет создание обобщенной мнемосхемы с визуализацией технологического процесса и возможностью управления всеми элементами мнемосхемы с помощью персонального компьютера.

6.1 Конфигурация ПЛК в среде разработки

Прежде, чем переходить к написанию программы для автоматизации технологического процесса, необходимо сконфигурировать программируемый логический контроллер. В контекстном меню выбираю ранее подобранный контроллер ОВЕН ПЛК110-60-MS4 [M02]. Контроллер имеет встроенные дискретные входы и выходы, но не имеет аналоговых, поэтому необходимо подключить к нему внешний модуль аналоговых входных сигналов. Модуль MB110-8A обладает возможностью подключения по протоколу Modbus RTU (рассматривается только протокол Modbus RTU, поскольку Modbus ASCII в России практически не используется), поэтому из контекстного меню выбираю данный протокол.

										Лист
										40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ					

6.2 Автоматизация щитового затвора канала движения сточных вод

6.2.1 Составление логических уравнений

Для автоматизации щитового затвора канала движения сточных вод введём входные и выходные переменные. Все переменные сведены в таблице 6.2.1.

Таблица 6.2.1 – Переменные для составления логических уравнений щитового затвора канал движения сточных вод

Входные переменные	Выходные переменные
Питание подано	Открыть щитовой затвор 1
Автоматический режим	Закрыть щитовой затвор 1
Назначение канала 1: Основной	Щитовой затвор канала 1 открыт
Уровень воды 2	Щитовой затвор канала 1 закрыт
Авария на канале 1	Продолжительный сигнал на привод 1/открыть
Авария на канале 2	Продолжительный сигнал на привод 1/закрыть
Кнопка открыть щитовой затвор 1	
Кнопка закрыть щитовой затвор 1	

В автоматическом режиме сигнал «Открыть щитовой затвор 1» возникает при наличии сигнала «Питание подано» и «Назначение канала 1: Основной». При отсутствии сигнала «Назначение канала 1: Основной» сигнал «Открыть щитовой затвор 1» возникает либо по наличию сигнала «Уровень воды 2», либо по наличию сигнала «Авария на канале 2».

При отсутствии сигнала «Автоматический режим» сигнал «Открыть щитовой затвор 1» возникает при формировании сигнала «Кнопка открыть щитовой затвор 1». Данный сигнал формируется нажатием соответствующей кнопки.

Сформированный кратковременный сигнал «Открыть щитовой затвор 1» формирует «Продолжительный сигнал на привод1/открыть», который длится до полного открытия щитового затвора. По окончании данного сигнала формируется сигнал «Щитовой затвор канала 1 открыт».

В автоматическом режиме сигнал «Заккрыть щитовой затвор 1» возникает при наличии сигнала «Питание подано» и «Назначение канала1: Основной» а также, лишь при возникновении сигнала «Авария на канале 1». При отсутствии сигнала «Назначение канала1: Основной» сигнал «Заккрыть щитовой затвор 1» возникает при отсутствии сигнала «Уровень воды 2».

При отсутствии сигнала «Автоматический режим» сигнал «Заккрыть щитовой затвор 1» возникает при появлении сигнала «Кнопка закрыть щитовой затвор 1».

Сформированный кратковременный сигнал «Заккрыть щитовой затвор 1» формирует «Продолжительный сигнал на привод1/заккрыть», который длится до полного закрытия щитового затвора. По окончании данного сигнала формируется сигнал «Щитовой затвор канала 1 закрыт».

Данные уравнения написаны на двух языках: LD и FBD и показаны на рисунках 6.1 и 6.2.

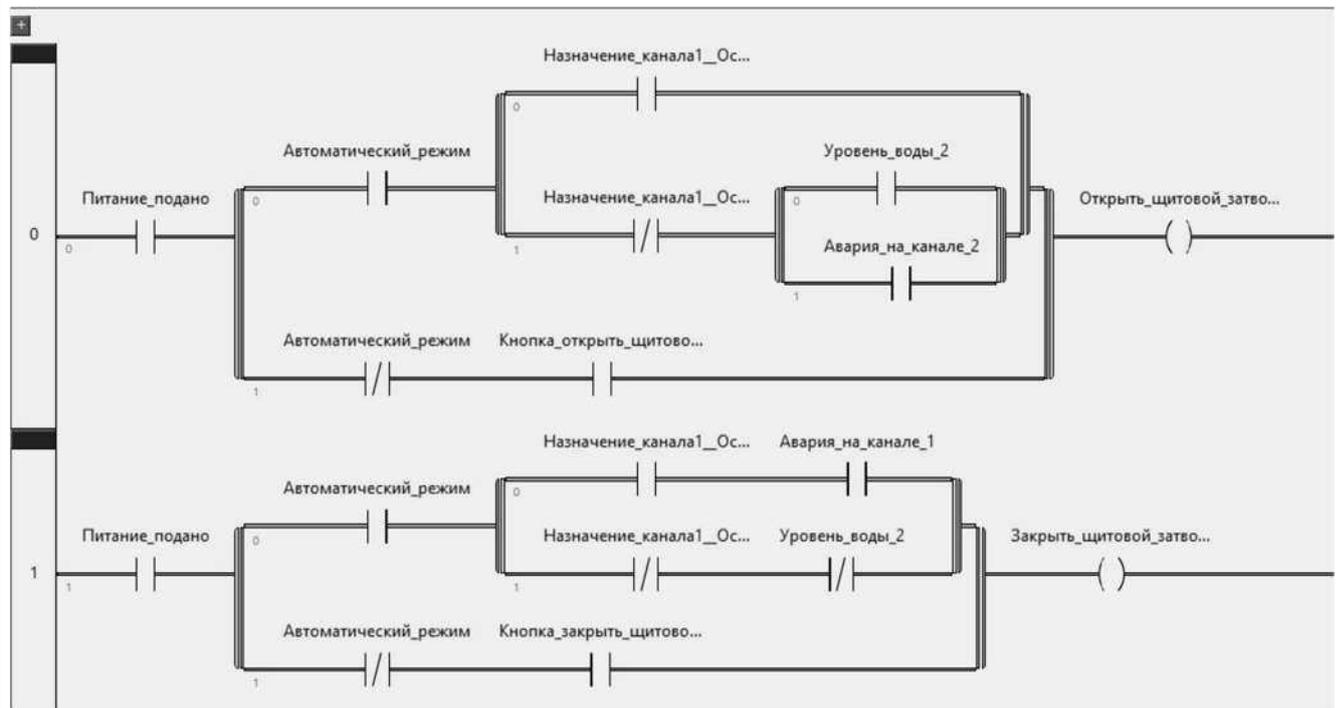


Рисунок 6.1 – Часть программы автоматизации щитового затвора 1 на LD



Рисунок 6.2 – Часть программы автоматизации щитового затвора 1 на FBD

Так как резервный канал движения сточных вод, в основном, повторяет основной канал, ниже, на рисунках 6.3 и 6.4, будут приведены только фрагменты программы для резервного канала.

