

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
высшего профессионального образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Направление подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

Направленность (профиль) образовательной программы – Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

и.о. зав. кафедрой



О.В. Скрипко

« 25 » июня

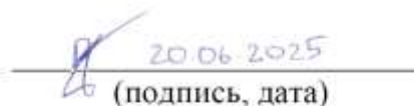
2025 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система управления процессов производства водорода ТЭЦ

Исполнитель

студент группы 141-об



(подпись, дата)

М.В. Велигорский

Руководитель

доцент, канд. техн. наук

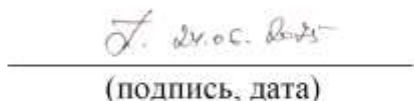


(подпись, дата)

Д.А. Теличенко

Консультант по безопасности
и экологичности

доцент, канд. техн. наук



(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

профессор, д-р техн. наук



(подпись, дата)

О.В. Скрипко

Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

и.о. зав. кафедрой

 О.В. Скрипко
подпись И.О. Фамилия

« 26 » июня 2025г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Велигорского Максима Владимировича

1. Тема выпускной квалификационной работы Автоматизированная система управления процессов производства водорода ТЭЦ

(утверждена приказом от 29.04.25 № 1104-уч)

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 26.06.2025 г.

3. Исходные данные выпускной квалификационной работе:

1) Рабочая документация Благовещенской ТЭЦ;

2) Приказ об утверждении темы бакалаврской работы;

3) Материалы, собранные в ходе практики.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

1) Описание объекта автоматизации;

2) Технические решения по автоматизации;

3) Программные решения по автоматизации;

4) Проектирование систем управления и моделирование работы АСУТП.

5. Перечень материалов приложения:

1) Техническое задание;

2) Полная электрическая схема;

3) Семь листов формата А1:

Лист 1: Чертёж действующей СЭУ-10-2;

Лист 2: Подключение датчиков и сигналов СЭУ-20-2;

Лист 3: Полная электрическая схема подключения оборудования;

Лист 4: Программные блоки, описывающие логику управления и регулирования системы;

Лист 5: Программные блоки, описывающие логику работы имитационной модели;

Лист 6: Некоторые окна человеко-машинного интерфейса SCADA-системы.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов):

Безопасности и экологичность –Булгаков А.Б., доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания: 01.02.2025 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Теличенко Денис Алексеевич, доцент, канд.техн.наук

(фамилия имя отчество,

должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 01.02.2025 

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 81 страницу, 53 рисунка, 12 таблиц, 30 источников, 1 приложение.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ, КОМБИНИРОВАННЫЕ ДАТЧИКИ, ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНТРОЛЛЕР, МОДУЛЬ ВВОДА-ВЫВОДА

В работе была разобрана электролизная установка СЭУ-10-2 Благовещенской теплоэлектроцентрали.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления технологическими процессами производства водорода на теплоэлектроцентрали. По ходу работы было принято решение заменить установку с СЭУ-10-2 на СЭУ-20-2.

На основе разработанной электрической и функциональной схемы была создана SCADA-система, базирующаяся на отечественном программируемом логическом контроллере от научного-производственного комплекса «Элара».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Техническое описание объекта автоматизации	8
1.1 Общие положения	8
1.2 Технические данные	8
1.3 Состав и описания конструкции	10
1.3.1 Ссновное оборудование электролизера	10
1.3.2 Вспомогательное технологическое оборудование	11
1.4 Списание технологического процесса и схема электролизной установки	17
1.5 Средства измерения, технологическая защита, предупредительная сигнализация	19
2 Модернизация системы автоматизации, защиты и контроля параметров	23
2.1 Характеристика нового оборудования	23
2.1.1 Ссновные моменты модернизации	23
2.1.2 Подбор датчика температуры электролита	24
2.1.3 Подбор датчика температуры газа	26
2.1.4 Подбор газоанализатора	27
2.1.5 Подбор датчика давлений	29
2.1.6 Датчик перепада давлений двух сред	31
2.1.7 Вторичный преобразователь	32
2.1.8 Датчик уровня	33
2.1.9 Измеритель сигнала токовой петли	35
2.2 Выбор контроллера	36
2.3 Создание функциональной схемы	39
2.4 Создание полной электрической схемы	39
3 Программное решение по автоматизации	43
3.1 Выбор scada системы	43
3.2 Создание проекта	43
3.2.1 Создание основных элементов проекта	43
3.2.2 Создание объектов	47
3.2.3 Создание мнемосхемы	48
3.2.4 Создание и подключение контроллера	50

3.3.1 Управление схемой	51
3.3.2 Электролизёр	51
3.3.3 Газоанализаторы	52
3.3.4 Уравнительные баки	53
3.3.5 Задание на выработку	54
3.4 Реализация алгоритмов защит	55
4 Проектирование систем управления и моделирование работы асути	56
4.1 Постановка задачи	56
4.2 Создание технологической программы	56
4.2.1 Ручное управление	56
4.2.2 Приготовление электролита	58
4.2.3 Заполнение аппаратов электролитом и обессоленной водой	58
4.2.4 Продувка азотом аппаратов и трубопроводов	60
4.2.5 Включение электролизёра	61
4.2.6 Включение второго электролизёра при работе первого	61
4.3 Создание модели	62
4.3.1 Создание модели подготовки электролита	62
4.3.2 Модель заполнения аппаратов электролитом и обессоленной водой	63
4.3.3 Модель продувки установки азотом	64
4.3.4 Создание модели включения электролизёра	65
4.3.5 Создание модели включения второго электролизёра	66
4.3.6 Модель изменения давления на рампях	66
4.3.7 Модель изменения выработки газов	67
5.1 Безопасность	68
5.2 Экологичность	70
5.3 Чрезвычайные ситуации	70
5.3.1 Утечка газов	70
5.3.2 Утечка электролита	71
5.3.3 Пожарная безопасность	71
Заключение	73
Библиографический список	74
Приложение А. Техническое задание	77

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития энергетики и промышленности особую актуальность приобретает проблема эффективного производства водорода. Водород как энергоноситель обладает значительным потенциалом для применения в различных отраслях промышленности, включая теплоэнергетику.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) является важнейшими элементами энергетической инфраструктуры, обеспечивающими комбинированную выработку электрической и тепловой энергии. Внедрение современных автоматизированной системы производства водорода на ТЭЦ открывает новые перспективы для повышения эффективности и снижения экологической нагрузки.

Автоматизация производственных процессов становится ключевым фактором повышения эффективности работы энергетических объектов. Разработка и внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) позволяет оптимизировать технологические процессы, обеспечить их безопасность и стабильность работы, а также минимизировать влияние человеческого фактора.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью создания эффективных систем управления процессом производства водорода на ТЭЦ, что позволит:

- Повысить энергоэффективность производства;
- Обеспечить безопасность технологических процессов;
- Снизить эксплуатационные затраты;
- Оптимизировать использование производственных мощностей.

Целью данной работы является разработка концепции автоматизированной системы управления процессом производства водорода на ТЭЦ, учитывающей специфику технологического процесса и требования к надежности и безопасности.

1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1 Общие положения

Электролизная установка СЭУ-10-2 (Стационарная электролизная установка) установлена в здании общественного вспомогательного корпуса (далее по тексту ОВК) Благовещенской ТЭЦ (далее по тексту БТЭЦ) и предназначена для получения водорода путём электролиза. Водород в основном используется для охлаждения обмоток синхронных генераторов серии турбогенераторы водородного фазного охлаждения (далее по тексту ТВФ) БТЭЦ. Правильная эксплуатация генератора без охлаждения запрещена.

Для правильной и стабильной работы электролизной установки обслуживающему персоналу Благовещенской ТЭЦ в соответствии с зоной ответственности обслуживает следующие части:

- Силовая часть – персоналом электрического цеха (рабочие и специалисты, которые занимаются монтажом, ремонтом, эксплуатацией и техническим обслуживанием электроустановок);
- Автоматика – персоналом цеха тепловой автоматики и измерений (рабочие и специалисты, обслуживающие КИП, средства дистанционного управления, автоматики и технологической защиты);
- Контроль чистоты водорода – персоналом химической лаборатории (рабочие и специалисты, организующие процесс контроля чистоты водорода).

1.2 Технические данные

Электролизная установка СЭУ-10-2 представляет собой горизонтальный, работающий под давлением аппарат, собранный из одинаковых электродов и диафрагменных рам и предназначен для получения водорода и кислорода методом электролитического разложения воды. Аппарат состоит из двух электролизеров типа СЭУ-10, один из которых является рабочим, другой - резервным. Электролизная установка работает непрерывно или периодически в зависимости от потребности в водороде [3].

В состав ЭУ входят электролизер, аппаратура для охлаждения электролита, промывки, регулирования давления и осушки газов, бак и насос для электролита, ресиверы для хранения запаса выработанных газов, преобразовательные агрегаты для питания электролизеров выпрямленным током, приборы контроля.

Основные технические характеристики электролизера приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики ЭУ [16].

Наименование параметра, единица измерения	Величина параметра
Количество ячеек, штук	25
Производительность по водороду, м ³ /час	2×10
Производительность по кислороду, м ³ /час	2×5
Сила тока, А	2×1000
Плотность тока, А/м ²	1800
Напряжение на электролизере, В	55
Напряжение на одной ячейке, В	2,0-2,2
Рабочая температура электролита, °С	85 ± 5
Рабочее давление, 10 кг с/см ²	10
Чистота газа: Н ₂ не ниже, %	99,7
Чистота газа: О ₂ не ниже, %	99,5
Вместимость электролизера, м ³	0,35

Азотная установка необходима для продувки электролизной установки. Для продувки применяется азот по ГОСТ 9293–74, 2 сорта, а для ресивера применяется азот или углекислый газ согласно ГОСТ 8050–85. Эксплуатационный запас азота должен поставлять не менее 20 баллонов [2].

Параметры среды: электролизная установка установлена в отдельном помещении ОВК здания химического цеха с температурой окружающей среды от 0 °С до +40 °С .

Общий вид электролизной установки приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Общий вид электролизной установки СЭУ –10–2

1.3 Состав и описания конструкции

1.3.1 Основное оборудование электролизера

Аппарат для электролиза называется электролизёром. Он состоит из 25 ячеек, каждая из которых представляет из себя пространство ограниченный парой электродов и диафрагменной рамой. Напряжение подаётся к монополярным электродам. Все промежуточные электроды подключены биполярно. Диафрагменная рама изготовлена из асбестовой ткани и предназначена для изоляции пространств с водородом и кислородом, что предотвращает смешивание газов. В нижней части электролизёра расположены два отверстия для подачи электролита, в верхней – семь выходов для водорода и четыре для кислорода [3].

В конструкции электролизера предусмотрено три коллектора различного назначения. Два верхних коллектора предназначены для вывода газов и электролита из системы, тогда как нижние коллекторы отвечают за подачу охлажденного электролита обратно в рабочие камеры.

Подобная функциональная организация коллекторов гарантирует стабильную работу агрегата, обеспечивает равномерное охлаждение всех камер и позволяет поддерживать наиболее благоприятные условия функционирования всей технологической установки.

Процесс электролиза протекает благодаря подаче постоянного тока на катод (отрицательном электроде). При этом происходит восстановление ионов водорода, в результате чего образуется газообразный водород. На аноде (положительном электроде) происходит окисление гидроксид-ионов, что приводит к образованию газообразного кислорода [16].

В процессе функционирования оборудования могут возникать температурные расширения конструкции. Для эффективной компенсации при нагреве конструкции во время работы происходит естественное удлинение металлических элементов. Для предотвращения деформации и сохранения герметичности установки на концах крепежных болтов устанавливаются тарельчатые пружины, что позволяет эффективно поглощать возникающие напряжения при температурных изменениях.

1.3.2 Вспомогательное технологическое оборудование

Для правильного функционирования электролизной установки необходим ряд вспомогательного оборудования, приведённого в таблице 2.

Таблица 2 – Вспомогательное технологическое оборудование ЭУ [16]

Наименование оборудования	Количество
1	2
Разделительная колонка	4
Регулятор-промыватель газа	4

Продолжение таблицы 2

1	2
Уравнительный бак	2
Бак для щелочи	1
Подогреватель водорода	4
Осушитель	2
Сепаратор	2
Сборник конденсата	3
Фильтр	1
Ресивер	6
Азотная рампа	1
Огнепреградитель гравийный	3
Углекислотная рампа	1
Гидрозатвор	2
Восстановитель	1
Газовый пост	1
Щит управления	1

Структурная схема электролизной установки СЭУ-10-2 показана на рисунке 2.

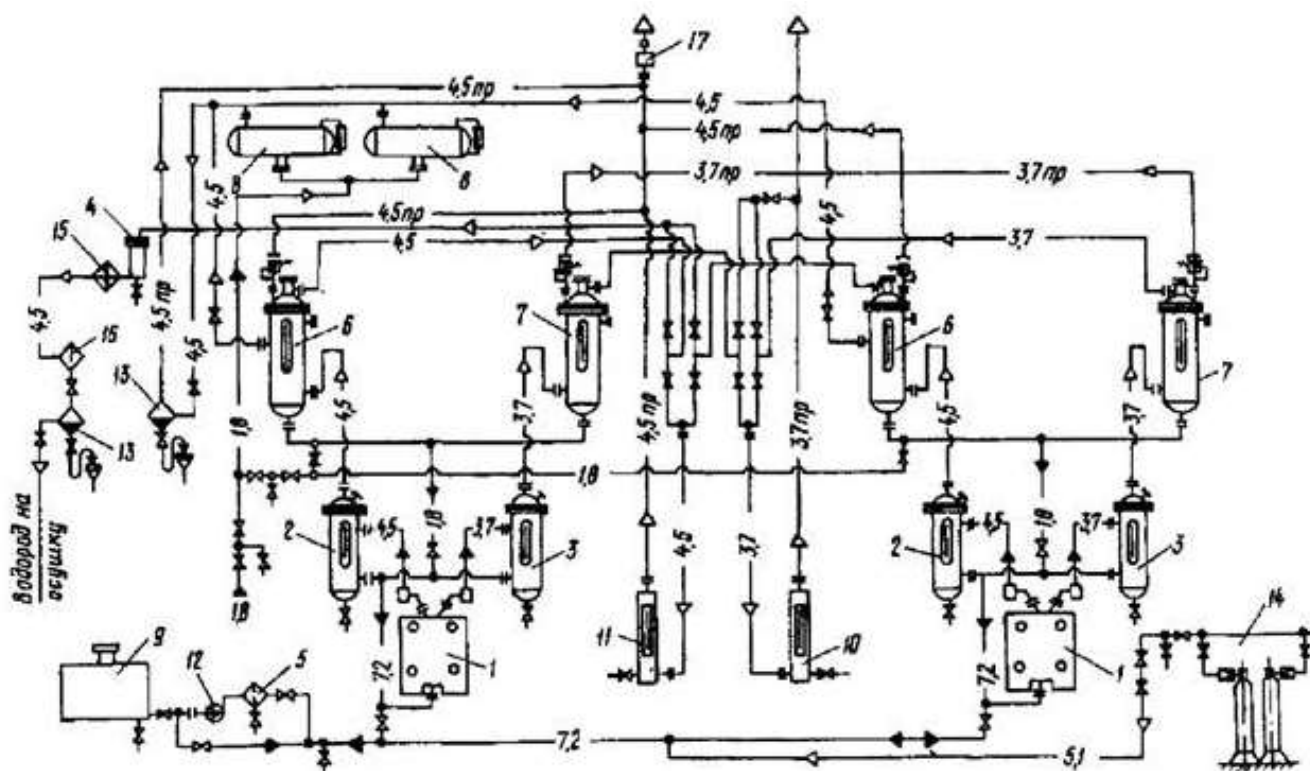


Рисунок 2 - Структурная схема СЭУ-10-2 с совмещенными регуляторами-промывателями

На рисунке 2 приняты следующие обозначения и приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Обозначения элементов СЭУ-10-2 [16]

Обозначение	Название
1	2
1	Электролизер
2	Разделительная колонка для водорода
3	Разделительная колонка для кислорода
4	Восстановитель
5	Фильтр
6	Регулятор-промыватель водорода
7	Регулятор-промыватель кислорода
8	Уравнительный бак
9	Бак для щелочи

1	2
10	Гидрозатвор для кислорода
11	Гидрозатвор для водорода
12	Насос
13	Сборник конденсата
14	Азотная рампа
15	Холодильник
16	Сепаратор
17	Огнепреградитель
1,8	Конденсат
3.7	Кислород
3.7 пр	Продувка кислорода
4.5	Водород
4,5 пр	Продувка водорода;
5.1	Азот
7.2	Электролит

Назначение некоторых вспомогательных элементов технологического оборудования описано ниже.