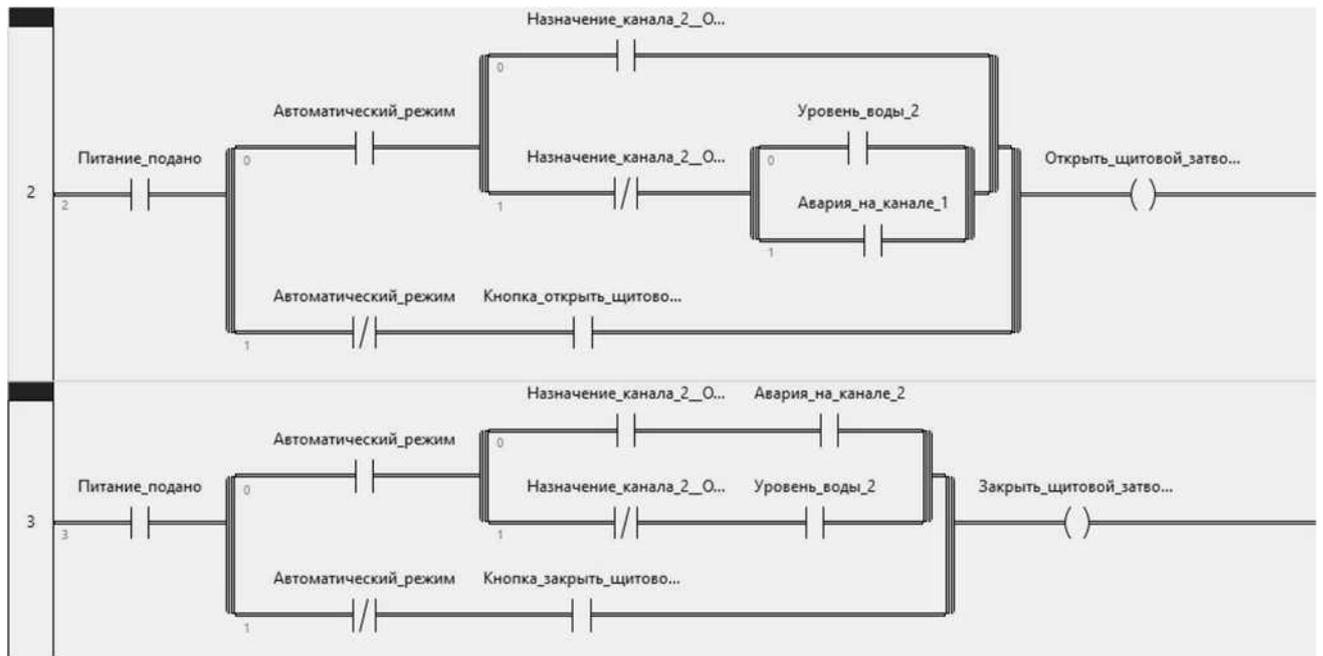


Рисунок 6.3 – Часть программы автоматизации щитового затвора 2 на LD

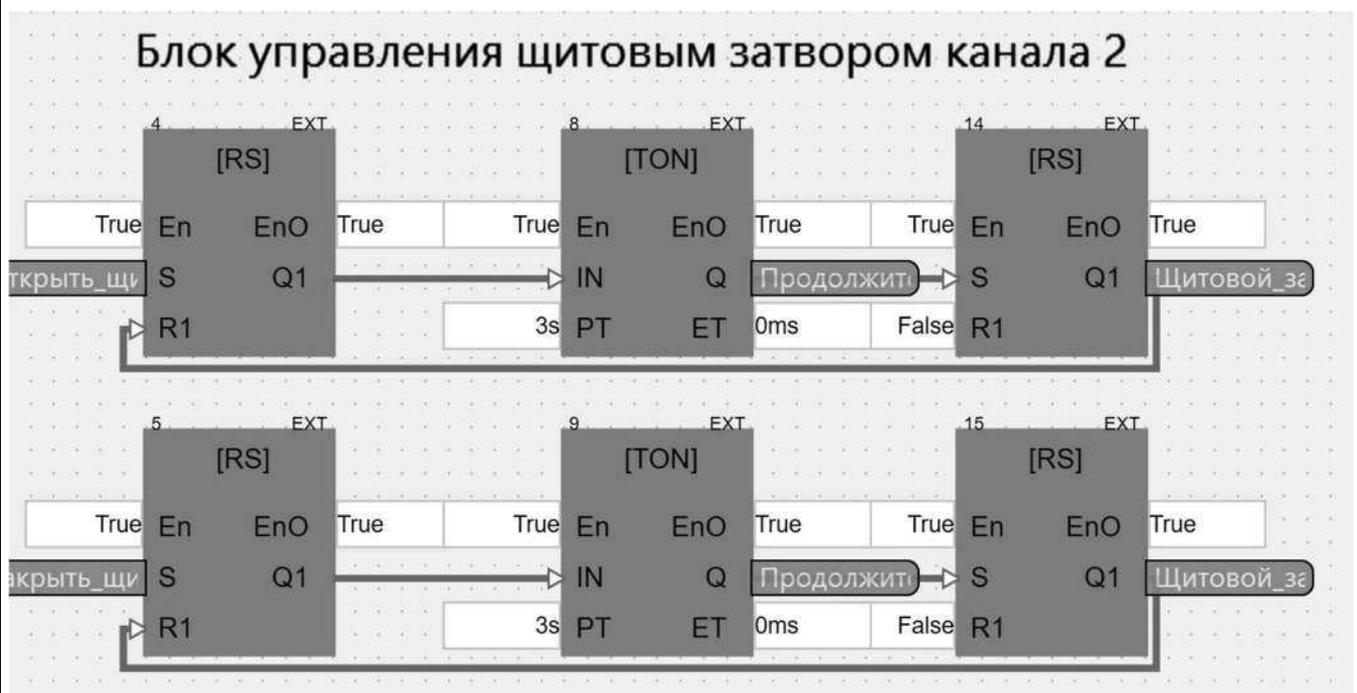


Рисунок 6.4 – Часть программы автоматизации щитового затвора 2 на FBD

6.2.2 Визуализация автоматизации щитового затвора канала

Для визуализации данного процесса и отображения его на мнемосхеме из предложенных элементов в библиотеке Masterscada 4d мною был выбран элемент «Задвижка с электроприводом 1». Данный элемент не повторяет внешний вид щитового затвора в реальности, но отображает суть протекающих процессов. К параметру «Работа привода» были привязаны переменные «Продолжительный сигнал на привод1/открыть» и «Продолжительный сигнал на привод1/закреть». При открытии/закрытии затвора двигатель на визуализации окрашивается в зелёный цвет. К параметру «Положение затвора» были привязаны переменные «Щитовой затвор канала 1 открыт» и «Щитовой затвор канала 1 закрыт». При открытом щитовом затворе труба окрашивается в зелёный цвет, при движении затвора – в жёлтый цвет, а при закрытом затворе – в красный. Визуализация автоматизации щитового затвора канала движения сточных вод показана на рисунке 6.5.

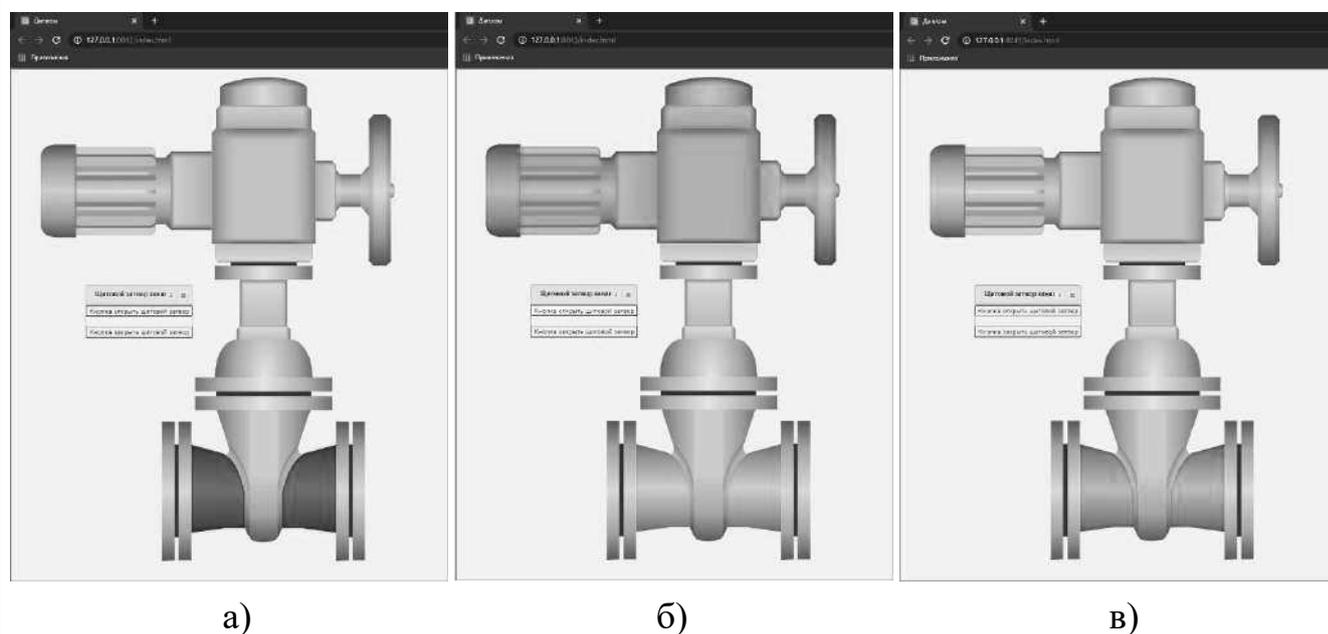


Рисунок 6.5 – Визуализация автоматизации щитового затвора: а) Положение «закрыт»; б) Движение затвора; в) Положение «Открыт»

Для экономии рабочего пространства мною была осуществлена возможность вызова контекстного меню управления затвором путём нажатия клавишей мыши на представленную модель. Управление щитовым затвором осуществляется путём нажатия кнопкой мыши на соответствующую кнопку в контекстном меню.

6.3 Автоматизация механизированных граблей и дробилки отходов

6.3.1 Составление логических уравнений

Для автоматизации механизированных граблей и дробилки отходов введём входные и выходные переменные. Все переменные сведены в таблице 6.3.1.

Таблица 6.3.1 – Переменные для составления логических уравнений щитового затвора канал движения сточных вод

Входные переменные	Выходные переменные
Питание подано	Низкая частота включения 1
Автоматический режим	Высокая частота включения 1
Уровень воды 0	Работа дробилки канал 1
Уровень воды 1	Работа решётки медленно
Щитовой затвор канала 1 открыт	Работа решётки быстро
Кнопка «низкая частота включения 1»	
Кнопка «высокая частота включения 1»	

В автоматическом режиме, при наличии сигнала «Питание подано» и сигнала «Щитовой затвор канала 1 открыт» производится оценка уровня воды в резервуаре. При наличии сигнала «Уровень 0» появляется сигнал «Низкая частота включения 1», а при наличии сигнала «Уровень 1» появляется сигнал «Высокая частота включения 1».

При отсутствии сигнала «автоматический режим» сигнал «Низкая частота включения 1» появляется при наличии сигнала «Кнопка низкая частота включения 1». Сигнал «Высокая частота включения 1» появляется при наличии сигнала «Кнопка высокая частота включения 1».

Независимо от режима (автоматический, или нет) сигнал на включение дробилки отходов канала движения сточных вод 1 появляется совместно с одним из сигналов: «Низкая частота включения 1» и «Высокая частота включения 1».

Сигналы «Работа решётки медленно» и «Работа решётки быстро» возникают при подаче сигналов «Низкая частота включения 1» и «Высокая частота включения 1» соответственно. Они являются продолжительными и делятся столько времени, сколько необходимо механизированным граблям для возвращения в исходную точку. Данные уравнения написаны на двух языках: LD и FBD и показаны на рисунках 6.6 и 6.7.