Важным звеном в технологической цепочке производства водорода занимает разделительная колонка. Она служит для разделения газов (водорода и кислорода), а также для возврата электролита обратно в электролизер. В её конструкции имеется змеевиковый холодильник необходимый для охлаждения выделяющихся газов и электролита, в процессе, который самотёком возвращается обратно в электролизер. Следует в процессе работы поддерживать герметичность конструкции, контролировать уровень жидкости и следить за эффективность охлаждения [3].

Регулятор-промыватель газа устанавливается после разделительной колонки и является промежуточным звеном между производством и хранением газа. Устройство совмещает в себе функции регулирования и поддержания равенства давлений водорода и кислорода, а также промывка необходимого газа от щелочного тумана. Также, как и разделительная колонка, данный элемент охлаждает проходящий через него газ.

Уравнительный бак является критически важным элементом системы, участвующий в системе циркуляции электролита. Важность его заключается в необходимости поддержания уровня электролита, компенсация колебаний в системе и обеспечение равномерного распределения электролита. Устройство работает в условиях повышенного давления, поэтому необходимо следить за уровнем электролита и герметичности соединения. Также немаловажно поддерживать чистоту внутренней поверхности.

Бак для щелочи необходим для хранения запаса щелочного электролита, обеспечения бесперебойной работы электролизера и поддержания необходимого химического состава раствора. В технологической цепочке данный элемент необходим как источник электролита для всей системы.

Для поддержания оптимальной температуры газа необходим подогреватель водорода. Данный элемент получает тепло от системы охлаждения и передает его водородному потоку, поддерживая заданную температуру водорода [16].

Осушитель также является важным элементом системы электролиза. Он служит для подготовки гремучего газа (водородно-кислородной смеси). Газ проходит через слой силикагеля, осушается от паров воды и очищается от механических примесей и проходит тонкую очистку перед выходом.

Необходимым элементом электролизной установки служит сепаратор. Он обеспечивает эффективное разделение продуктов электролиза, стабильную работу системы и высокое качество получаемого дезинфектанта. Его наличие позволяет оптимизировать процесс электролиза и обеспечить безопасность всей установки.

Сборник конденсата или же влагоотделитель в электролизной установке является важным элементом системы подготовки водорода, обеспечивающим высокое качество получаемого газа и стабильную работу всей установки. Его наличие позволяет поддерживать оптимальные параметры водородного потока и предотвращать нежелательные последствия от наличия влаги в системе.

Для обеспечения качественной очистки газа используют фильтр. Также он обеспечивает защиту оборудования и соблюдение экологических требований. Его правильная эксплуатация и своевременное обслуживание позволяют поддерживать эффективную работу всей системы и минимизировать потери производственных материалов [16].

Ресивер является важным элементом электролизной установки, обеспечивающим стабильность работы системы и возможность накопления необходимых газов. Его наличие позволяет поддерживать непрерывную работу установки даже при меняющемся потреблении водорода, а также обеспечивает необходимый запас газов для технологических нужд.

Азотная рампа является критически важным элементом безопасности электролизной установки, обеспечивающим взрывобезопасность системы и подготовку оборудования к работе. Её наличие позволяет проводить безопасную эксплуатацию установки и своевременно предотвращать опасные ситуации.

Критически важным элементом безопасности электролизной установки является гравийный огнепреградитель. Он обеспечивает защиту от распространения пламени и предотвращает возможные взрывы. Его наличие позволяет существенно повысить безопасность эксплуатации установки и защитить как оборудование, так и персонал от возможных аварийных ситуаций.

Для создания инертной атмосферы, предотвращающей взрыв и защиты оборудования от коррозии, используется углекислотная рампа. Она обеспечивает безопасность процесса и стабильность технологических параметров. Её наличие позволяет поддерживать оптимальные условия электролиза и предотвращать возможные аварийные ситуации.

Гидрозатвор является критически важным элементом безопасности электролизной установки, который защищает от возможных взрывов и распространения пламени, а также предотвращает загрязнение электролита посторонними веществами. Его наличие существенно повышает безопасность эксплуатации установки и защищает как оборудование, так и персонал [2].

Восстановитель является необходимым компонентом электролизной установки, обеспечивающим протекание электрохимических реакций и получение целевых продуктов. Его правильный выбор и контроль параметров работы критически важны для эффективной и безопасной эксплуатации установки.

Важно отметить, что в электролизере восстановитель всегда находится у катода, где протекают реакции восстановления, в то время как окислитель концентрируется у анода.

Наличие газового поста позволяет поддерживать оптимальные параметры процесса электролиза и обеспечивает надежную защиту от возможных аварийных ситуаций, связанных с нарушением газового баланса в установке.

1.4 Описание технологического процесса и схема электролизной установки

Водород и кислород получают в электролизере при разложении воды постоянным током. Чистая вода обладает очень низкой электрической проводимостью, поэтому в качестве электролита применяется раствор КОН (гидрат оксида калия).

Из электролизера газы собираются в коллекторы, а затем вместе с циркулирующим в системе электролитом через расширители, снабженные не достигающими до дна открытыми снизу перфорированными трубами, поступают в разделительные колонки. Расширители предназначены для гомогенизации газожидкостной смеси, исключений пульсаций в циркуляционном контуре и усиления циркуляции электролита.

Электролит охлаждается и из разделительных колонок возвращается в электролизер через электролитный коллектор. Таким образом, осуществляется

непрерывная циркуляция электролита. Циркуляция электролита вызывается разностью удельных весов газонаполненного электролита в ячейках и газоотводных трубках и свободного от газовых включений электролита в разделительных колонках.

Водород из колонок поступает в регуляторы давления водорода, кислород из колонок - в регуляторы давления кислорода. Регуляторы давления сообщены между собой по жидкости и разделены по газу и снабжены поплавками и регулируемыми клапанами. Поплавки могут перемещаться по вертикали, закрывая и открывая клапаны для выпуска газов. При повышении давления одного из газов уровень воды в регуляторе давления этого газа понижается, а в регуляторе давления другого газа - повышается, в результате этого поднимается поплавок и закрывается клапан для выхода газа, давление которого ниже [3].

Жидкостная система регуляторов давления во время работы связана с жидкостной системой электролизера для пополнения, расходуемой в процессе электролиза воды. Регуляторы соединены между собой в нижней части.

Из регуляторов давления водород и кислород поступает на газовый пост, предназначенный для управления подачей газов. С газового поста водород направляется на узел очистки, осушки и далее через обратный клапан в ресиверы, а кислород через обратный клапан выбрасывается в атмосферу.

При пуске электролизера водород и кислород в продувочном режиме выбрасываются в атмосферу через гидрозатворы до достижения номинальных параметров чистоты. Чистота водорода должна достичь 99%, а кислорода 98%.

Окончательная очистка водорода от кислорода производится в обогреваемом восстановителе.

Из восстановителя водород через водяной холодильник направляется на блок осушки. Для регенерации силикагеля водород нагревается в паровом подогревателе до температуры 180–220 °С и подается в осушитель, находящийся на регенерации. В рубашку этого осушителя для ускорения прогрева силикагеля подается пар.

Проходя через силикагель сверху вниз, водород нагревает его, десорбирует и испаряет влагу, затем поступает в водяной холодильник, где водяной пар конденсируется и отделяется от газа в сепаратор. Из сепаратора вода стекает в сборник конденсата, откуда она периодически дренируется. После холодильника водород, охлажденный до температуры 20–40 °С, поступает снизу вверх в рабочий осушитель, где осушается. Во время осушки в рубашку рабочего осушителя подается охлаждающая вода. После осушки водород через обратный клапан направляется в ресиверы [2].

Автоматическая подпитка установки конденсатом осуществляется из уравнильных баков. По жидкости уравнильные баки соединены с регуляторами давления, по газу уравнильные баки соединены со штуцером на регуляторе давления водорода, который расположен на высоте, соответствующей необходимому положению уровня в регуляторе давления.

Если уровень воды в регуляторе давления водорода находится выше указанного штуцера, газовое пространство уравнильных баков не сообщается с газовым пространством регулятора давления. В этом случае подпитка не работает. Когда уровень воды в регуляторе давления опускается, штуцер обнажается и водород поступает в уравнильные баки, вытесняя оттуда воду в регулятор давления.

Электролит готовят в баке и насосом закачивают в электролизер.

При пуске водород выпускается в атмосферу через гидрозатвор и огнепреградитель, кислород - через гидрозатвор. При заполнении водой уравнильных баков водород из них выпускают в атмосферу через расширитель.

1.5 Средства измерения, технологическая защита, предупредительная сигнализация

Электролизная установка оснащена следующими приборами:

- Автоматическими газоанализаторами для измерения содержания водорода в кислороде;
- Автоматическими газоанализаторами для измерения содержания кислорода в водороде;

- Приборами, контролирующими давление в аппаратах системы;
- Приборами, измеряющими температуру газов, электролита; – датчик разности давлений H_2 и O_2 ;
- Автоматическими газоанализаторами для измерения содержания водорода в воздухе помещений электролизеров.

Также в помещении электролизной установки находятся два стенда пробоподготовки, необходимых для правильной работы газоанализаторов, отдельно для кислорода и для водорода - марки ГОУ1 - УХЛ4.

Термохимический газоанализатор ГТХ-1-21УХЛ4 предназначен для непрерывного контроля за содержанием примеси водорода в кислороде.

Технические данные газоанализатора ГТХ - 1:

- Диапазон измерения: объемная доля от 0 до 2 % водорода в кислороде;
- Предел допускаемой основной абсолютной погрешности $\pm 0,05$ при измерении объемной доли водорода в кислороде при нормальных условиях;
- Температура окружающего воздуха и анализируемой газовой смеси на входе газоанализатора 20 ± 5 °С;
- Относительная влажность окружающего воздуха от 30 до 80 %;
- Предел допускаемого времени установления показаний (уровень от установившегося значения показаний) газоанализатора с момента изменения объемной доли измеряемого компонента на входе датчика не более 30 с;
- Газоанализатор выдает сигнализацию о достижении двух заранее установленных значений содержания измеряемого компонента анализируемой газовой смеси, находящихся в диапазоне от 10 до 90 % шкалы;
- Газоанализатор выдает сигнал «НЕИСПРАВНОСТЬ» при обрыве или перегорании чувствительного элемента; Газоанализатор ГТХ состоит из:
 - Датчика ДТХ-120; – блока питания и сигнализации БПС - 120–01;
 - Потенциометра самопишущего прибора КСУ2 - 068–01.

Измерительная информация выдается потенциометром в виде отсчета по шкале регистрации результатов измерения на диаграммной ленте и световой сигнализации.

Конструкция оболочки датчика ДТХ-120 обеспечивает степень защиты IP40 по ГОСТ 14254–96, что позволяет эксплуатировать его во взрывоопасных зонах В1б по классификации ПУЭ.

Газоанализатор для измерения содержания водорода в воздухе - ТП1116У4. Газоанализатор ТП1116У4 предназначен для измерения объемной концентрации водорода вне взрывоопасного помещения в пределах от 0 до 5 об. % поочередно в четырех различных точках (помещениях) и сигнализации о достижении двух из данных предельных значений концентрации водорода. Выход газоанализатора - автоматический самопишущий прибор на базе КСМ - 2–024.

Газоанализаторы могут использоваться при следующих рабочих условиях:

- Напряжение питания 220 В; – частота сети 50 или 60 Гц;
- Расстояние от точки отбора до газоанализатора по длине газового тракта не более 25 м; Технические данные газоанализатора ТП1116:
- Предел допускаемой основной погрешности газоанализатора не превышает 0,125 об. % концентрации водорода;
- Величины изменений показаний газоанализатора не превышает следующих значений:

Газоанализатор обеспечивает включение сигнализации при достижении концентрацией водорода с точностью допускаемой основной погрешности.

Газоанализатор для измерения содержания кислорода в водороде - ТПП1120. По своим характеристикам идентичен ТПП1116, отличие лишь в характере измеряемого газа.

Контроль давления осуществляется следующими приборами:

- Давление воды на охлаждение тиристорного агрегата - электроконтактным манометром ЭКМ - 1У, диапазон измерения $0 \div 16 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$, класс точности 1,5;

– Давление водорода в магистрали, идущей на ресивере - электроконтактным манометром ВЭ-16 Рб, диапазон измерения $0 \div 40 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$, класс точности 1,5;

– Визуально давление водорода, азота на отдельных участках трубопроводов, ресиверах - манометрами МТП -110 и МП - 4 - УУ2. Температура контролируется:

– Визуально с помощью ртутных термометров - температура выходящей смеси газов и электролита;

– С помощью термосопротивления ТСМ и прибора КСМ2 - температура циркулирующего электролита с записью показания приборов на бумажную ленту.

Датчиком разности давлений H_2 и O_2 служит прибор Метран 22 - ДД. Паспортные данные:

– Диапазон измерений – максимальное давление $0 \div 40 \text{ кПа}$ 25 МПа

– Выходной сигнал $0 \div 20 \text{ мА}$ – напряжение питания 36 В

Датчики давления «Метран-22» предназначены для непрерывного преобразования значения измеряемого параметра - разности давлений газов в унифицированный выходной токовый сигнал дистанционной передачи.

2 МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ

2.1 Характеристика нового оборудования

2.1.1 Основные моменты модернизации

Электролизная установка СЭУ-10-2 морально устарела и требуется модернизация её составных частей, так как выпуск комплектующих в текущий момент времени просто не производится.

Рассмотрим генератор водорода Титан НМХТ-200 со встроенной системой очистки и осушки газа от ООО «Элком». Производительность данной установки водорода 11,2 м³/час. Произведен же данный генератор компанией Teledyne Energy Systems Inc. (США), что не попадает под цель работы – импортозамещение [24].

Также рассмотрим генераторы водорода от компании «Поликом» серии В. Конструкция позволяет производить водород от 15 до 20 м³/час используя PEM-технологию. Данное решение подразумевает отказ от электролита в стороны протонообменной мембраны. Это значительно обезопасит процесс производства, установка без использования электролита не имеет признаков ОПО (опасный производственный объект) и произведенный газ не имеет примесь, кроме паров воды [25]. Основные минусы данного решения включают высокую стоимость, особенно для мембран на основе Nafion, а также проблемы с дегидратацией при высоких температурах и утечкой кислорода. Кроме того, некоторые альтернативные мембраны, такие как сульфированные полиэфирсульфоны, могут обладать высокой степенью набухания и низкой механической прочностью при повышении температуры, что негативно сказывается на их долговечности и эффективности. Также хотя данные мембраны и показывают хорошие характеристики в начале испытаний, могут иметь ограниченный срок службы [26, 27].

Поэтому было принято решение заменить установку на СЭУ-20-2. Данное решение значительно выгоднее по сравнению с остальными. Заменить потребуется только электролизёр. Выработка водорода повысится в 2 раза [16]. Чертёж СЭУ-20-2 показан на рисунке 3.

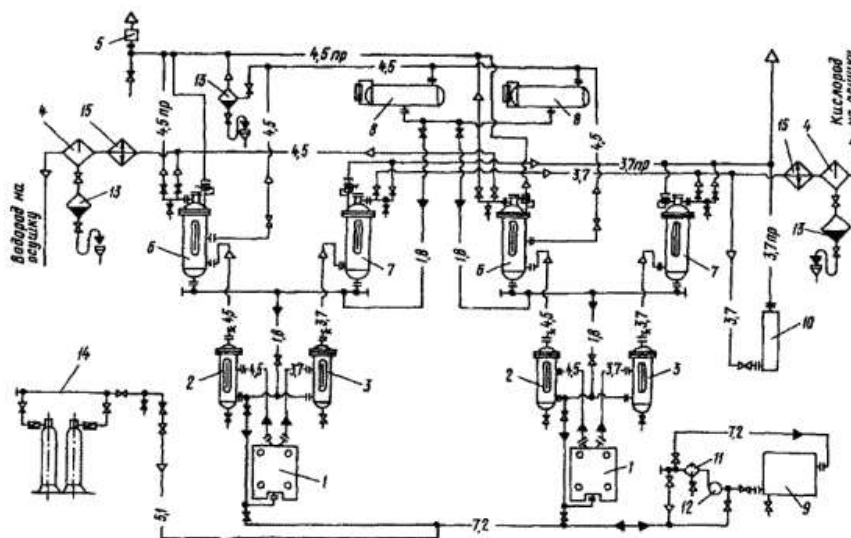


Рисунок 3 - Технологическая схема ЭУ СЭУ-20-2 с совмещенными регуляторами-промывателями

2.1.2 Подбор датчика температуры электролита

В электролизере СЭУ-20-2 датчик температуры электролита должен контролировать рабочую температуру, которая составляет $85 \pm 5^\circ\text{C}$ [3]. Это критически важный параметр, так как от температуры электролита зависит эффективность процесса электролиза и качество получаемых газов (водорода и кислорода).

Установка относится ко 2-му классу опасности и поэтому можем взять для работы термопару производителя WIKA TC10-B с удлинительной шейкой с контргайкой для присоединения к головке. Диаметр 14 x 2,5 мм и соединение с защитной гильзой - крепежная резьба. Защитная гильза модели TW 95.10 [2, 23].

Также рассмотрим термопару ТП-А-2488-1, ХА производства компании «Promelectrica». Диапазон измерения составляет от -40 °С до 400 °С. Внешний диаметр термопары 4,6 мм, крепёж М12×1,5 [18].

Остановимся на термопаре проволоочной с коммутационной головкой EXIA – ДТП095К-0110.100.EXI-T4 производство компанией ОВЕН. Модель 095 с подпружиненным штуцером и длиной монтажной чисти 100 миллиметров, изолированным рабочим спаем относительно корпуса, взрывозащитным исполнением «EXI», температура не более 130 °С [22]. Схема внутренних соединений проводов датчика показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Схема внутренних соединений проводов датчика

Основные технические данные приведены в таблице 4 [22].

Таблица 4 – Основные технические данные газоаналитической системы

Параметр	Значение
1	2
Номинальная статическая характеристика	Хромель-алюмель
Диапазон измерений температуры	От -40 °С до +800 °С
Количество контактов	4-пин
Максимальное рабочее давление	160 бар

1	2
Минимальное рабочее давление	2,5 бар
Класс защиты	IP54
Класс допуска датчика	2

2.1.3 Подбор датчика температуры газа

Рассмотрим термопреобразователь сопротивления платиновом ТСП-101-100-Р-01-В-4-150. Данные условные обозначения означают, что модель датчика 101, длина погружной части 100 м, с монтажной гайкой, Pt100, класс допуска В, схема подключения 4-х проводная, предел измерения от -50 до 150 градусов цельсия [8]. Откажемся от данного решения по причине не обоснованного использования драгоценного металла, так как на него учёт.

Для контроля температуры кислорода и водорода в электролизной установке мы возьмём термопреобразователь сопротивления от компании «ОВЕН» ДТС065-100М.В.ВЗ.100.ЕХI.Т4. Это значит, что модель датчика 065, класс допуска В, с трёхпроводной схемой соединения, длиной погружной части 100 мм, диапазон измерения до 130 °С [1, 21].

Таких датчиков понадобится 3 штуки. Первый и второй датчик будут контролировать температуру выходящих кислорода и водорода из регуляторов-промывателей газа. Третий будет следить за температурой выходящего из установки водорода. Схема Рекомендация по подключению датчика указана на рисунке 5.

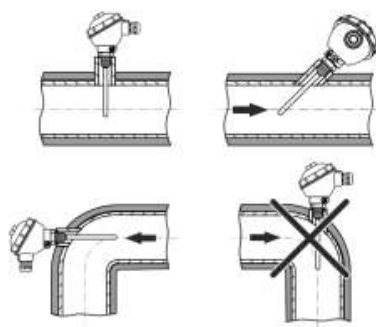


Рисунок 5 – Рекомендации по подключению датчика

Основные технические данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные технические данные термопреобразователя сопротивления ДТС065 [21].

Параметр	Значение
Номинальная статическая характеристика	100М
класс допуска В, °С	-50 до 180
Условное давление, МПа	0,1-6,3
Количество чувствительных элементов	2
Схема соединения чувствительного элемента	2-х проводная
Степень защиты	IP54
Средний срок службы	не менее 10 лет

2.1.4 Подбор газоанализатора

В больших объемах взрывоопасная концентрация водорода в кислороде не должна превышать 2%, поэтому при работе с большими объемами водорода (помещения, цеха) нужно быть особенно осторожным [4]. Два датчика азота будут установлены после гидрозатвора для контроля за концентрацией выходящей газовой смеси. Как только уровень азота будет равен 99% следует закрыть азотную рампу и подать напряжение на электролизер. Теперь третий и четвертый датчик кислорода и водорода соответственно будут следить за чистотой выходящих газов при продувке. Пятый и шестой необходимы для контроля содержания водорода в кислороде и кислорода в водороде. Седьмой будет установлен в помещении электролизной установки и будет следить за уровнем водорода, тем самым исключая возможность разгерметизации СЭУ [2].

Для работы можем взять газоанализатор универсальный СИГМА-03 для непрерывного контроля за концентрацией газов. Подключить к ПЛК можно по интерфейсу RS-485 [10].

Также обратим внимание на датчики-газоанализаторы ССС-903М во взрывозащищенной оболочке со сменными фильтрами. Его можно было взять для контроля за содержанием водорода в кислороде и продувочного водорода [4, 16].

Следить за концентрацией водорода, кислорода и азота будет газоаналитическая система Сенсон-СД-7031 с модулями Сенсон-СМ-9001 для азота, водорода и кислорода [9]. Схема подключения показана на рисунке 6.

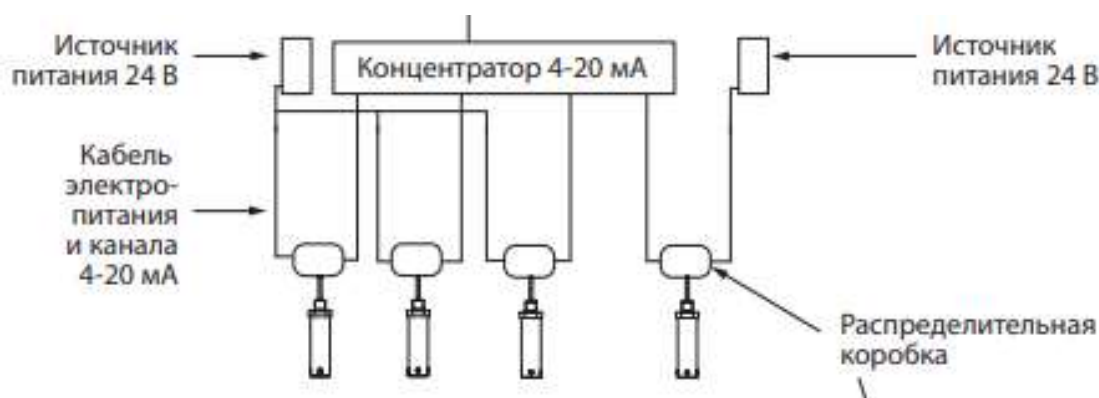


Рисунок 6 – Схема подключения датчиков Сенсон

Основные технические данные приведены в таблице 6 [9].

Таблица 6 – Основные технические данные газоаналитической системы

Параметр	Значение
Напряжение электропитания, В	24
Давление, кПа	80-104
Способ отбора проб	Диффузионный
Степень защиты корпуса от внешних воздействий	IP66/IP67
Интерфейсы	4-20мА, RS-485 MODBUS RTU

2.1.5 Подбор датчика давлений

Принцип действия датчика дифференциального давления (датчика перепада давления) заключается в измерении разности давлений между двумя полостями сенсора – плюсовой и минусовой. С помощью применения сужающих устройств можно измерять расход среды. Расположенное на трубопроводе сужающее устройство, создает препятствие потоку жидкости или газа. Перед зауженным участком трубы давление потока возрастает, а после него – снижается [6]. Чем больше будет разность показаний на входе и выходе, тем выше будет расход. Такие приборы также известны, как датчики разности или перепада давления.

Можно взять датчик дифференциального давления от компании «Росма» модели РПД-Д (0–2 МПа) (4–20 мА) 2хG. 0,5. Данная карта заказа обозначает, что диапазон измерения от 0 до 2 мПа с выходным сигналом 4–20 мА, резьба присоединения M20×1,5 и класс точности 0,5 [28]. Откажемся от данного решения по причине отсутствия взрывозащищенности и вибростойкости.

Для данной работы возьмём датчик дифференциального давления ЭМИС-БАР 153-Н7 – ExiaB-(0–100) mPa-0,065%–SS1–1/4F–Al–MS–M1–ГП. Данное заполнение формы означает заказ на датчик дифференциального давления, фланцевое исполнение, выходным сигналом 4–20 мА, отсутствие преобразователя-передатчика HART-LoRaWAN в комплекте поставки, искробезопасность цепи класса В, диапазон измерения от 0 до 100 мПа, основная приведенная погрешность 0,065%, материал мембраны нержавеющая сталь 316L, присоединение к процессу во фланце 1/4NPT внутренняя резьба, – корпус электронного блока из алюминия, в комплекте с заглушкой из никелированной латуни, кабельный ввод под небронированный кабель из никелированной латуни, диаметр обжатия кабеля от 6 до 12 мм, резьба под кабельный ввод M20x1,5, государственная поверка [5]. Схема подключения показана на рисунке 7.

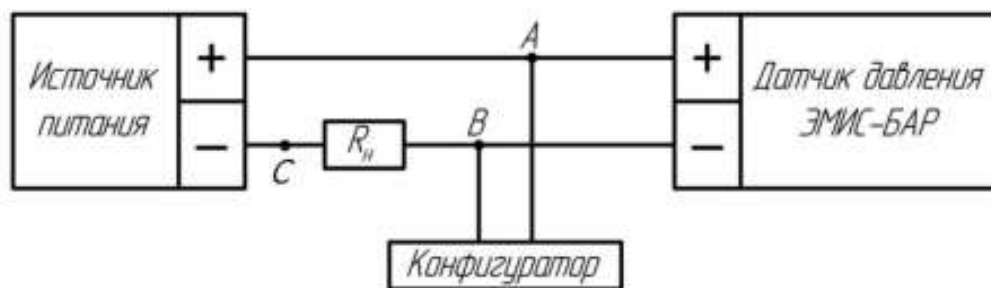


Рисунок 7 – Схема подключения датчика давления ЭМИС-БАР 153

Основные технические данные приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Основные технические данные датчика дифференциального давления [5].

Параметр	Значение
Измеряемая среда	Газ, Жидкость, Пар
Спец. исполнение	Водородное, Высокотемпературное, Кислородное, Криогенное, Морское, Пищевое, Рудничное, Сероводородное, Хлорное
Взрывозащита	1Ex d IIC T6...T4 Gb X; 1Ex d ia IIC T6...T4 Gb X; 0Ex ia IIB T6...T4 Ga X; 0Ex ia IIC T6...T4 Ga X; PO Ex ia I Ma X; PB Ex d I Mb X; PB Ex d ia I Mb X
Погрешность, %	$\pm 0,065$
Температура измеряемой среды, °C	-90 - +700
Напряжение питания, В	10,5 - 45
Выходные сигналы, мА	4-20
Вибростойкость	G2
Пылевлагозащита	IP68

2.1.6 Датчик перепада давлений двух сред

Для примера возьмём высококачественный датчик давления с мембранным разделением от компании «WIKA». Системы мембранных разделителей используются для защиты средств измерения давления от агрессивной, налипающей, кристаллизующейся, коррозионной, вязкой, экологически опасной или ядовитой среды. Мембрана, выполненная из нержавеющей стали, обеспечивает разделение с измеряемой средой. К чувствительному элементу давление передается через гидрозаполнение, находящееся внутри системы мембранного разделителя. Причина отказа от данного решения – импортозамещение [23].