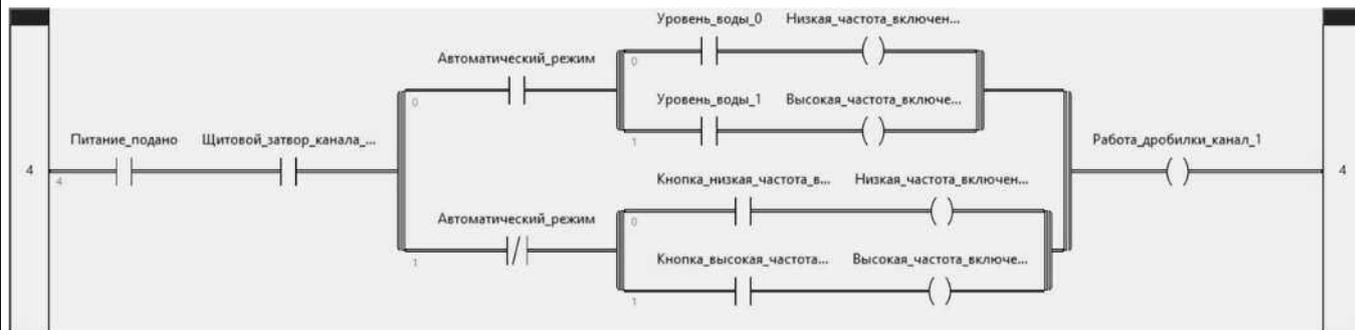


Рисунок 6.6 – Часть программы автоматизации механизированных граблей на LD

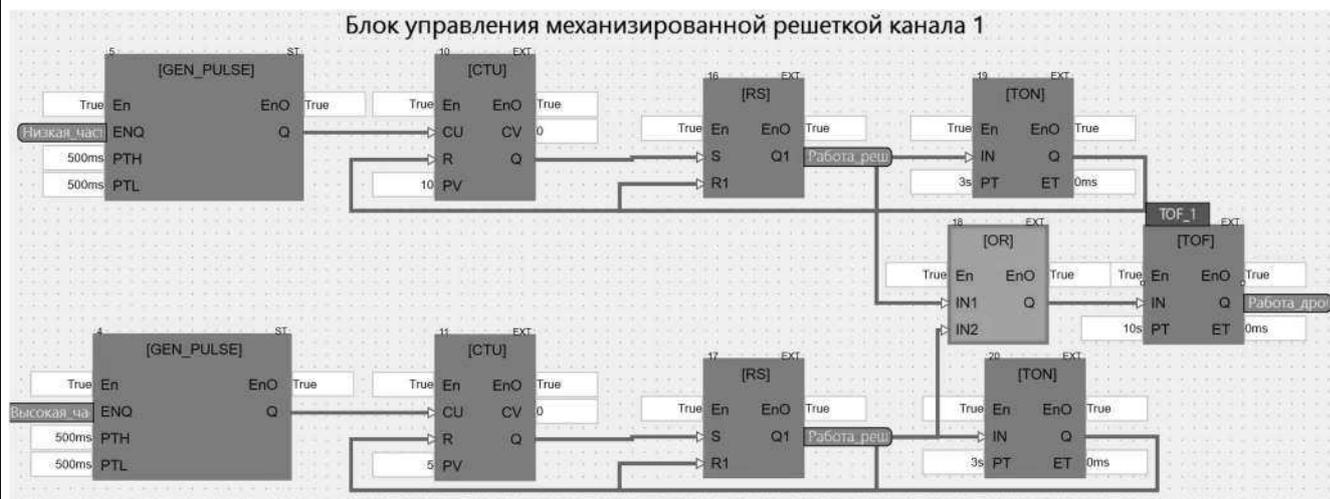


Рисунок 6.7 – Часть программы автоматизации механизированных граблей на FBD

Так как резервный канал движения сточных вод, в основном, повторяет основной канал, данный участок листинга будет помещён в итоговый код.

6.3.2 Визуализация автоматизации механизированной решётки и дробилки отходов

Для визуализации данного процесса и отображения его на мнемосхеме из предложенных элементов в библиотеке Masterscada 4d мною был выбраны элементы «Конвейер80» и «Шестерёнчатый насос2». Данные элементы не повторяют внешний вид реальных элементов, однако, с их использованием визуализация технологического процесса является наглядной. К параметру «Движение» привязаны переменные «Работа решётки медленно» и «Работа решётки быстро». К параметру «Вращение» привязана переменная «Работа дробилки канал 1». При работающей механизированной решётке и дробилки отходов оба элемента окрашиваются в зелёный цвет, а также происходит движение решётки и вращение валов дробилки. Визуализация автоматизации механизированной решётки и дробилки отходов канала сточных вод показана на рисунке 6.8.

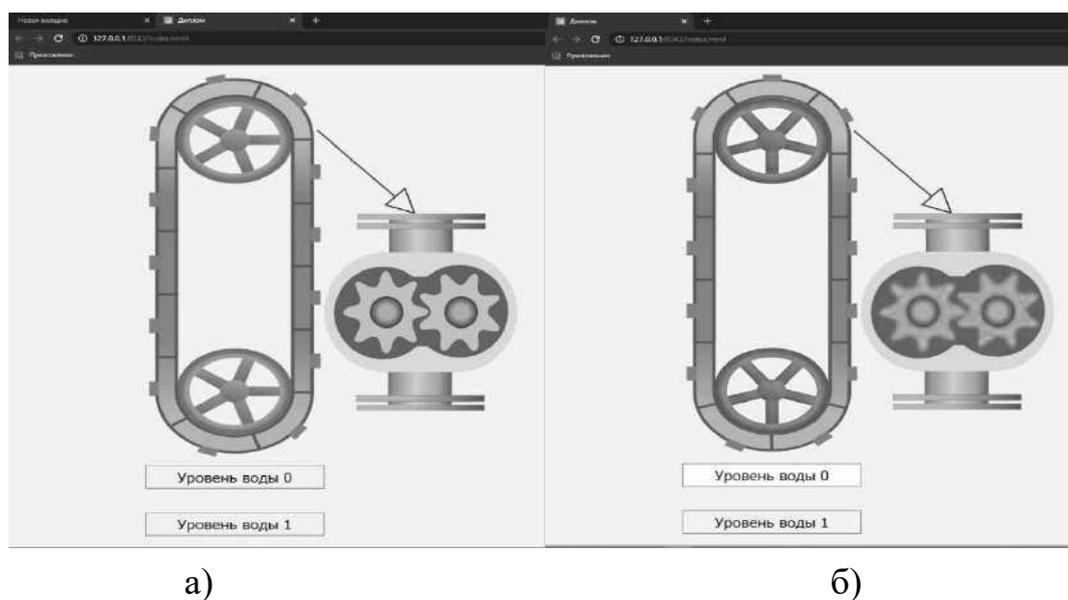


Рисунок 6.8 – Визуализация автоматизации механизированной решётки и дробилки отходов а) в выключенном состоянии; б) в работающем состоянии

Для экономии рабочего пространства мною была осуществлена возможность вызова контекстного меню управления механизированной решётки путём нажатия клавишей мыши на представленную модель. Управление механизированной решёткой осуществляется путём нажатия кнопкой мыши на соответствующую кнопку в контекстном меню. Также, для визуализации работы решётки в автоматическом режиме на рабочую панель выведены клавиши выбора уровня воды в канале движения сточных вод. В резервном канале установлена аналогичная установка.

6.4 Автоматизация работы насосов

6.4.1 Составление логических уравнений

Для автоматизации работы одной из двух пар насосов введём входные и выходные переменные. Все переменные сведены в таблице 6.4.1.

Таблица 6.4.1 – Переменные для составления уравнений автоматизации работы первой пары насосов

Входные переменные	Выходные переменные
Питание подано	Включить насос 1
Автоматический режим	Включить насос 2
Назначение пары 1 насосов: основная	Стоп насоса 1
Кнопка запуск насоса 1	Стоп насоса 2
Кнопка запуск насоса 2	Переключение назначения пары 1 на основную
Уровень воды в резервуаре 0	Переключение назначения пары 1 на резервный
Уровень воды в резервуаре 1	Запуск насоса 1
Уровень воды в резервуаре 2	Запуск насоса 2

Продолжение таблицы 6.4.1

Входные переменные	Выходные переменные
Авария на насосе 1	Насос 1 в работе
Авария на насосе 2	Насос 2 в работе
Авария на насосе 3	Насос 1 остановлен
Авария на насосе 4	Насос 2 остановлен
Кнопка стоп насоса 1	
Кнопка стоп насоса 2	

При наличии сигналов «Питание подано», «Автоматический режим», «Назначение пары 1 насосов: основная» происходит оценка уровня воды в резервуаре. Если появляется сигнал «Уровень воды в резервуаре 1», то сигнал «Включить насос 1» принимает значение истина. Если появляется сигнал «Уровень воды в резервуаре 2», истинным становится значение сигнала «Включить насос 2». В случае отсутствия сигнала «Назначение пары 1 насосов: основная», а также сигналов: «Авария на насосе 1» и «Авария на насосе 2», по возникновению одного из сигналов «Авария на насосе 3», или «Авария на насосе 4» возникает сигнал «Переключение назначения пары 1 на основной».

В случае отсутствия сигнала «Автоматический режим» сигналы «Включить насос 1» и «Включить насос 2» возникают при срабатывании сигналов «Кнопка запуск насоса 1» и «Кнопка запуск насоса 2» соответственно.

При наличии сигналов «Питание подано», «Автоматический режим», «Назначение пары 1 насосов: основная» и сигнала «Уровень воды в резервуаре 0» возникают сразу два сигнала «Стоп насоса 1» и «Стоп насоса 2». Эти же два сигнала возникают при появлении сигналов «Авария на насосе 1», или «Авария на насосе 2». При появлении данных сигналов одновременно возникает сигнал «Переключение назначения пары 1 на резервный».

При отсутствии сигнала «Автоматический режим» сигналы «Стоп насоса 1» и «Стоп насоса 2» возникают при поступлении сигналов «Кнопка стоп насоса 1» и «Кнопка стоп насоса 2» соответственно.