Для контроля перепада давлений между регуляторами-промывателями газов в системе возьмём датчики давления ЭМИС-БАР 173 – Н7 – $(-2,5...2,5)$ мПа–0,15%–S1–CD4,0316L–ES101/01–Al–MS–M1–ГП. Данная форма означает, что датчик с разделителями сред мембранный, выходной сигнал 4–20мА, диапазон измерения от -2,5 до 2,5 мПа, основная приведенная погрешность 0,15%, материал мембраны нержавеющая сталь, размер фланца DN80, тип фланца DIN EN 1092–1 PN 25/40, максимальное допустимое давление 4 МПа, тип фланцевого уплотнения соединительный выступ, фланец из нержавеющей сталь 316L, заполняющая жидкость капиллярных линий силиконовое масло, рабочая температура жидкости от минус 63 до 320 градусов цельсия, корпус электронного блока из алюминия, в комплекте с заглушкой из никелированной латуни, кабельный ввод под небронированный кабель из никелированной латуни, диаметр обжатия кабеля от 6 до 12 мм, резьба под кабельный ввод M20x1,5, государственная поверка [5].

Это оптимальное решение для химически агрессивных сред и необходимость обеспечения технологической промывки рабочей среды, а это возможно с применением промывочных колец различных конфигураций по геометрии и материальному исполнению. Схема подключения датчика будет аналогично рисунку 7.

Основные технические данные приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Основные технические данные мембранного датчика давления [5].

Параметр	Значение
Измеряемая среда	Газ
Спец. исполнение	Водородное, Высокотемпературное, Кислородное,
Взрывозащита	1Ex d
Погрешность, %	$\pm 0,15$
Диапазон измерения, МПа	$\pm 2,5$
Температура измеряемой среды, °C	-90 - +700
Напряжение питания, В	10,5 - 45
Выходные сигналы, мА	4-20
Вибростойкость	G2
Пылевлагозащита	IP68

2.1.7 Вторичный преобразователь

Вторичный преобразователь будет использоваться для вывода 4–20 мА от датчиков термосопротивления и термопары. Для данной работы возьмём НПТ-2 производства компании «ОВЕН» нормирующий преобразователь для термометров сопротивления и термопары в головку датчика [29]. Схема подключения для 2, 3 и 4 проводного датчика показано на рисунке 8.

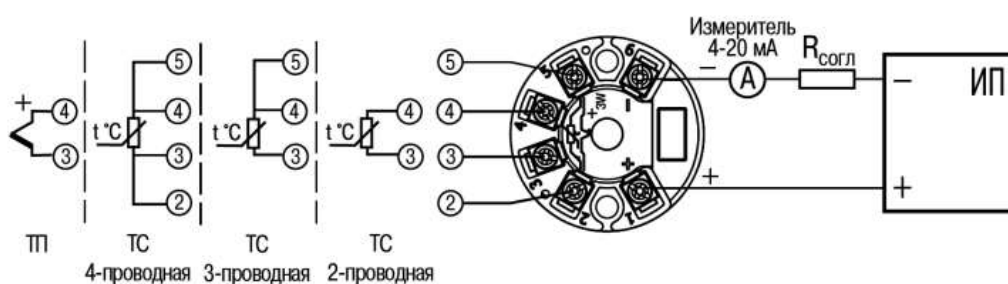


Рисунок 8 – Схема подключения датчика НПТ-2

Основные технические данные приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Основные технические данные вторичного преобразователя НПТ-2 [29].

Технические характеристики	НПТ-2
Номинальное значение напряжения питания постоянного тока, В	24
Диапазон допустимых напряжений питания постоянного тока, В	12-36
Тип подключения питания	От цепи выходного сигнала 4...20 мА
Схема подключения ТС	2-w
Выходной сигнал при аварии на входе (обрыв или КЗ датчика)	20–24 мА
Степень защиты корпуса	IP40
Диапазон рабочих температур, °С	От -40 до +85

2.1.8 Датчик уровня

Рассмотрим вариант использования радарного датчика уровня LR3000 от компании «IFM Electronic». Устройство работает от источника электропитания 18–30 DC. Подключение производится через G 3/4. Для интеграции в систему предусмотрен коммутационный сигнал; аналоговый сигнал; IO-Link. Тип выхода – PNP. Наличие интерфейса IO-Link обеспечивает быструю настройку оборудования и ввод в эксплуатацию [19].

Для контроля уровня электролита в СЭУ оптимальным решением в данной работе будет использование радарного уровнемера МПУ-Р. Датчик использует принцип радиолокатора непрерывного излучения с частотной модуляцией (FMCW). Сигнал передается через антенну уровнемера МПУ-Р, отра-

жается средой и принимается антенной в виде эхо-сигналов с разными частотами. Изменение частоты пропорционально расстоянию и конвертируется в значение уровня [30].

Для данной работы возьмём радарный уровнемер первого исполнения для агрессивных сред. Принцип действия показан на рисунке 9.

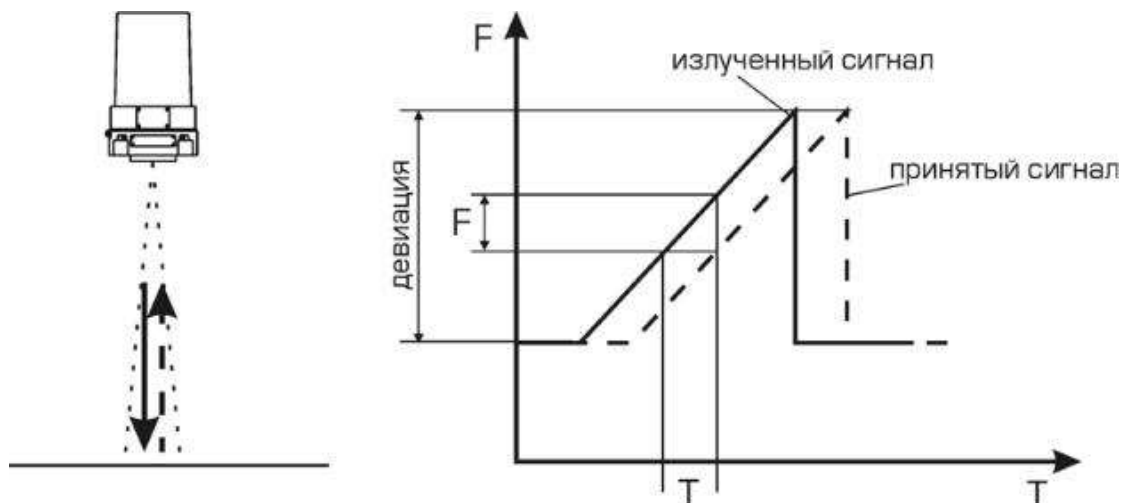


Рисунок 9 – Принцип действия радарного уровнемера МПУ-Р 26 ГГц

Основные технические данные приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Основные технические данные радарного уровнемера МПУ-Р 26 ГГц [30].

Параметры	Значение
1	2
Точность, мм	± 10
Выходной сигнал (цифровой протокол)	4...20 мА, RS-485
Питание	2-проводная система: 24 В DC
Рабочее давление, МПа	1,6
Измеряемая среда	вредные вещества, жидкости, измерения в условиях сильной запыленности.

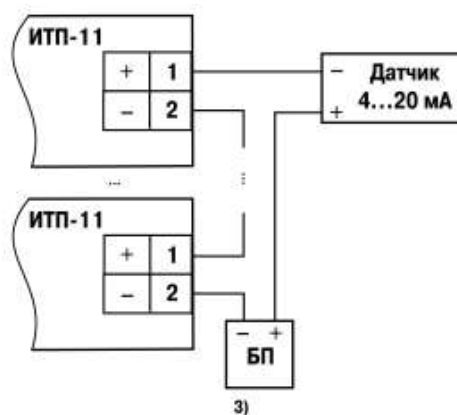


Рисунок 11 – Схема подключения нескольких приборов к пассивному источнику 4...20 мА

Основные технические данные приведены в таблице 11

Таблица 11 – Основные технические данные измеритель токовой петли ИТП-11. Щ9 [23].

Информирование об авариях	Мигание индикатора при входе измеряемой величины в критическую зону
Напряжение питания	Токовая петля датчика 4...20 мА, не более 4 В
Количество каналов измерения	1
Тип входного сигнала, мА	4-20
Рабочая температура, °С	-40 до +80
Средняя наработка на отказ	100 000 ч

2.2 Выбор контроллера

Для данной работы мы возьмём программируемый логический контроллер Элара «ELICONT-200».

Контроллер «ELICONT-200» предназначен для создания системы управления распределенной АСУ ТП. Контроллеры «ELICONT-200» проектно komponуются из модульных элементов. Проектная компоновка обеспечивает Контроллеру «El-200» аппаратную структуру, предназначенную для выполнения

конкретных функциональных задач. Возможности проектной компоновки позволяют рационально использовать аппаратные средства Контроллера «Е1-200» [7].

Перечень модулей для компоновки: два модуля аналогового выхода AL201-00, два модуля дискретных выходов DO202, два модуля питания 220В DC PS202, блок коммутации электропитания 220В, модуль центрального процессора CP201, модуль связи с крейтом расширения IM201, модуль питания 24В DC, два коммутатора CP201, выходной интерфейс TAI02.

Схема подключения датчиков к модулю AI201-00 с питанием от модуля по токовой петле показано на рисунке 12.

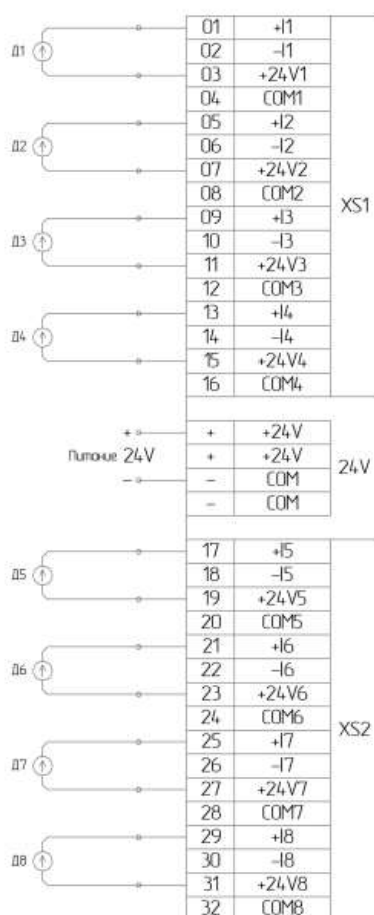


Рисунок 12 – Схема подключения датчиков к модулю AI201-00 с питанием от модуля по токовой петле

Схема подключения датчиков к модулю дискретных входов DO202 показана на рисунке 13.

2.3 Создание функциональной схемы

Для безопасной работы электролизной установки необходимы датчики и расположение каждого строго закреплено. В ходе работы было выбрано оборудование и теперь следует расположить его на функциональной схеме.

Радарный уровнемер следует расположить на крышке бака для щелочи под углом 90 градусов для правильного определения объема жидкости. Дальше сигнал 4–20 мА пустим на вторичный преобразователь для вывода информации на щит и ПЛК.

Все остальные датчики будут подключены по такому же принципу. Сигнал будет поступать на вторичные преобразователи (датчик термосопротивления и термопара), а уже потом на щит и ПЛК.

Итог создания функциональной схемы показан в Приложении В.

2.4 Создание полной электрической схемы

В ходе работы было выбрано оборудование и теперь следует составить полную электрическую схему. В таблице 12 приведён полный список датчиков с условным обозначением, как на схемах.

Таблица 12 – Используемые датчики

Условное обозначение	Кол-во	Датчик
1	2	3
TE	1	Термопара ДТПК065
TE	3	Термосопротивление ДТС065
V	4	Нормирующий преобразователь НТП-3
TT	9	Измеритель сигнала токовой петли ИТП11
P	6	Датчик давления ЭМИС-БАР DIN19231-103
L	1	Радарный уровнемер МПУ-Р
AL	2	Модуль аналоговый входов AI201-00
DO	2	Модуль дискретных входов DO202
БП	1	Блок питания БП30Б-С

1	2	3
БП	2	Модуль питания 220В DC PS202
NS	13	ПБР-2И
МЭО	13	МЭО(Ф)-Ц
КП	1	Мультиплексор КР-HART-MUX8.M3
УВП	1	Вычислитель УВП-280Б.01
ФИЛЬТР	2	Фильтр сетевой ФС-220
PWD01	1	Блок коммутации электропитания 220В
CP201	1	Модуль центрально процессора CP201
IM201	5	Модуль связи с крейтом расширения IM201
PS201	2	Модуль питания 24В DC
Коммутатор	2	Коммутатор CP201
TAI02	1	Выходной интерфейс
Q	2	Сенсор-СМ-9001 Азот
Q	2	Сенсор-СМ-9001 Водород
Q	1	Сенсор-СМ-9001 Кислород
SF	16	Автоматический выключатель

Блок коммутации электропитания (PWD01) необходим для подключения блоков питания. В случае выключения основной линии питания он перейдет на резервную. Это обеспечит надежность системы и бесперебойную работу электролизной установки.

Модули питания (PS201) подключаются к источнику вторичного электропитания и служат для правильного распределения питания между модулями связи с крейтами расширения. Также используется их возможность подключения к резервному входному вторичному напряжению методом объединения выходов двух блоков питания через диодную развязку.

Модули связи с крейты расширения (IM201) подключены к контроллерной сети INEL. Тем самым обеспечивается информационный доступ процессора к каналам модулей связей с объектом управления (далее по тексту УСО) крейтов расширения.

Модуль центрального процессора (CP201) связан с блоками УСО посредством контроллерной сети с фирменным протоколом INEL, работающий по принципу Мастер/Слейв. Слейв шина INEL входит в состав каждого крейта расширения блока УСО [7].

Физически шина INEL между модулем процессора и коммуникационными модулями реализована кабелем Belden 8133. На последний модуль в конце шины INEL необходимо установить терминатор шины TAI02 для согласования линий связи.

Модуль дискретных выходов DO202 и аналоговых входов AL201-00 будут подключены к крейтам. Их основная задача выдавать и принимать сигнал соответственно.

Ранее (в пункте 2.1.4) была выбрана модульная газоаналитическая система «Сенсор-СМ-7031» с различными модулями для каждого газа. Каждый интеллектуальный сенсорный модуль будет подключен к аналоговому входу через 24В и 4–20 мА. Для контроля за показаниями на щит будет установлен измеритель технологических параметров ИТП-11 (условное обозначение ТТ).

Для контроля за температурой газа в электролизной системе будут установлены датчики термосопротивления ДТС065 (условное обозначение ТЕ2-ТЕ4). Их подключение будет реализовано через нормирующий преобразователь НТП-3 (условное обозначение V), а далее за контролем параметров температуры газа будет установлен ИТП-11 на щит управления.

Датчики давления ЭМИС-БАР (условное обозначение Р) будут подключены по HART протоколу. Для этого необходим мультиплексор КР-HART-MUX8.M3 (условное обозначение КР), а для вывода информации на щит будет использоваться УВП-280Б.01 (условное обозначение УВП).

Радарный уровнемер (условное обозначение L) будем подключен так же, как и датчик давления ЭМИС-БАР по HART протоколу и установлен на крышку бака для щелочи.

Сетевой фильтр ФС-220 в данной работе необходим для защиты оборудования от импульсов тока и перенапряжения сети. Подключение будет между сетью и блоком коммутации электропитания.

К дискретным выходам модулей DO202 (условное обозначение DO) будут подключены ПБР-2И (условное обозначение NS). ПБР-2И в свою очередь подключены к МЭО.

Запорно-регулирующая арматура в данной работе служит для правильного направления движения газа или жидкости по системе электролизной установки. При продувке азотом следует перекрыть выход водорода на осушитель, а пустить его через гидрозатвор наружу. После того как в системе уровень азота будет 99% следует перекрыть подачу из азотной рампы и пустить электролит и воду в электролизёр. После того как в системе СЭУ уровень выходящего водорода станет 99%, а кислорода – 98%, следует перекрыть подачу водорода на гидрозатвор и пустить на холодильник, а в дальнейшем и на потребителя.

Для правильного электролиз воды нужен электролизёр. Как бы ни старалась разделительная колонка и разделитель-увлажнитель, электролит всё равно уходит вместе с газом. Если давление в системе подачи электролита упадёт, то следует открыть подачу электролита из бака для щелочи. После нормализации следует выключить насос и перекрыть подачу.

Итог работы показан в приложении В.

3 ПРОГРАММНОЕ РЕШЕНИЕ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1 Выбор SCADA системы

Для диспетчерского управления и сбора данных существует специальное программное обеспечение – SCADA система. Она позволяет решать задачи системных интеграторов наиболее экономичным и быстрым способом.

Для программирования контроллеров «Эликонт» существует SCADA система программно-технический комплекс (далее по тексту ПТК) «СУРА», разработанная компанией Элара. В функционал данной системы входит возможность хранения базы данных и отчётов в программы MS Office, отображение архивных данных на графиках и мнемосхемах в режиме видеомэгнитофона [12]. Особенностью данной SCADA системы является автоматическое связывание алгоритмов управления, использование цифровых моделей в программах управляющих контроллером и работа без ограничения по времени или количеству сигналов. Это и многое другое позволяет многим предприятиям использовать ПТК «СУРА» на своих проектах [7].

3.2 Создание проекта

3.2.1 Создание основных элементов проекта

Для создания проекта в ПТК «СУРА» нужно зайти в мастер баз данных и нажать кнопку добавить. В диалогом окне нужно выбрать сервер, в нашем случае сервером будет компьютер. После добавления сервера создаём папку, а в ней наш проект. В настройках проекта задаём доменное имя и убираем галочки с абонентов сети, узлы и срезь, пользователь и его права [7]. В итоге наш проект создан и внешний вид диалогового окна будет выглядеть как показано на рисунке 15.

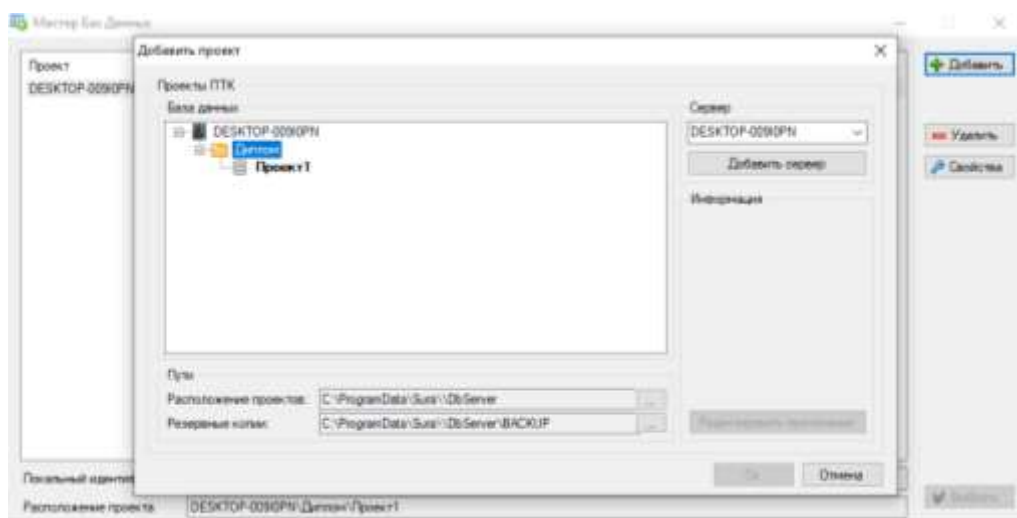


Рисунок 15 – Диалоговое окно создания проекта

Дальнейшим шагом в нашей работе будет создание основных элементов проекта. К основным элементам относятся узлы, срезы, ARM, контроллер и пользователи. Для создания нужно перейти в администрирование проекта, а далее администратор базы данных. Создадим срез с номером 1 под название «Основной» и включим экспорт в другие проекты. Диалоговое окно показано на рисунке 16.

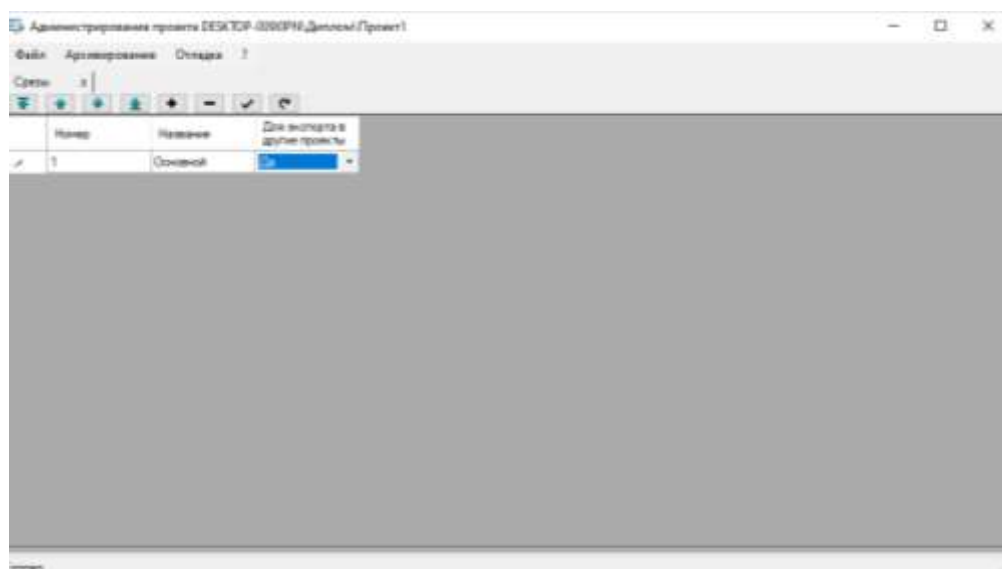


Рисунок 16 – Создание среза

Далее по аналогии создадим узел и назовём «Агрегат». Он автоматически привяжется к проекту и срезу. Следующим шагом создадим пользователей под именем «Admin», добавим описание и зададим пароль. Диалоговое окно показано на рисунке 17.

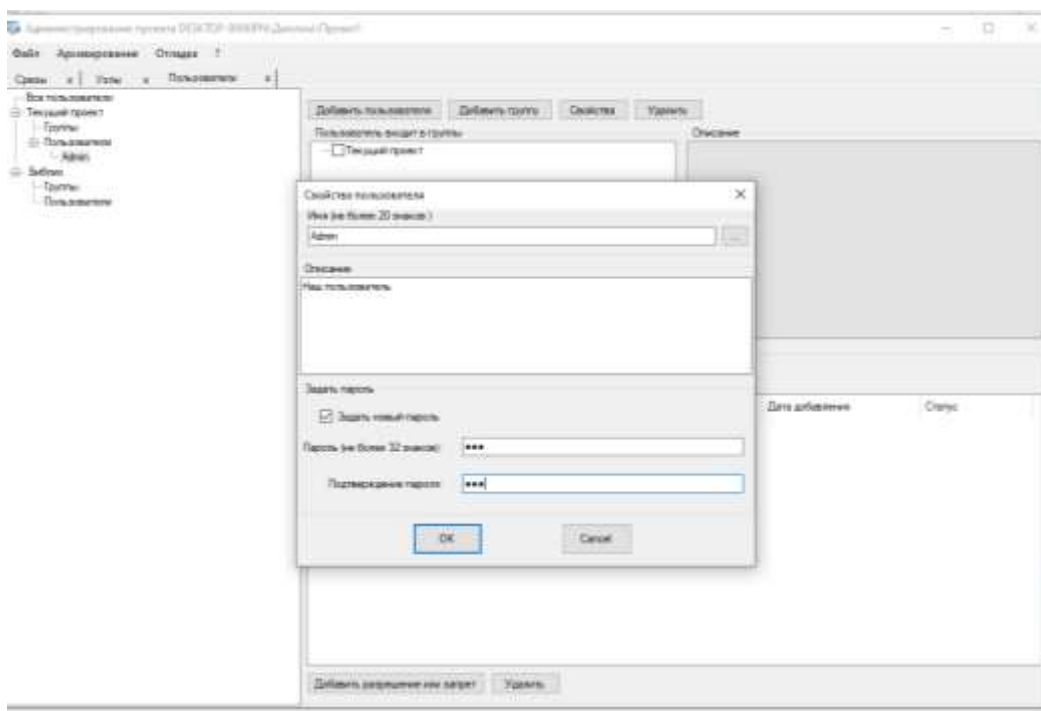


Рисунок 17 – Создание пользователя

Теперь нашему пользователю нужно дать разрешения на изменения проекта и добавить в группу текущего проекта. После этого мы закончили работу над созданием пользователя и приступим к добавлению контроллера и ARM. Следует выбрать раздел «Абоненты сети» и добавим компьютер. Зададим название «ARM», в поле «Сетевое имя» выберем «Этот компьютер», так как вся работа будет происходить на нем. Теперь зададим приложения, запускаемые на этом компьютере, а именно архивная станция, станция проектирования, моделирующий сервер и операторская станция [7]. После этого выберем наш узел «Агрегат», срез абонента сети и рабочий выберем «Основной». Теперь нажмём сохранить и выберем архивную станцию «ARM». Диалоговое окно показано на рисунке 18.

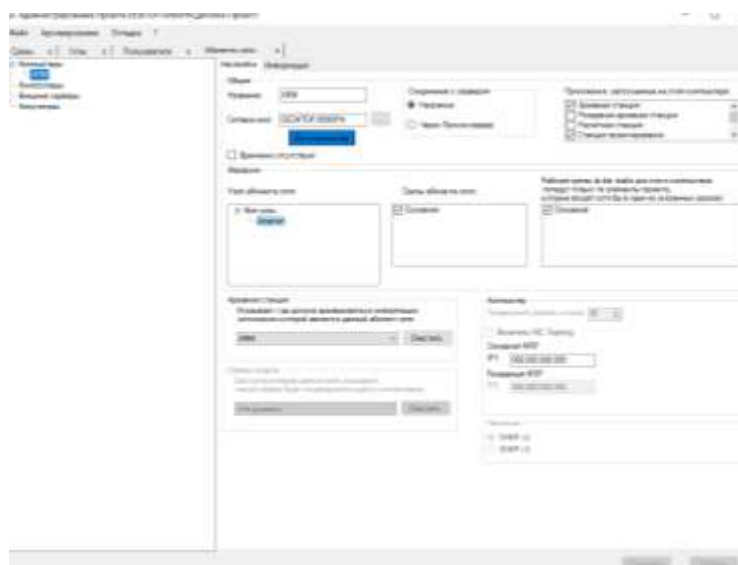


Рисунок 18 – Создание «ARM»

После создания «ARM» нужно добавить контроллер по аналогии с прошлым пунктом. Выберем «Эликон-100» модели «CP101/CP113» и назовем «Эл100». Зададим узел «Агрегат», архивную станцию и сервер модели «ARM». Укажем ip адрес все единицы. Второй ip адрес не указывает, потому что в нашем проекте он одиночный. Внешний вид диалогового окна показан на рисунке 19.

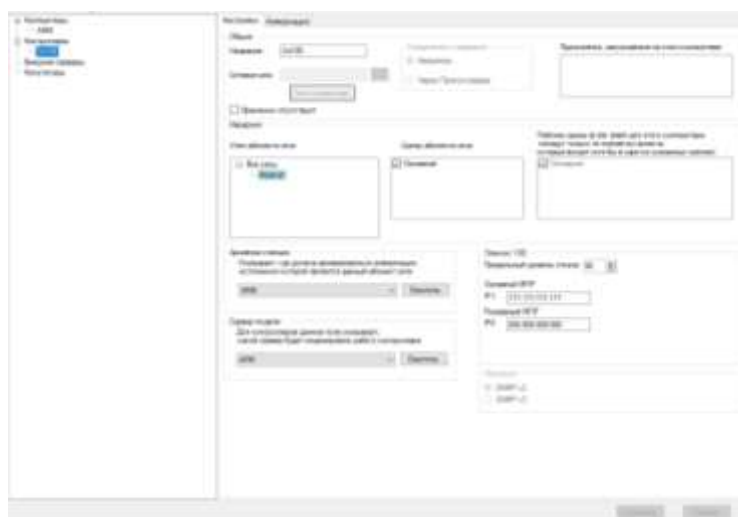


Рисунок 19 – Добавление контроллера

3.2.2 Создание объектов

В данной разделе мы займемся созданием и настройкой датчиков, запорно-регулирующей арматуры и газоанализаторов. Для этого после входа в систему вводим логин и пароль и заходим в «Базис». Для создания выберем категорию объекта, введем марку, имя и описание. Для примера возьмем насос для закачки электролита в щелочной бак. Зайдем в группу «Двигатель», создадим объект, введем марку, имя и описание. Пример показан на рисунке 20.

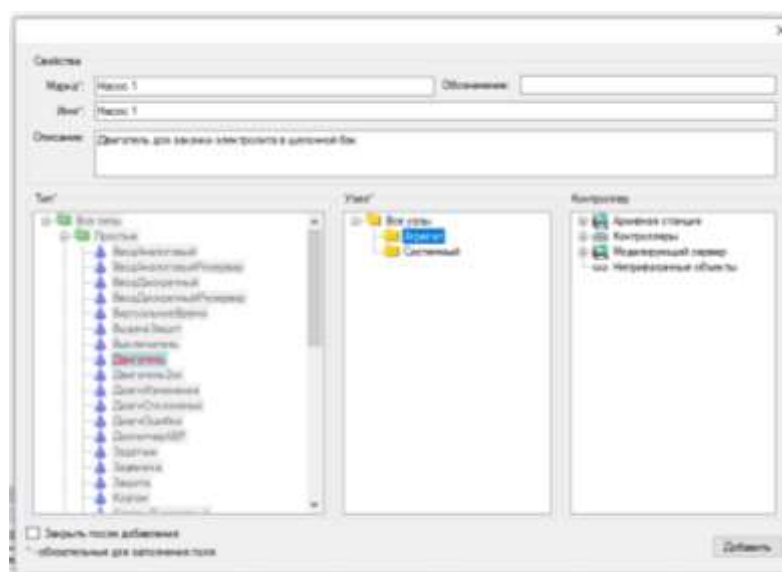


Рисунок 20 – Пример создания насоса

Аналогичным образом сделаем датчики, запорно-регулирующую арматуру, газоанализаторы и насосы.