Полученные кратковременные сигналы «Включить насос 1» и «Включить насос 2» дают начало продолжительным сигналам «Запуск насоса 1» и «Запуск насоса 2». По окончании процесса запуска насосов формируются сигналы «Насос 1 в работе» и «Насос 2 в работе соответственно». По возникшим кратковременным сигналам «Стоп насоса 1» и «Стоп насоса 2» происходит останов насосов. По окончании останова формируются сигналы «Насос 1 остановлен» и «Насос 2 остановлен». Данные уравнения написаны на двух языках: LD и FBD и представлены на рисунках 6.9 и 6.10.

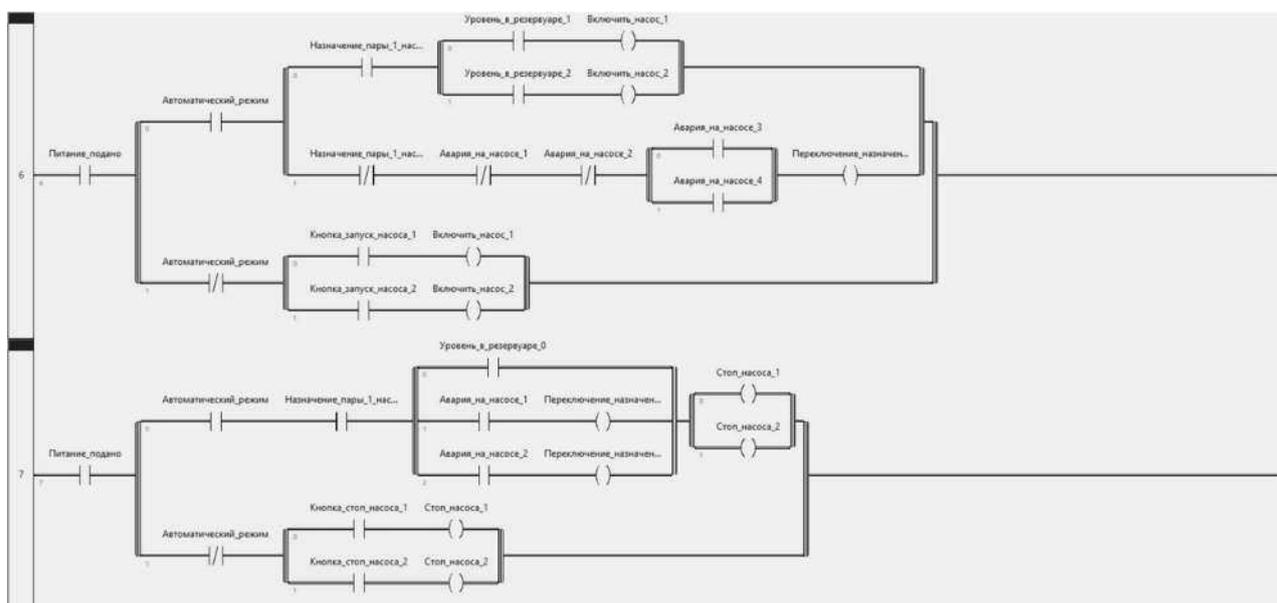


Рисунок 6.9 – Часть программы автоматизации первой пары насосов на LD

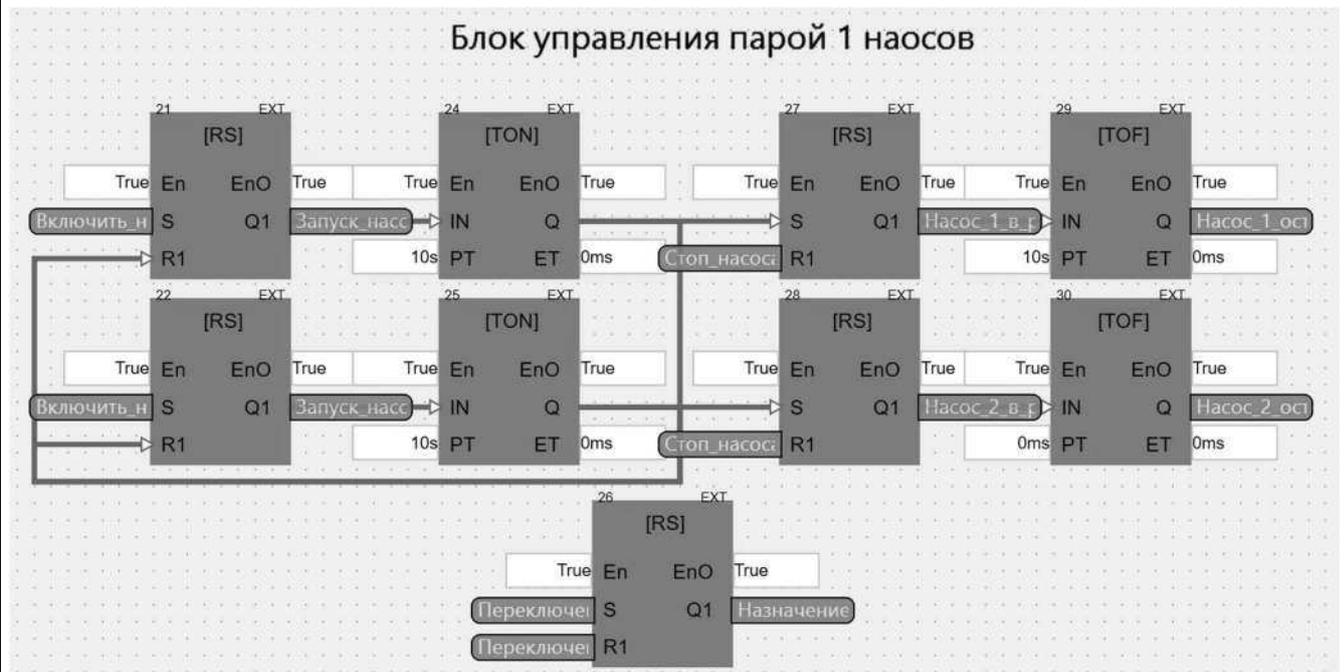


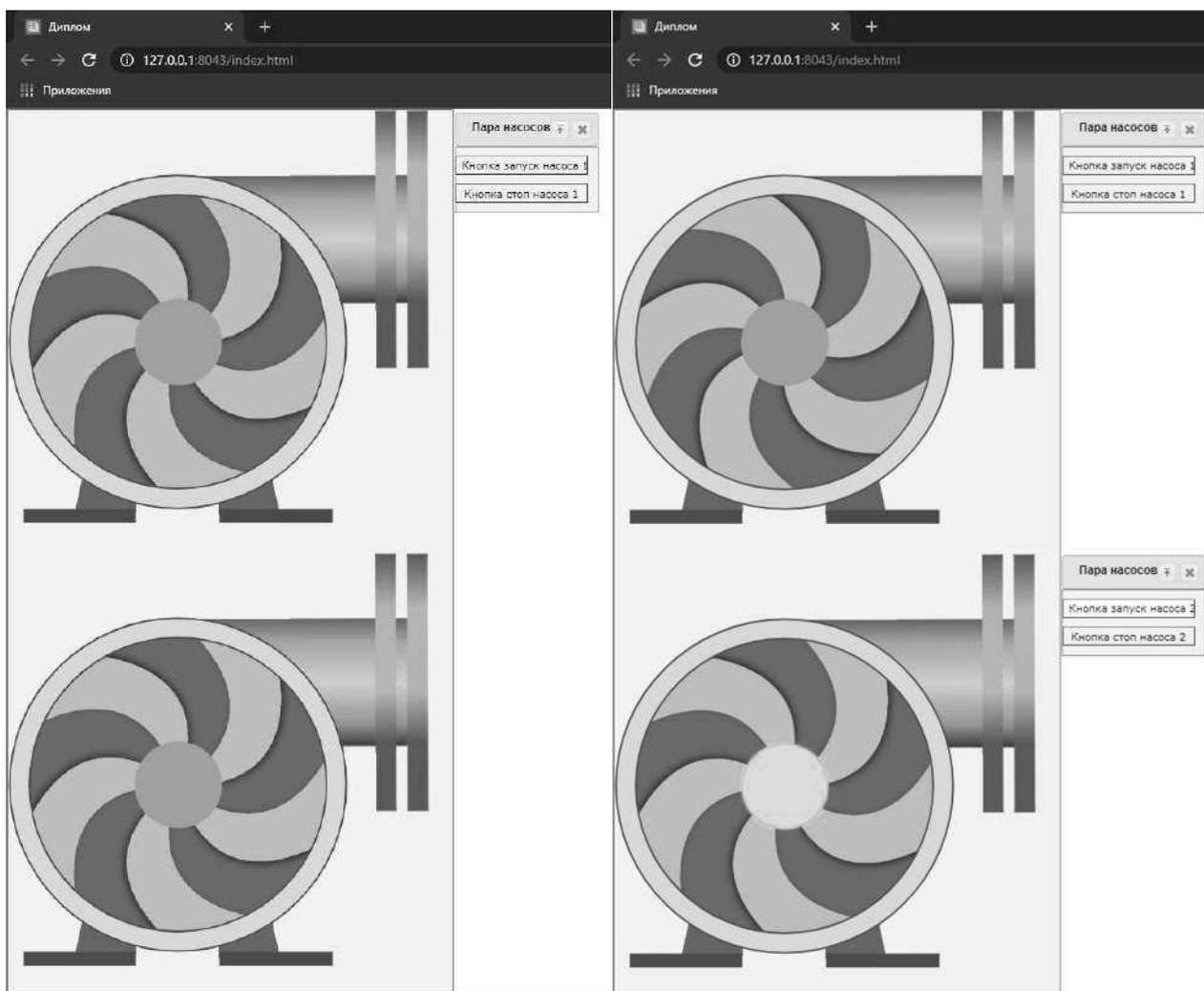
Рисунок 6.10 – Часть программы автоматизации первой пары насосов на FBD

Программа по автоматизации второй пары насосов повторяет алгоритмы для первой пары. Поэтому, данный участок листинга будет помещён в итоговый код.