После создания займемся настройкой датчиков уровня и давления. Для примера возьмем датчик уровня щелочного бака. В нашем проекте таких датчиков будет два. Первый будет изменять уровень для вывода информации на дисплей, а второй нужен для защиты от переполнения и в случае аварии открывать дискретный клапан слива. Допустим, что щелочной бак высотой 3 метра. В диапазоне укажем «A100» и максимум шкалы. Все остальные значения оставим без изменений. Пример настройки датчика уровня бака показан на рисунке 21.

Параметр	ИД	К.ИД	Тип датчика	Пит. датчик	Пит. датчик	Пит. датчик	Пит. датчик	Пит. датчик	Пит. датчик	Пит. датчик
Выходной датчик	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Выходной датчик	1	1	0	1	0	2	0	0	0	0
Выходной датчик	0	1	0	100	0	0	0	0	0	0

Рисунок 21 – Настройка датчика

3.2.3 Создание мнемосхемы

Рекомендуется создавать мнемосхему в отдельном узле. Переходим в «Администратор БД» и по аналогии с «Агрегатом» создаем «Системный» узел. После добавления переносим его на верхний уровень.

Для создания мнемосхемы переходим в раздел «Контур». Нажмём на крайнюю левую кнопку и создадим мнемосхему с названием «Управления». Для изменения размеров и цвета фона перейдём во вкладку «Размеры и свойства». Зададим 1200 на 800 и изменим цвет на светло серый [7]. Пример показан на рисунке 22.

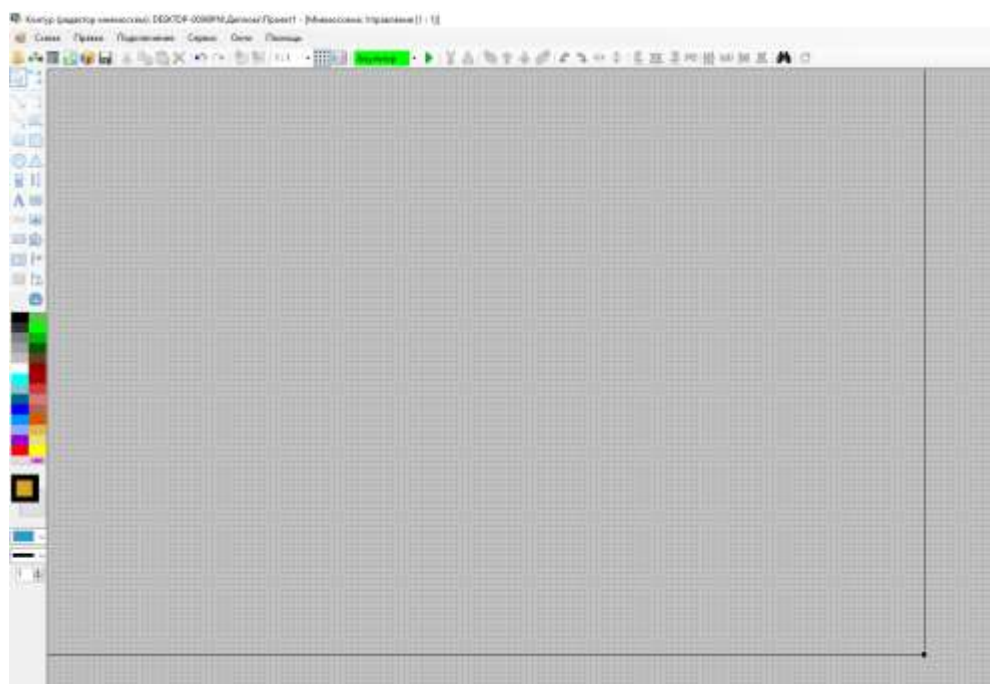


Рисунок 22 – Пример создания мнемосхемы

После создания и настройки схемы заполним ее элементами. В нашем случае необходимо создать щелочной бак, азотную рампу, электролизную

установку, диалоговое окно и показание датчиков. Для примера возьмём датчик уровня в щелочном баке. Возьмём «Столбик» и изобразим на схеме. Пример показан на рисунке 23.

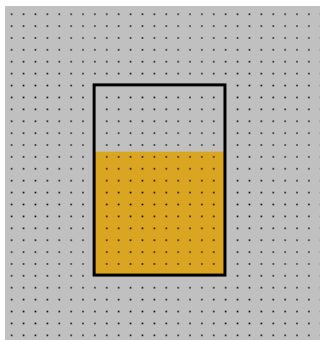


Рисунок 23 – Уровень в баке

После нанесения на схему уровня откроется диалоговое окно с выбором датчика и сигнала. В нашем случае выберем «Датчик уровня электролита» и выходной сигнал от контроллера. По примеру делаем оставшуюся часть схемы. Итог моделирования показан на рисунке 24.

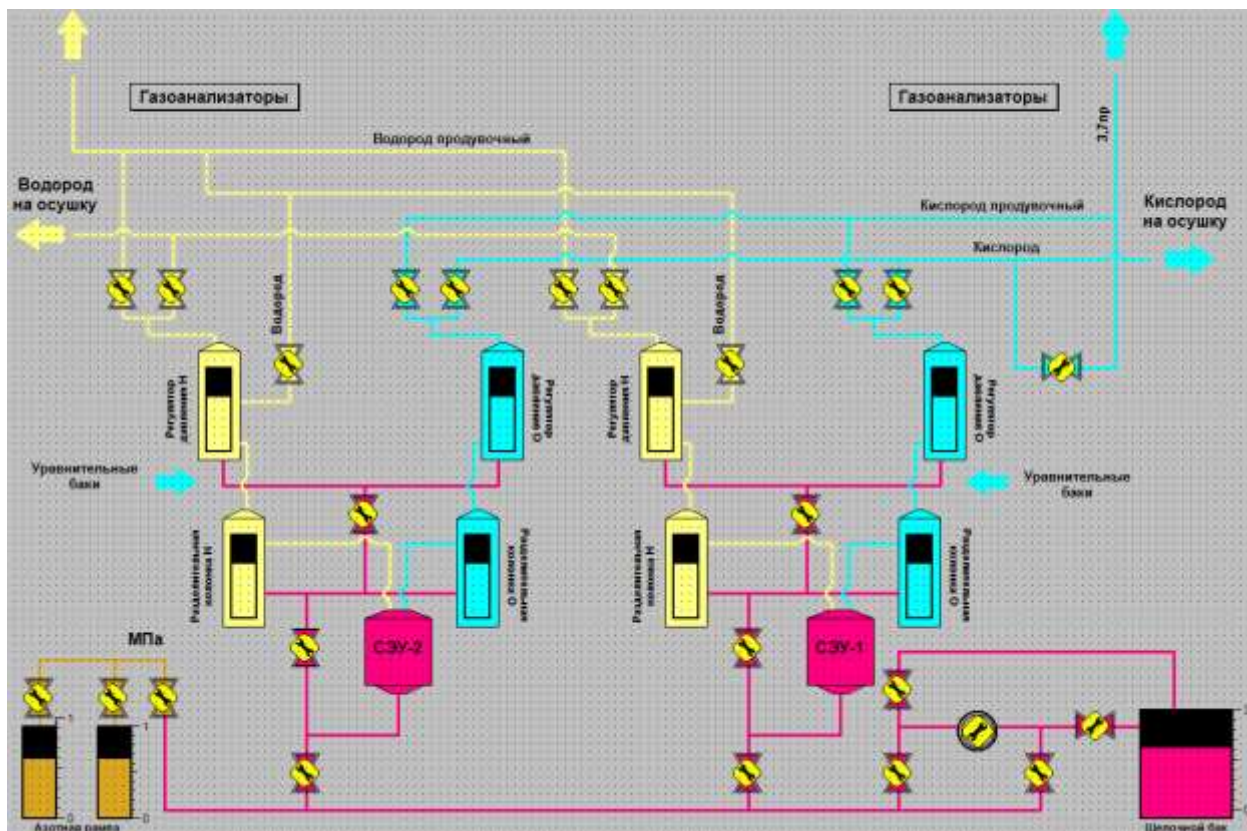


Рисунок 24 – Модель СЭУ-20-2

3.2.4 Создание и подключение контроллера

Необходимо реализовать связь контроллера с аппаратурой. Для этого зайдём в «Полис» и выберем контроллер «Эл100». В меню нажмём на «Устройства ввода-вывода» и добавим дочерние устройства, а после «СКС-11». Далее создадим крейты для подключения аппаратуры. Пример подключения показан на рисунке 25.

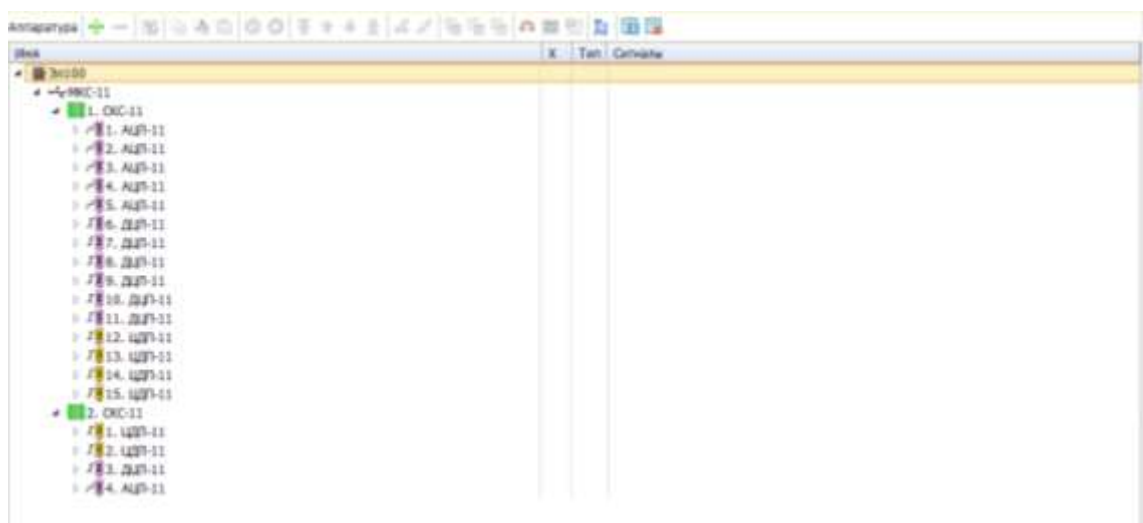


Рисунок 25 – Крейты расширения

После этого необходимо привязать сигналы по преобразователям. Перед этим выберем на канале входящий сигнал 4–20 мА [7]. Подключение датчиков уровня показано на рисунке 26.

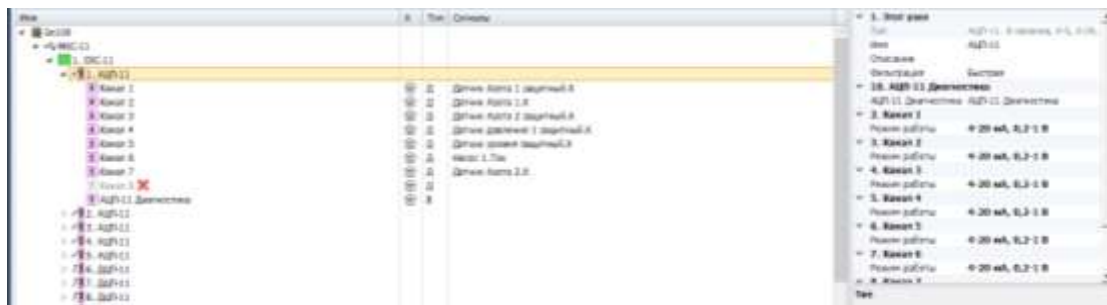


Рисунок 26 – Подключение датчиков уровня

3.3 Создание мнемосхем для аппаратов

3.3.1 Управление схемой

Теперь приступим к созданию мнемосхемы для отслеживания и управления электролизной установкой. В первой мнемосхеме реализуем управления установкой. Схема показана на рисунке 27.

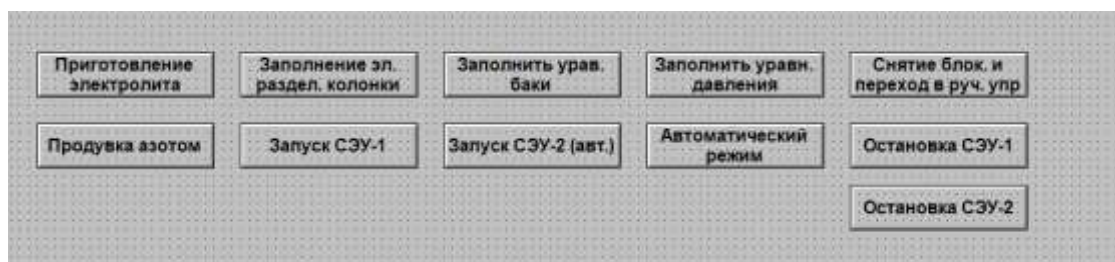


Рисунок 27 – Управление установкой

Далее необходимо создать третью мнемосхему для переключения между моделью СЭУ и управлением. Расположим её в ранее созданном узле «Системный». Изменим размеры и добавим три кнопки с текстом. Итог показан на рисунке 28.

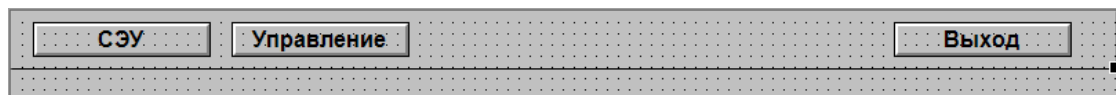


Рисунок 28 – Кнопки управления

Для настройки кнопок перейдём в рецепторы и добавим выполняемые функции. Для примера возьмём кнопку выхода. В списке рецепторов выберем закончить работу.

3.3.2 Электролизёр

Теперь создадим мнемосхему для электролизёра. В ней нужно будет задавать температуру электролита и будут показаны значения. Итог показан на рисунке 29.



Рисунок 29 – Управление электролизёров

Теперь настроим регулятор. Нам необходимо изменять температуру от 0 до 70 °C. Итог показан на рисунке 30.