6.4.2 Визуализация автоматизации работы первой пары насосов

Для визуализации данного процесса и отображения его на мнемосхеме из предложенных элементов в библиотеке Masterscada 4d мною был выбран элемент «Насос горизонт».

К параметру «Работа» была привязана переменная «Запуск насоса», а к параметру «Вращение» была привязана переменная «Насос в работе». При наличии сигнала «Запуск насоса» круг в центре соответствующего насоса окрашивается в зелёный цвет, а при наличии сигнала «Насос в работе» соответствующий насос начинает вращение. Визуализация автоматизации первой пары насосов показана на рисунке 6.11.



а)

б)

Рисунок 6.11 – Визуализация автоматизации первой пары насосов: а) насосы выключены; б) насос 1 в работе, насос 2 в процессе запуска

Для экономии рабочего пространства мною была осуществлена возможность вызова контекстного меню управления насосами путём нажатия клавишей мыши на представленную модель. Управление насосами осуществляется путём нажатия кнопкой мыши на соответствующую кнопку в контекстном меню. Также, для визуализации работы первой пары насосов в автоматическом режиме на рабочую панель общей мнемосхемы выведены клавиши выбора уровня воды в резервуаре, а также клавиши аварий.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6.5 Автоматизация работы шиберных затворов

6.5.1 Составление логических уравнений

Для автоматизации работы шиберного затвора насоса 1 введём входные и выходные переменные. Все переменные сведены в таблице 6.5.1. Некоторые переменные получены из предыдущего пункта «Автоматизация работы насосов».

Таблица 6.5.1 – Переменные для составления уравнений автоматизации работы шиберного затвора насоса 1

Входные переменные	Выходные переменные
Питание подано	Открыть шиберный затвор насоса 1
Включить насос 1	Закрыть шиберный затвор насоса 1
Стоп насоса 1	Открытие шиберного затвора насос 1
	Закрытие шиберного затвора насос 1
	Шиберный затвор насос 1 открыт
	Шиберный затвор насос 1 закрыт

При наличии сигнала «Питание подано» и наличии сигнала «Включить насос 1» появляется сигнал «Открыть шиберный затвор насоса 1», а при наличии сигнала «Стоп насоса 1» формируется сигнал «Закрыть шиберный затвор насоса 1». Возникший кратковременный сигнал «Открыть шиберный затвор насоса 1» формирует длительный сигнал «Открытие шиберного затвора насос 1». По завершению данного сигнала возникает сигнал «Шиберный затвор насос 1 открыт» и сохраняется до поступления сигнала «Стоп насоса 1».

При получении сигнала «Стоп насоса 1» формируется длительный сигнал «Закрытие шиберного затвора насос 1».

По завершению данного сигнала возникает сигнал «Шиберный затвор закрыт». Данные уравнения написаны на двух языках: LD и FBD и представлены на рисунках 6.12 и 6.13.

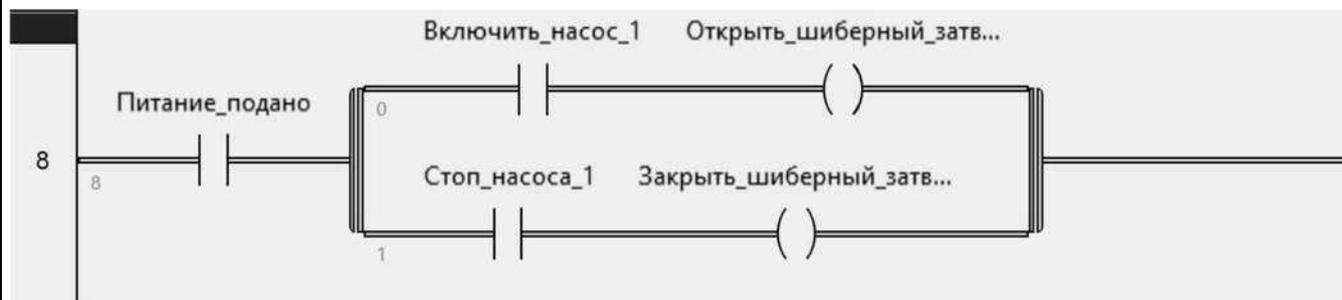


Рисунок 6.12 – Часть программы автоматизации шиберного затвора насоса 1 на языке LD

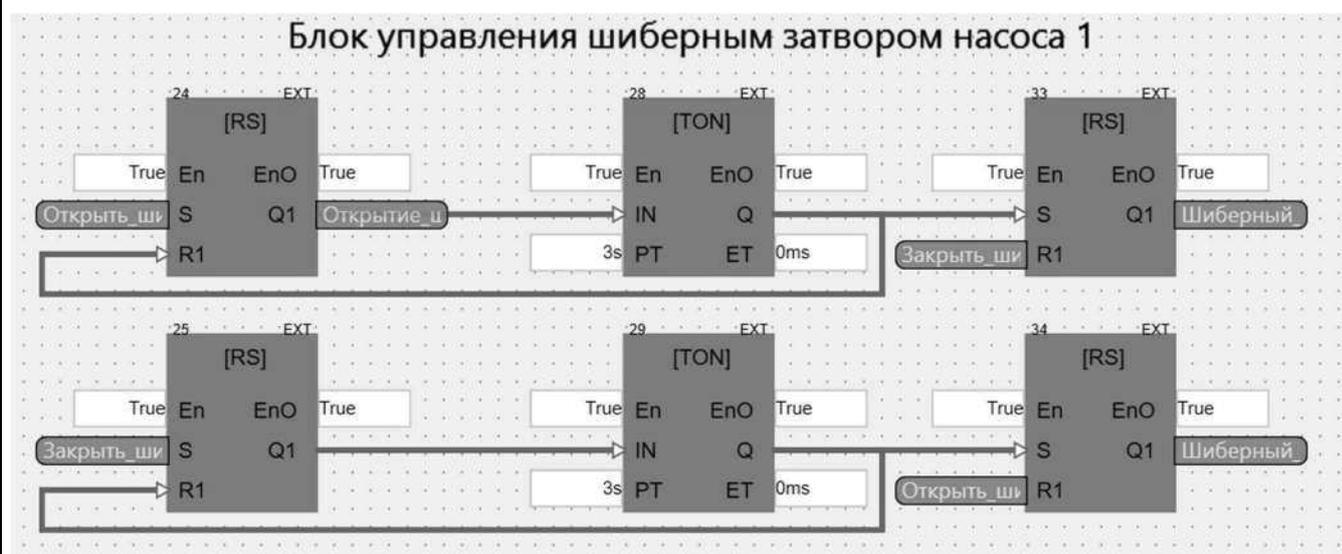


Рисунок 6.13 – Часть программы автоматизации шиберного затвора насоса 1 на языке FBD

Программы по автоматизации второго, третьего и четвёртого шиберных затворов повторяют алгоритмы для первого затвора. Поэтому, аналогичные участки листинга будут помещены в итоговый код.

6.5.2 Визуализация автоматизации шиберного затвора насоса 1

Для визуализации данного процесса и отображения его на мнемосхеме из предложенных элементов в библиотеке Masterscada 4d мною был выбран элемент «Задвижка с электроприводом 2». Данный элемент не повторяет внешний вид реального элемента, однако, с его использованием визуализация технологического процесса является наглядной.

К параметру «Положение» привязаны переменные «Шиберный затвор насос 1 открыт» и «Шиберный затвор насос 1 закрыт». К параметру «Привод» привязаны переменные «Открытие шиберного затвора насос 1» и «Закрытие шиберного затвора насос 1». При открытии/закрытии затвора двигатель на визуализации окрашивается в зелёный цвет. В режиме ожидания двигатель окрашен в жёлтый цвет. При открытом шиберном затворе труба окрашивается в зелёный цвет, при движении затвора – в жёлтый цвет, а при закрытом затворе – в красный. Визуализация автоматизации шиберного затвора насоса 1 показана на рисунке 6.14.

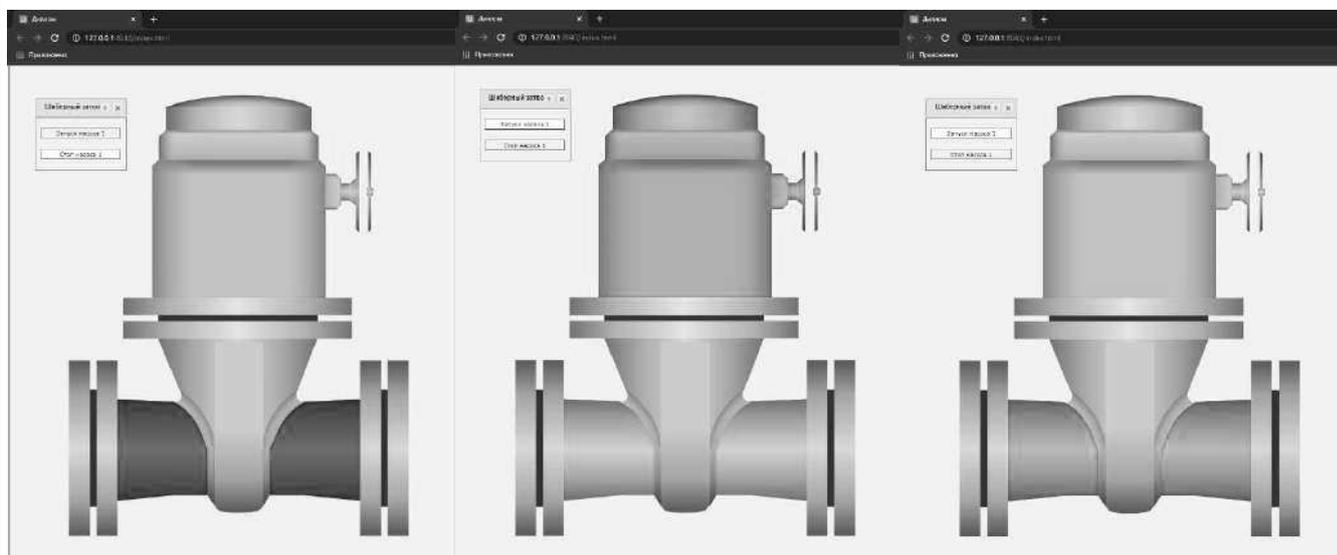


Рисунок 6.14 – Визуализация автоматизации шиберного затвора насоса:
а) Положение «закрыт»; б) Движение затвора; в) Положение «Открыт»

Для экономии рабочего пространства мною была осуществлена возможность вызова контекстного меню управления шибберным затвором путём нажатия клавишей мыши на представленную модель. Управление затвором осуществляется путём нажатия кнопкой мыши на соответствующую кнопку в контекстном меню. Также, для визуализации работы шибберного затвора в автоматическом режиме на рабочую панель общей мнемосхемы выведены клавиши выбора уровня воды в резервуаре, а также клавиши аварий.

6.6 Наладка программы и составление общей мнемосхемы

В процессе наладки программы были устранены неточности в работе алгоритма при активном сигнале «Автоматический режим». В частности, кратковременные сигналы были реализованы с помощью функционального блока [A_TRIG], который представляет собой генератор одиночного импульса. Все повторяющиеся переменные были названы соответственными номерами, чтобы избежать конфликтов. На общую панель мнемосхемы выведены клавиши для задания входных условий, такие как: «Питание подано», «Автоматический режим», «Канал 1 основной», «Авария на канале 1», «Канал 2 основной», «Авария на канале 2», «Уровень воды в канале 0», «Уровень воды в канале 1», «Уровень воды в канале 2», «Уровень воды в резервуаре 0», «Уровень воды в резервуаре 1», «Уровень воды в резервуаре 2», «Пара 1 основная», «Пара 2 основная», «Авария на паре насосов 1», «Авария на паре насосов 2». Данные клавиши являются активными в режиме эмуляции, так как отсутствует возможность получить данные сигналы с датчиков и реальных устройств. При дальнейшей проработке и отладке данной программы возможно разделение индикации аварий по каждому из силовых агрегатов для повышения точности определения места и причины возникновения данного аварийного сигнала. Общая мнемосхема представлена в приложении А.

										Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ					

В настройках, для связи с контроллером указываю его IP адрес: 10.0.6.10, порт связи для Modbus RTU – 502.

Каждому входному и выходному сигналу присваиваю порты ввода и вывода соответственно. Соответствие портов указано в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Соответствие входных и выходных сигналов с портами ПЛК

Название сигнала	Порт
Питание подано	DI1
Автоматический режим	DI2
Назначение канала 1: Основной	DI3
Авария на канале 1	DI4
Авария на канале 2	DI5
Кнопка открыть щитовой затвор 1	DI6
Кнопка закрыть щитовой затвор 1	DI7
Кнопка низкая частота включения 1	DI8
Кнопка высокая частота включения 1	DI9
Назначение канала 2: Основной	DI10
Кнопка открыть щитовой затвор 2	DI11
Кнопка закрыть щитовой затвор 2	DI12
Кнопка низкая частота включения 2	DI13
Кнопка высокая частота включения 2	DI14
Назначение пары насосов 1: Основная	DI15
Авария на паре насосов 1	DI16
Авария на паре насосов 2	DI17
Кнопка включить насос 1	DI18
Кнопка включить насос 2	DI19
Кнопка выключить насос 1	DI20
Кнопка выключить насос 2	DI21

Продолжение таблицы 6.6

Название сигнала	Порт
Назначение пары насосов 2: Основная	DI22
Кнопка включить насос 3	DI23
Кнопка включить насос 4	DI24
Кнопка выключить насос 3	DI25
Кнопка выключить насос 4	DI26
Кнопка открыть шиберный затвор 1	DI27
Кнопка открыть шиберный затвор 2	DI28
Кнопка открыть шиберный затвор 3	DI29
Кнопка открыть шиберный затвор 4	DI30
Кнопка закрыть шиберный затвор 1	DI31
Кнопка закрыть шиберный затвор 2	DI32
Кнопка закрыть шиберный затвор 3	DI33
Кнопка закрыть шиберный затвор 4	DI34
Уровень воды в канале 1	AI1/MB110-8A
Уровень воды в канале 2	AI2/MB110-8A
Уровень воды в резервуаре	AI3/MB110-8A
Открыть щитовой затвор 1	DO1
Закреть щитовой затвор 1	DO2
Щитовой затвор 1 открыт	DO3
Щитовой затвор 1 закрыт	DO4
Открыть щитовой затвор 2	DO5
Закреть щитовой затвор 2	DO6
Щитовой затвор 2 открыт	DO7
Щитовой затвор 2 закрыт	DO8
Работа решётки 1	DO9
Работа дробилки 1	DO10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ

Лист

59

Продолжение таблицы 6.6

Название сигнала	Порт
Работа решётки 2	DO11
Работа дробилки 2	DO12
Запуск насоса 1	DO13
Работа насоса 1	DO14
Запуск насоса 2	DO15
Работа насоса 2	DO16
Запуск насоса 3	DO17
Работа насоса 3	DO18
Запуск насоса 4	DO19
Работа насоса 4	DO20
Останов насоса 1	DO21
Останов насоса 2	DO22
Останов насоса 3	DO23
Останов насоса 4	DO24

Алгоритм работы разработанной программы и её полный листинг представлены в приложении Б. Также разработана электрическая принципиальная схема.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был выбран вектор модернизации канализационной насосной станции в сторону предварительной очистки сточных вод механическим способом, обоснована необходимость и экономическая значимость данной модернизации. Был разработан технологический процесс, подобраны щитовые и шиберные затворы необходимых габаритов, выбраны сборные механизмы (механизированные грабельные решётки и дробилки отходов), подобраны элементы электропривода для реализации разработанного процесса в соответствии с оглашёнными заранее условиями (выбор насосов конкретной модели), подобраны электродвигатели. В процессе реализации поставленных задач были подобраны элементы автоматики системы, датчики уровня воды, блок питания, программируемый логический контроллер, устройства плавного пуска, автоматический выключатель и другие. Была выбрана среда разработки программы автоматизации технологического процесса, в ней разработан алгоритм управления и составлена мнемосхема модернизированной канализационной насосной станции. На составленной мнемосхеме реализована визуализация технологического процесса в реальном времени с возможностью управления процессом удалённо в ручном режиме. Предусмотрена работа автоматики в аварийных случаях и своевременное информирование персонала об аварии с помощью GSM – модема.

Результатом проведённой модернизации станет увеличение продолжительности работы силовых агрегатов, облегчение их обслуживания и ремонта. Повышение быстродействия оповещения об аварийных ситуациях, что позволит проводить своевременное вмешательство персонала. Сокращение расходов как на рабочий персонал, так как штатным режимом работы системы является автоматический, так и на электроэнергию – при ненужности происходит отключение насосов и механизированных решёток, совместно с дробилками отходов.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Атаева, З.Д. Автоматизация канализационных насосных станций/ З.Д. Атаева// Сборник научных статей VII-ой Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 25–29.
- 2 Сайманова, О.Г. Экономическая эффективность автоматизации водопроводно-канализационных сооружений/ О.Г. Сайманова, Е.Г. Поршина// Сборник статей Самарского государственного технического университета. – 2018. – С. 174–176.
- 3 Галеев, А.С. Автономная система контроля и мониторинга работы насосных агрегатов канализационной насосной станции/ А.С. Галеев, Р.Н. Сулейманов, Р.И. Арсланов// Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 24. – С. 13–20.
- 4 Каталог грабельных механизированных решёток и дробилок отходов – <https://ru.ekoton.com/> (дата обращения: 20.05.2020).
- 5 Каталог щитовых и шиберных затворов – <https://admiralzavod.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
- 6 Каталог мотор-редукторов – <https://www.auma.com/> (дата обращения: 20.05.2020).
- 7 Каталог насосов – <https://www.vzlet-omsk.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
- 8 Каталог электродвигателей – <https://www.ruselprom.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
- 9 Среда разработки «Masterscada 4d» – <https://insat.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
- 10 Каталог продукции компании «ОВЕН» – <https://owen.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
- 11 Каталог продукции компании «Метран» – <https://www.emerson.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

12 Каталог продукции компании «АВВ» – <https://new.abb.com/ru> (дата обращения: 20.05.2020).

13 ГОСТ 2.728-74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы (с Изменениями N 1, 2). – М.: Изд-во Стандартиформ, 2010.

14 ГОСТ 2.722-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические (с Изменениями N 1, 2, 3). – М.: Изд-во стандартов, 2007.

15 ГОСТ 2.755-87 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. – 2-е изд. – М.: Изд-во стандартов, 2004.