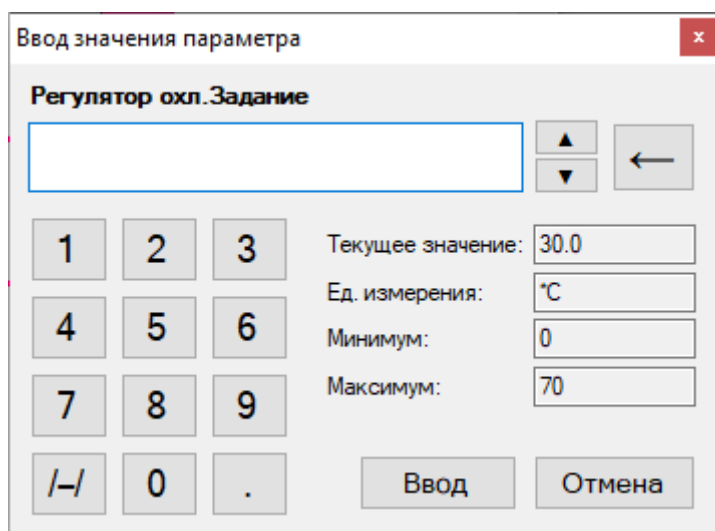


Рисунок 30 – Управление заданием

3.3.3 Газоанализаторы

После этого приступим к реализации газоанализаторов. В них необходимо показать содержание азота, водорода в кислороде и кислорода в водороде, а также температуру выходящего газа. В нашем случае таких окна будет два. Первый будет отвечать за выход кислорода и азота в атмосферу, а также содержания водорода в кислороде [3]. Итог работы показан на рисунке 31.

Содержание водорода в кислороде	%
При продувке	
Содержание азота	%
Содержание кислороде	%

Рисунок 31 – Газоанализатор кислорода

Вторая мнемосхема будет создан для контроля уровня выходящего в атмосферу водорода, азота и содержания кислорода в водороде. Итог показан на рисунке 32.

Содержание кислорода в водород	%
При продувке	
Содержание азота	%
Содержание водорода	%

Рисунок 32 – Газоанализатор водорода

3.3.4 Уравнительные баки

В данном пункте реализуем мнемосхему уравнительных баков. Переход к ним будет реализован через стрелки с надписью «Уравнительные баки». В мнемосхеме нужно будет показать уровень баков и задвижки выпуска воздуха и подачу на электролизёры. Также реализуем систему накачивания обессоленной воды в баки. Итог показан на рисунке 33.

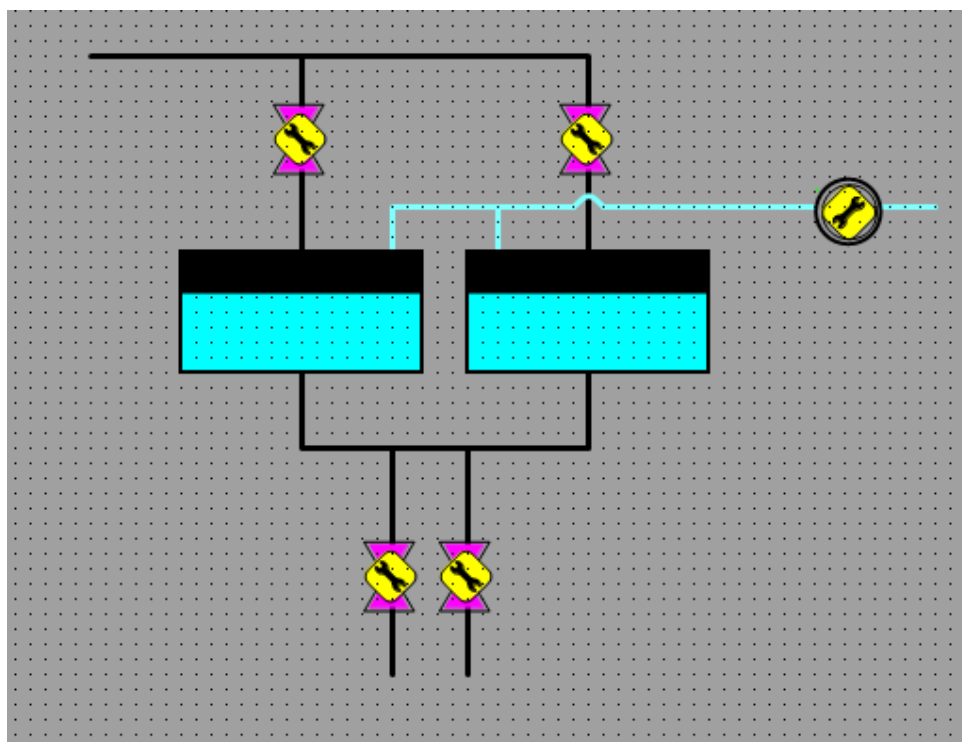


Рисунок 33 – Уравнительные баки

3.3.5 Задание на выработку

Каждая электролизная установка вырабатывает при максимальной температуры 70 °С 20 кубометров газа в час. В случае, если потребуются выработка больше, чем может одна установка, должна включиться резервная и температура в каждом электролизёре уравнивается, чтобы не перегружать оборудование. Для реализации создадим мнемосхему задания выработки водорода. Схема показана на рисунке 34.



Рисунок 34 – Задание по выработке

Итоговая SCADA-система показана в приложении Е.

3.4 Реализация алгоритмов защит

Для предотвращения аварийной ситуации и защиты оборудования от повреждения введем алгоритмы защиты. Введем следующие уставки технологической защиты: содержание водорода в кислороде не должно превышать 2 % и не равно нулю, содержание кислорода в водороде не более 1% и не равно нулю, разность давления между газами ± 2 кПа, максимальное давление водорода в аппаратах 1 МПа, температура электролита не более 70 градусов Цельсия. Алгоритм защит показан на рисунке 32.

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АСУТП

4.1 Постановка задачи

В данной главе необходимо создать модель электролизной установки с имитацией работы и систему управления. Под системой управления подразумевается запуск установки в ручном и автоматическом режиме, а также поддержания автоматическое поддержание уровня выходящего газа.

4.2 Создание технологической программы

В данном пункте необходимо проработать технологическую программу работы электролизной установки СЭУ-20-2.

4.2.1 Ручное управление

Для контроля оператором процесса или в случае выхода из строя автоматического режима необходимо создать ручное управление. Реализовано оно будет на базе кнопок для последовательного введения установки в работу. Всего кнопок будет 8. Семь будет отведено на технологические процессы, а одна на остановку установки в случае непредвиденных обстоятельств. Схема показана на рисунке 35.



Рисунок 35 – Кнопки ручного управления

4.2.2 Автоматическое управление

В данном подразделе создадим автоматическое управление электролизной установкой. Запуск процессов будет происходить последовательно, как и в ручном режиме, но некоторые все же будут объединены вместе. Ручное управление показано на рисунке 36.



Рисунок 36 – Автоматический запуск СЭУ-1

4.2.2 Приготовление электролита

Для приготовления электролита используется гидрат окиси калия ГОСТ 9285–78 или калиеволитиевый электролит ТУ 618-84-84 [17]. Для растворения щелочи раствор следует перемешивать с помощью насоса. Подведем линии связи к двигателю для запуска и откроем задвижки 1, 4. Схема показана на рисунке 37.

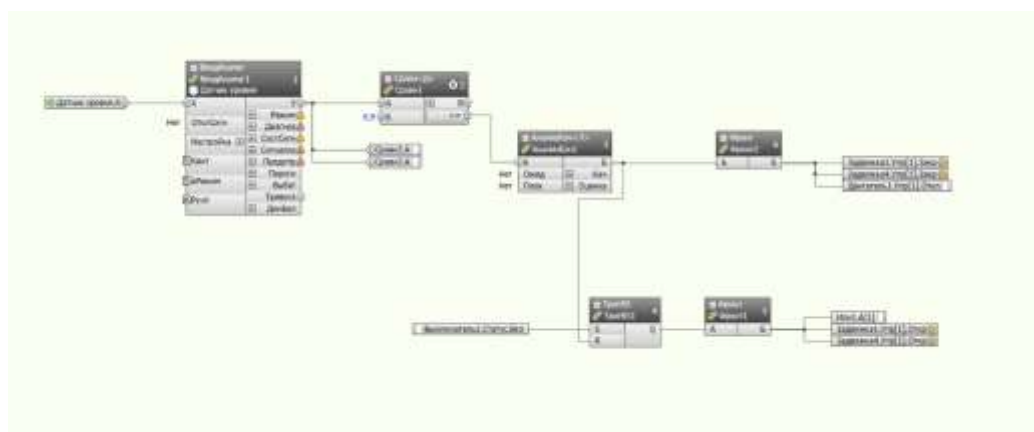


Рисунок 37 – Приготовление электролита

После заполнения щелочного бака система автоматически выключит насос и перекроет задвижки.

4.2.3 Заполнение аппаратов электролитом и обессоленной водой

В данном пункте необходимо собрать схему для перекачки электролита из бака щелочи в электролизёр и разделительные колонки до указанного уровня.

Чтобы заполнить разделительные колонки откроем задвижки 1, 3, 5 и включим насос. Также необходимо проверить наличие электролита в щелочном баке. Схема показана на рисунке 38.



Рисунок 38 – Перекачка электролита в разделительные колонки

Далее необходимо заполнить обессоленной водой уравнительные баки и регуляторы давления. Для начало следует открыть вентили выпуска воздуха 25, 26 и включим насос. Схема заполнения показана на рисунке 39.



Рисунок 39 – Схема заполнения уравнительных баков

После заполнения баков необходимо закрыть вентили 25, 26, открыть вентили выпуска воздуха из регуляторов давления 12, 22 и заполнить регуляторы до нижних меток. Затем закрыть все вентили. Схема показана на рисунке 40.



Рисунок 40 – Заполнение регуляторов давления

4.2.4 Продувка азотом аппаратов и трубопроводов

В данном пункте необходимо реализовать предпусковую продувку установки для предотвращения образования взрывоопасной смеси водорода с кислородом в аппаратах и трубопроводах. Следует собрать схему продувки на включаемом электролизёре, открыть вентили выпуска воздуха из системы, установить давления азота в рампе в пределах 0,2–0,5 МПа и продуть системы до показания газоанализаторов не менее 97 % [16]. Схема показана на рисунке 41.

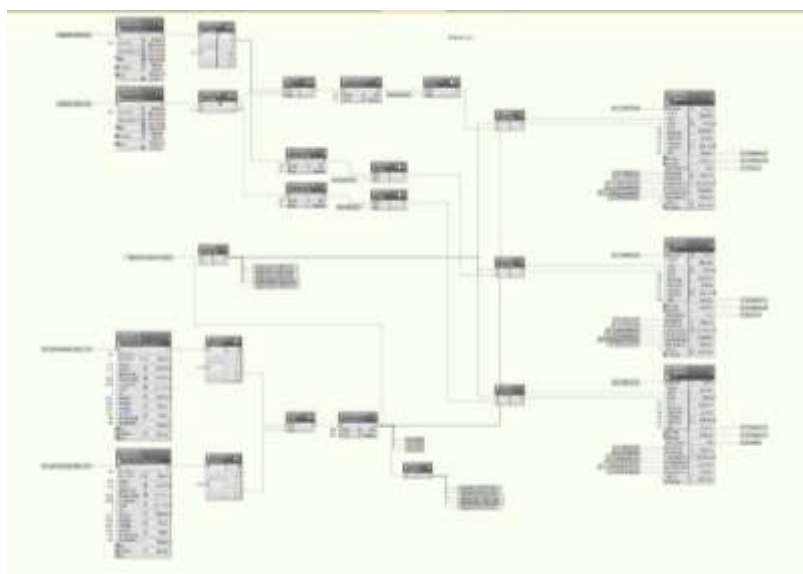


Рисунок 41 – Продувка азотом

После окончания продувки необходимо прекратить подачу азота, закрыть ранее открытые вентили, откритые при продувке.

4.2.5 Включение электролизёра

Перед включением аппарата в работу необходимо персоналу проверить уровни жидкости, полярность электролизёра, изоляцию стяжных болтов и монополярных плит. Затем подаётся напряжение на электролизёр и устанавливается ток 100 А. Через каждые 5–10 минут сила тока увеличивается на 50–100 А до достижения номинального значения 1000 А. Схема показана на рисунке 42.



Рисунок 42 – Запуск СЭУ-1

После запуска электролизёра в работу необходимо продуть установку газом до достижения значений водорода 99%, а кислорода – 98%. Затем закрываются задвижки на выпуск в атмосферу и отрывается подача на ресивер.

4.2.6 Включение второго электролизёра при работе первого

Для включения второго электролизёра в работу необходимо проверить открытие вентилей выпуска газов в атмосферу из регулятора давления включаемого электролизёра, проверить открытие вентилей входа газов в гидрозатвор, продуть включаемый электролизёр по аналогии с первым электролизёром и включить в соответствие с пунктом 3.4.5.

После повышения давления во втором электролизёре на 0,01–0,02 МПа по сравнению с первым необходимо закрыть вентили выпуска газов в атмосферу и открыть на подачу газов в рабочие коллекторы.

Второй электролизёр будет включаться в автоматическом режиме. Схема показана на рисунке 43.

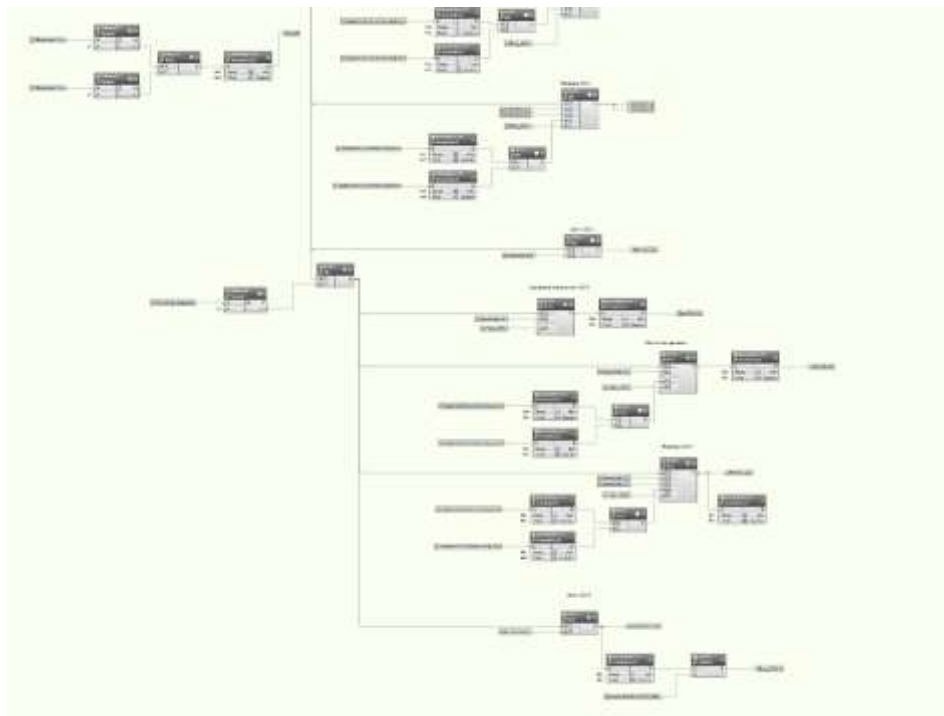


Рисунок 43 – Схема запуска СЭУ-2

Итог работы показан в Приложении Г.

4.3 Создание модели

4.3.1 Создание модели подготовки электролита

В данном пункте будет реализована модель системы подготовки электролита в щелочном баке. Для этого необходимо открыть задвижки 1, 4 и включить насос для перемешивания. В зависимости от положения арматуры будет изменяться скорость наполнения бака. Схема показана на рисунке 44.

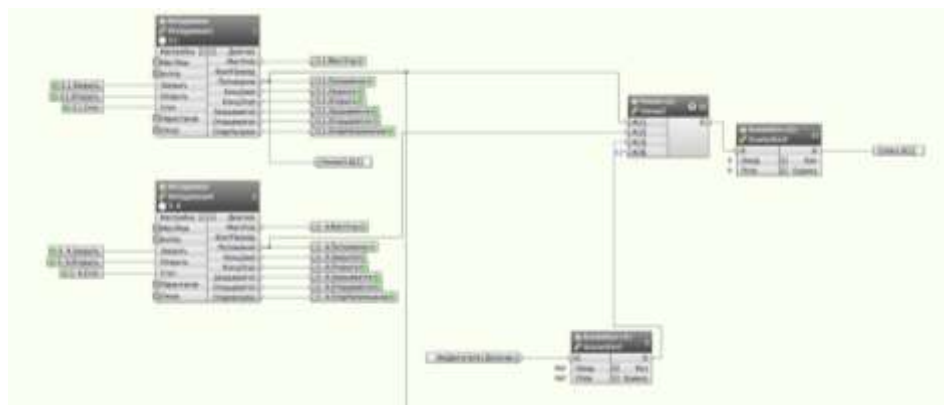


Рисунок 44 – Схема модели подготовки электролита

В данной схеме было допущено, что персоналу необходимо самостоятельно наполнить щелочной бак техническим гидратом окиси калия и после наполнения система автоматически начнёт перемешивать раствор.

4.3.2 Модель заполнение аппаратов электролитом и обессоленной водой

Необходимо собрать схему перекачки электролита из бака для щелочи в электролизёр и разделительные колонки. Насос должен прокачать электролит через фильтр до появления раствора в указателях уровня разделительной колонки. Для этого необходимо открыть задвижку 1, 3, 5 и включить насос. Модель показана на рисунке 45.

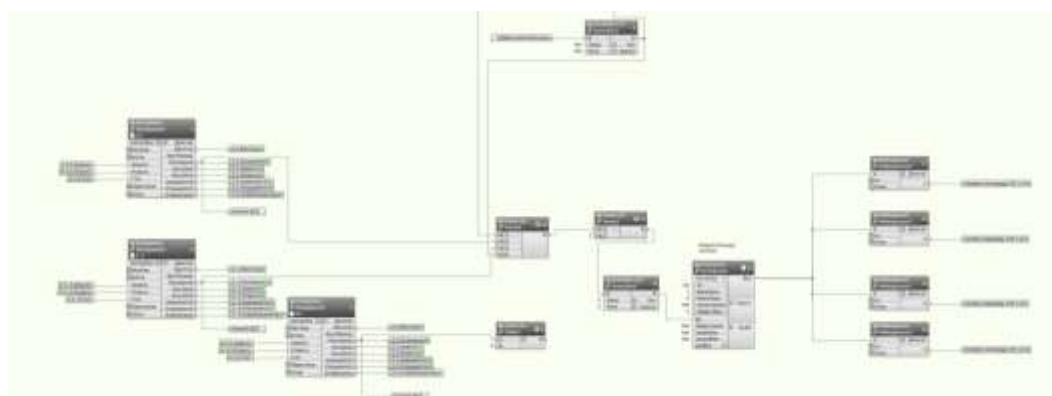


Рисунок 45 – Модель заполнения электролитом разделительных колонок

Далее необходимо реализовать модель заполнения уравнильных баков обессоленной водой. Для этого откроем задвижки выпуска воздуха 27, 28 и включим насос. После заполнения откроем 26 и 25 для заполнения регуляторов давления СЭУ-2 и СЭУ-1. Чтобы воздух не препятствовал заполнению откроем клапана 14, 15 для СЭУ-2 и 24, 21 для СЭУ-1 и будем выпускать воздух. Модель показана на рисунке 46.

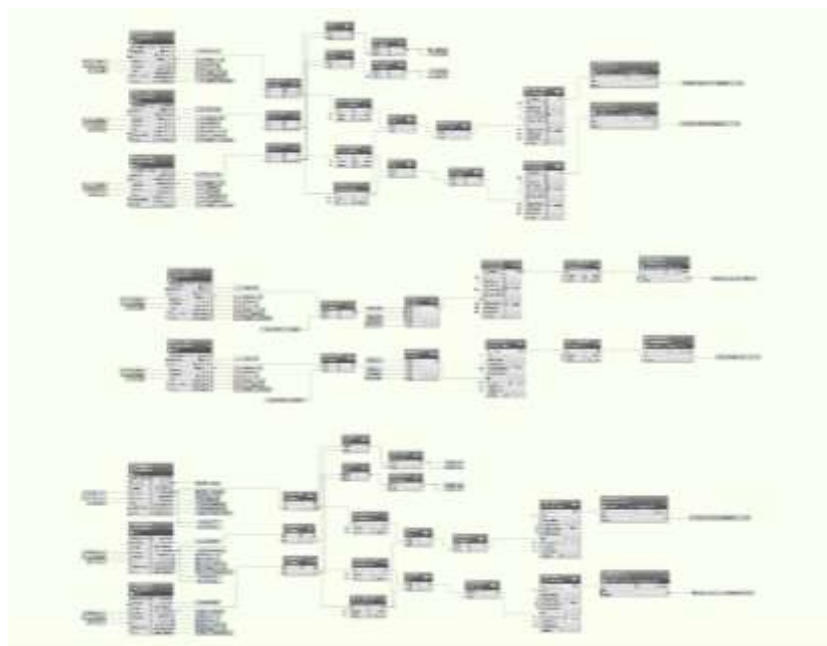


Рисунок 46 – Схема заполнения регуляторов давления обессоленной водой.

4.3.3 Модель продувки установки азотом

Для предотвращения образования взрывоопасной смеси водорода с воздухом в аппарате и трубопроводах необходимо продуть установку азотом с содержанием кислорода менее 2,5 %. Откроем задвижку 7,8 и 9 для подачи азота в нижнюю рампу. Модель показана на рисунке 47.



Рисунок 47 – Схема заполнения нижней рампы азотом

После заполнения нижней рампы приступим к продувке СЭУ-1. Для этого необходимо чтобы была открыта задвижка 22, 21, 24, 19, 18 и 5. После этого газоанализатор азота начнёт показывать увеличение процента содержания газа в среде. Модель показана на рисунке 48.



Рисунок 48 – Схема продувки азотом СЭУ-1

Для СЭУ-2 создадим аналогичную схему продувки азотом. В её случае необходимо открыть задвижки 16, 14, 12, 11, 10 и 6.

4.3.4 Создание модели включение электролизёра

Перед включением электролизёра в работу необходимо проверить открытие вентилей выпуска газов в атмосферу и вентиль на линии циркуляции электролита. После этого начнём подачу тока начиная со 100 А и прибавляя от

50 до 100 А каждые 5 минут до номинальных значений. На СЭУ-20 номинальное значение тока составляет 1000 А.

После включения электролизёра 1 в работу начнётся повышение концентрации кислорода и водорода на выпуске и по достижению 99 и 98 % соответственно, после этого следует перестать выбрасывать газ в атмосферу, а подать его на ресивер. Модель показана на рисунке 49.



Рисунок 49 – Модель запуска СЭУ-1

4.3.5 Создание модели включения второго электролизёра

Для включения второго электролизёра при работе первого необходимо проделать все те же операции по заполнению уравнительных баков, продувке азотом и проверки открытия выпускных вентиляей. После этого происходит включение электролизёра аналогично пункту 4.2.4 и после повышения давления по сравнению с первым электролизёра на 0,01–0,02 МПа нужно открыть вентили подпитки, соединяющие аппараты с уравнительными баками, пустить газ на рабочий ресивер.

4.3.6 Модель изменения давления на рампах

При продувке электролизёра азотом давление на азотной рампе должна быть в пределах 0,2–0,5 МПа, а в аппаратах 0,02–0,05 МПа. Схема показана на рисунке 50.

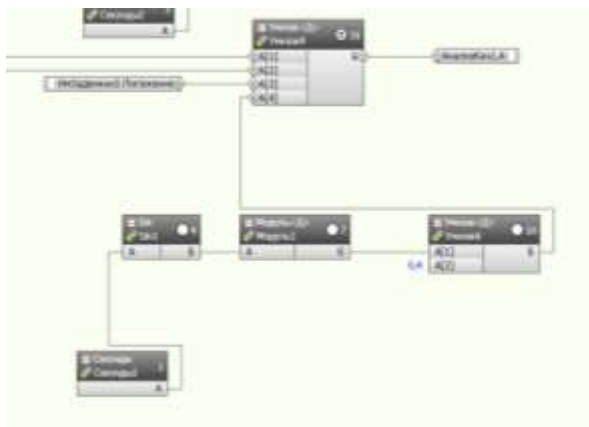


Рисунок 50 – Модель изменения давления при продувке

4.3.7 Модель изменения выработки газов

Чем ниже напряжение на ячейке электролизера, тем меньшую он потребляет мощность. С ростом температуры электролита напряжение электролизера снижается, поэтому энергетически выгодно было бы эксплуатировать электролизеры при повышенных температурах (при работе под давлением - с температурой 80 °С и даже немного выше). Однако с ростом температуры электролита усиливаются коррозионные процессы и значительно ускоряется старение прокладочного материала электролизера – паронита. Поэтому для электролизных установок следует поддерживать 65–80 °С, а в тех случаях, когда не требуется работа электролизера с полной нагрузкой, желательно поддерживать 55–65 °С. При увеличении температуры электролита - снижается напряжение и обратно при уменьшении температуры - напряжение увеличивается [16]. Итог показан в приложении Д. Модель показана на рисунке 51.

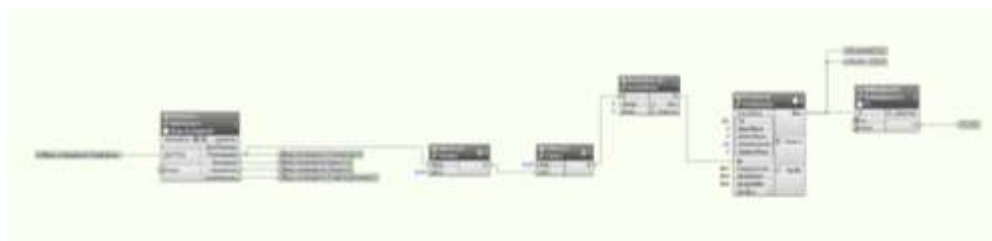


Рисунок 51 – Модель изменения выработки газа путём регулирования температуры электролита

5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

5.1 Безопасность

Электролизная установка находится в здании общественного вспомогательного корпуса Благовещенской ТЭЦ и занимает отдельное помещение. Для обеспечения безопасности персонала и правильной работы установки в данном разделе были описаны меры обеспечения безопасной работы установки для сохранения жизни и здоровья персонала.

Электролизная установка – это аппарат, работающий под давлением для производства водорода и кислорода путём электролиза. Для плавного протекания процесса в электролизёр закачивается электролит [16]. Помимо повышения температуры помещения, в котором находится установка, что в свою очередь негативно сказывается на обслуживающем персонале, также возможна разгерметизация оборудования, что приведет к разлитию электролита или возможному взрыву.

Кроме негативных факторов, влияющих на самочувствие персонала при обслуживании установки, также возможны негативные последствия для операторов. Некоторые негативные факторы, описанные в ГОСТ 13.0.003–74 [13]. В первую очередь это перенапряжение анализаторов. Для снижения негативного влияния данного фактора на персонал в визуальной части SCADA-системы были внедрены аниматоры, сигнализирующие о выходе параметра за порог. Данное внедрение значительно упростит работу со SCADA-системой и уменьшит нагрузку глаз персонала.

Для рабочего персонала необходима система оповещения о состоянии установки и предупреждения аварийных ситуаций. В разработанной SCADA-системе реализованы строки состояния, сигнализирующие о выходе значения за порог. Пример такой строки показан на рисунке 52.

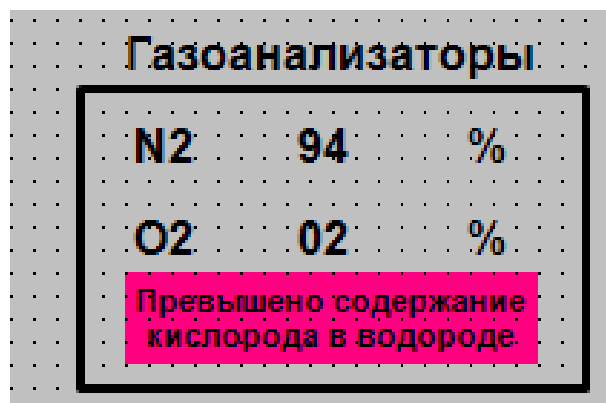


Рисунок 52 - Строка состояния

В данном примере показано, что превышено содержание кислорода в водороде на верхней рампе. Система автоматически отключит ручное управление и перейдет в режим аварийного и откроет дискретные клапана на выход газа в атмосферу через гидрозатвор. Как только сигнал пропадёт система перекроет выход в атмосферу и начнет продувку верхней ramпы азотом до уменьшения показания кислорода в водороде. После чего снимет запрет на ручное управление и продолжит процесс электролиза.

По такому же принципы реализованы и остальные защиты. Они блокируют ручное управление и исправляют текущую проблему по заранее заданному алгоритму.

В экстренной ситуации, если автоматическое управление не может решать проблему или какой-либо из датчиков вышел из строя, присутствует кнопка снятия всех ограничений и принудительное включение ручного управления для решения персоналом сложившейся проблемы. Пример такой кнопки показан на рисунке 53.

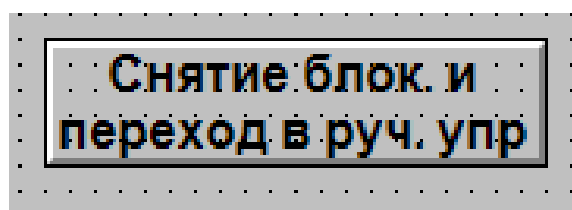


Рисунок 53 - Снятие всех ограничений и переход на ручное управление

5.2 Экологичность

Получение водорода путем электролиза воды – наиболее безопасный для природной среды способ получения водорода, поскольку в