16 Lenschow, J. Economic sewage treatment as a result of automation / J. Lenschow // IFAC Proceedings Volumes. –Vol. 10. –Iss. 14. –1977. –Pg. 593–595. –[https:// www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S1474667017665121](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017665121) (дата обращения: 20.05.2020). DOI: 10.1016/S1474-6670(17)66512-1.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

ПРИЛОЖЕНИЕ А

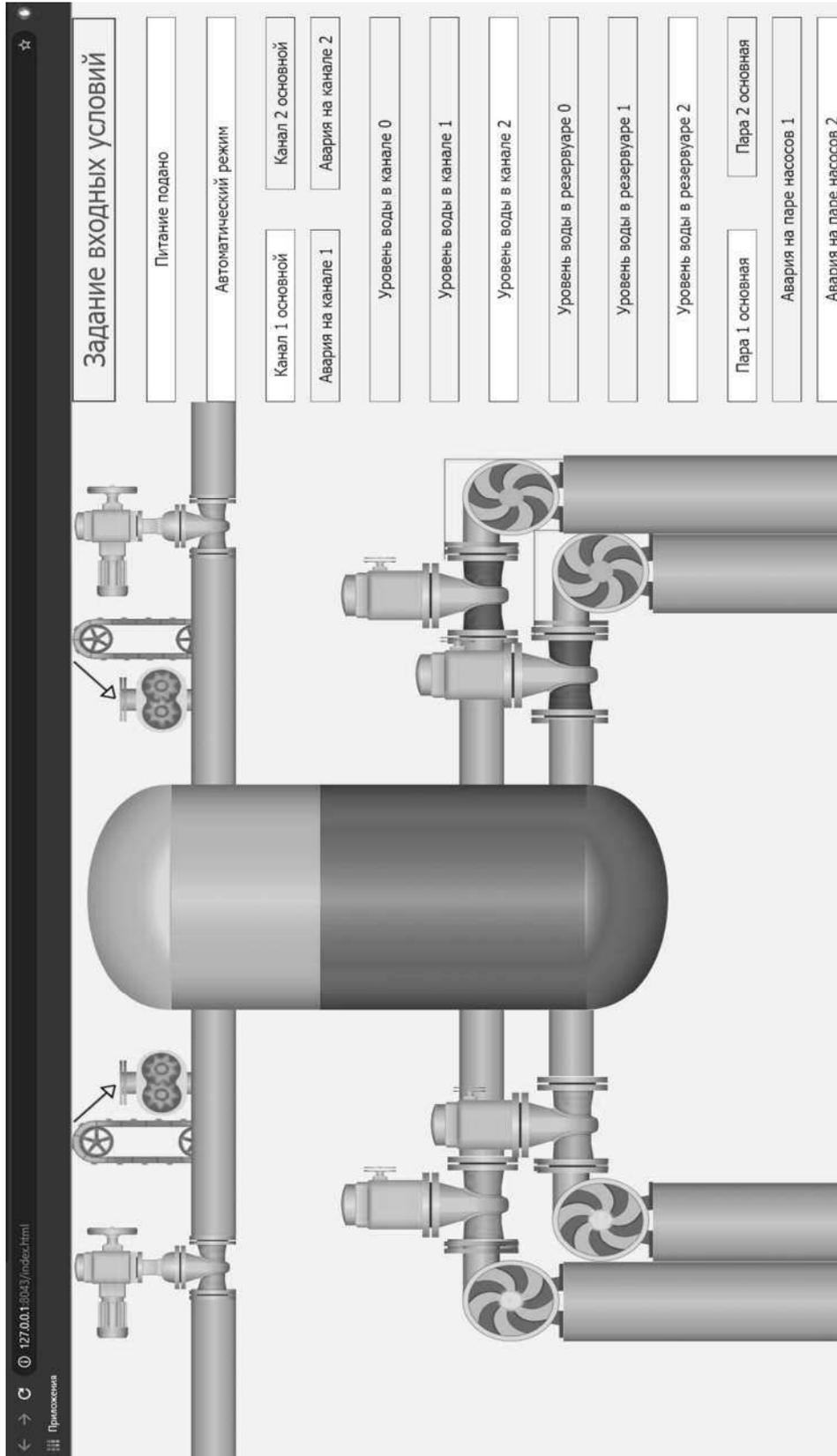


Рисунок А.1 – Общая мнемосхема

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.315.01ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

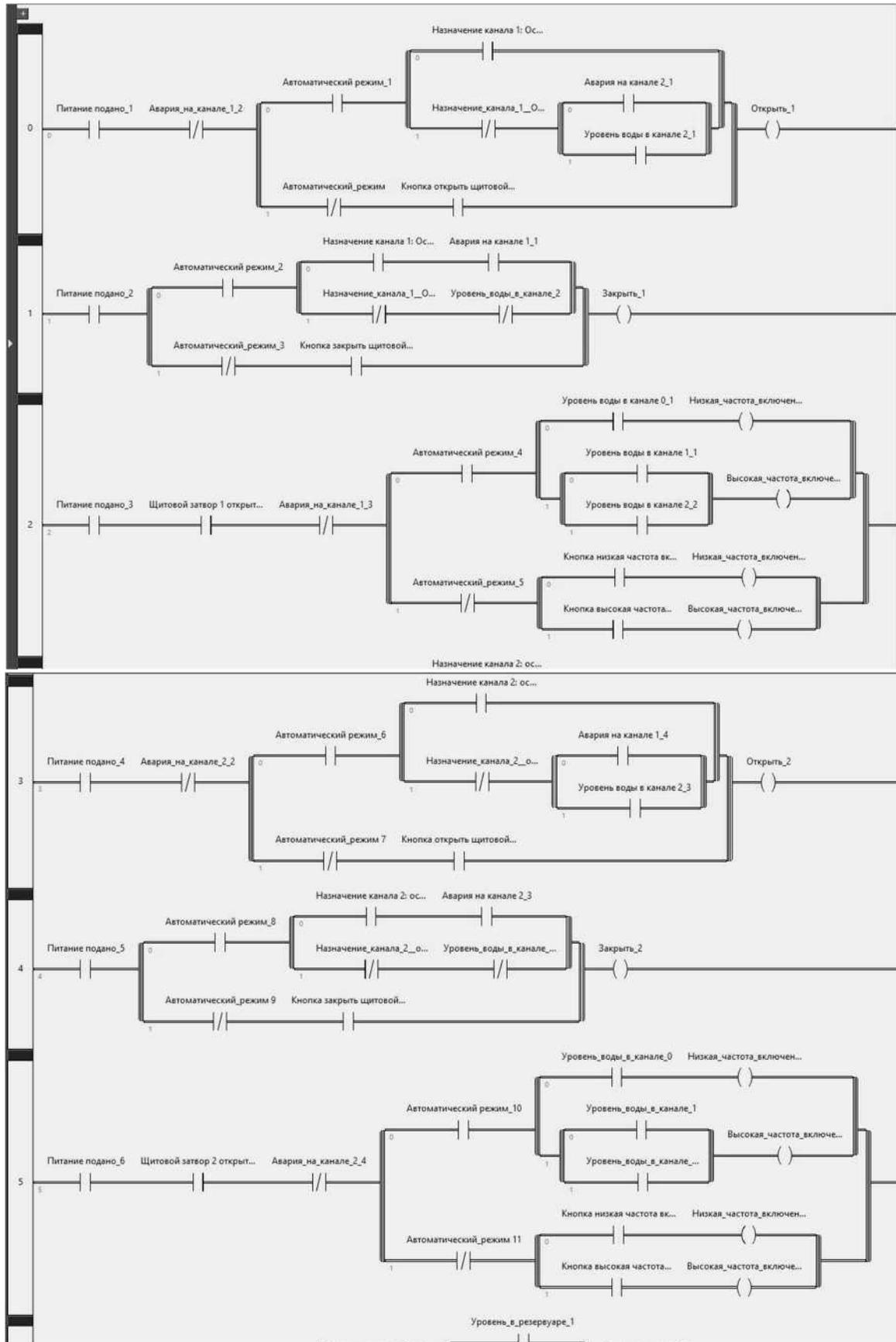


Рисунок Б.1 – Листинг программы на языке LD

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
Дата			

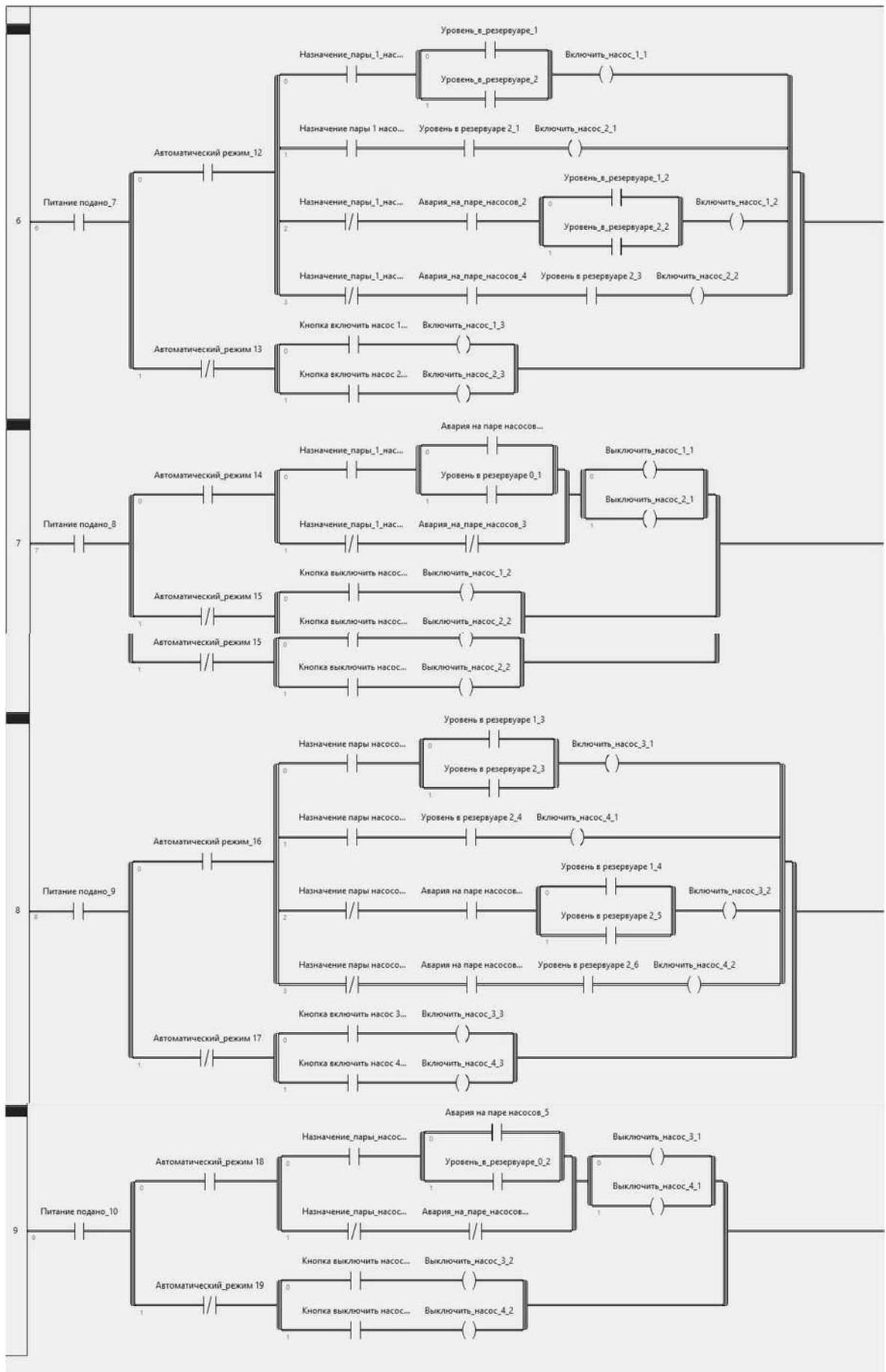


Рисунок Б.2 – Листинг программы на языке LD

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

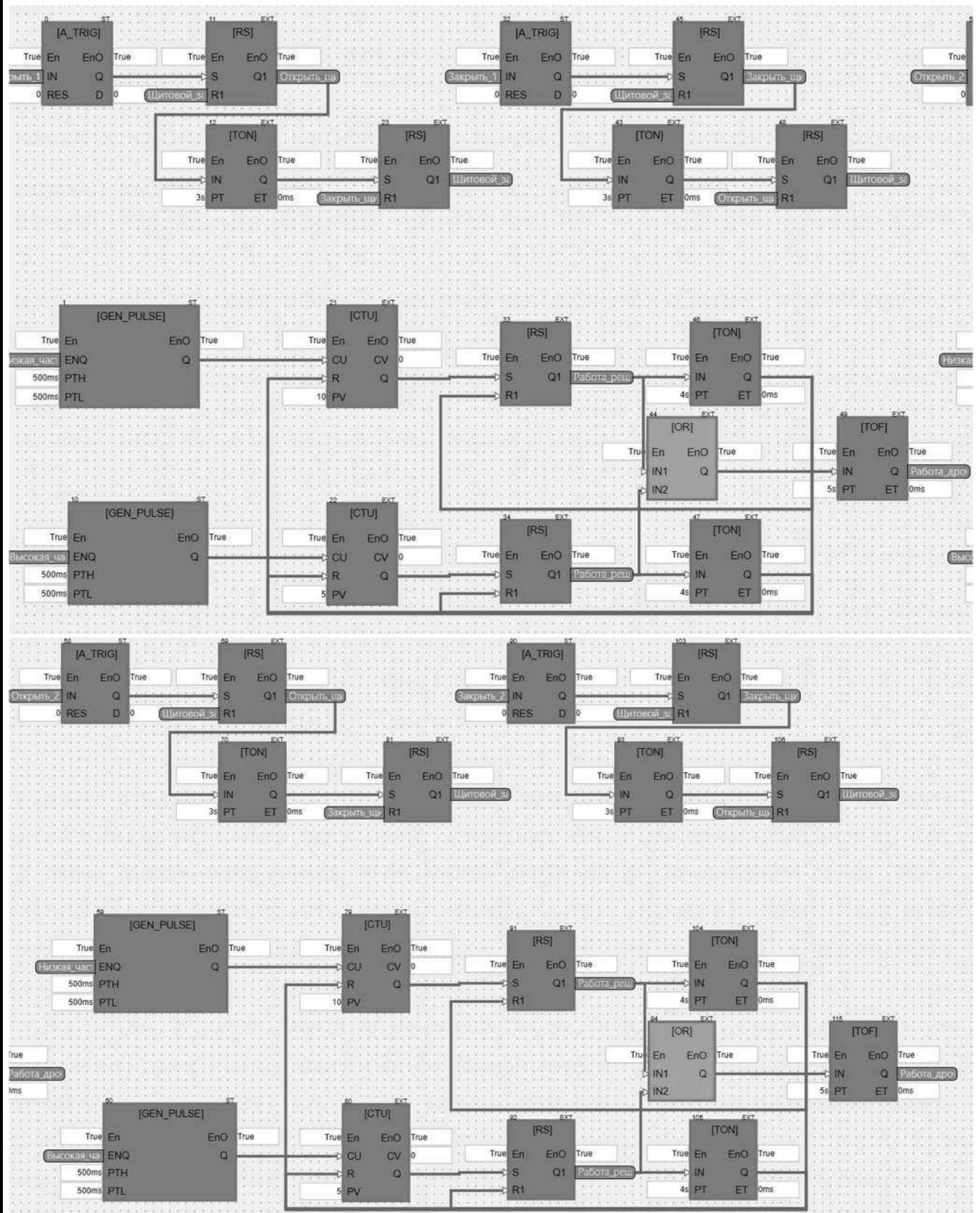


Рисунок Б.3 – Листинг программы на языке FBD

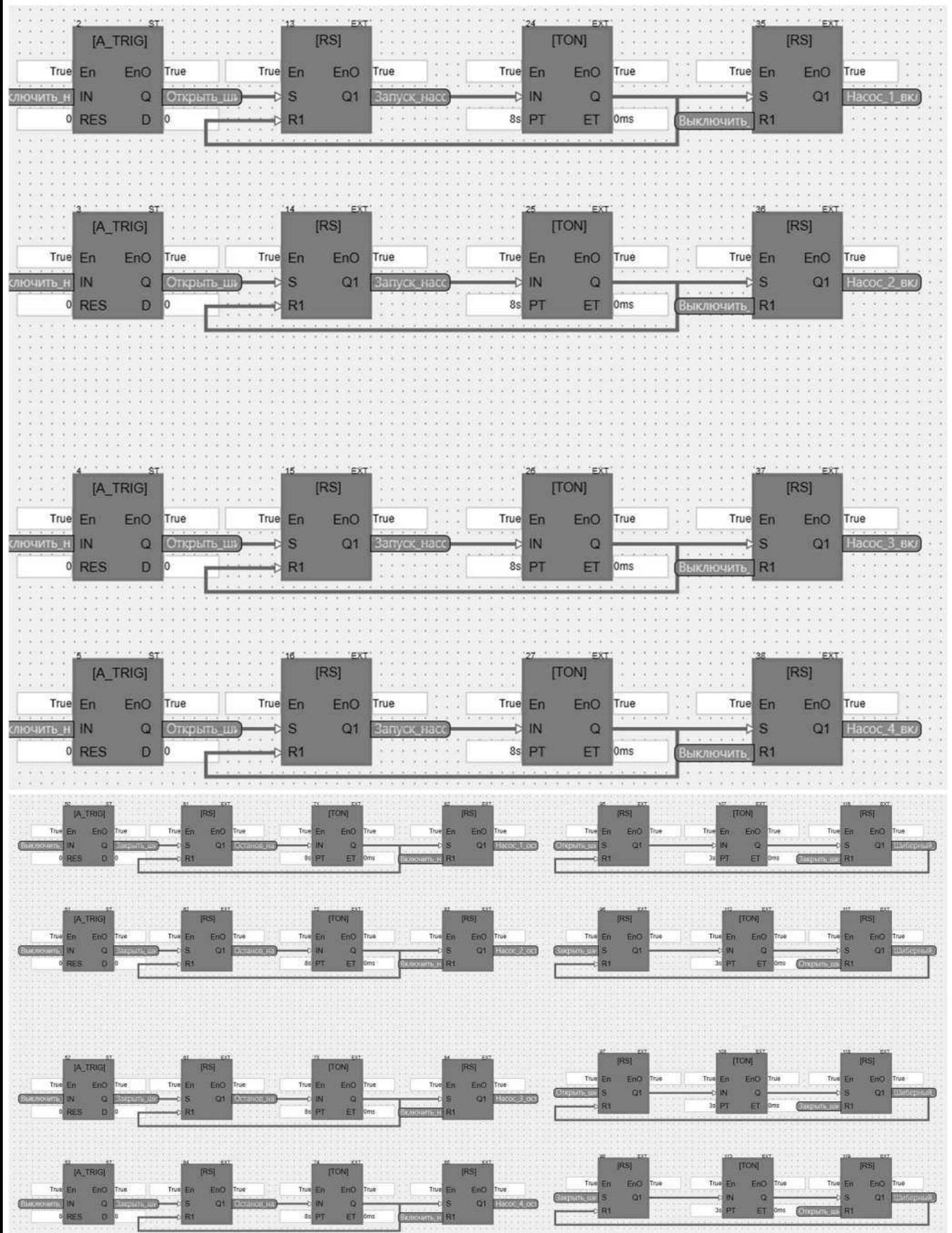


Рисунок Б.4 – Листинг программы на языке FBD

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата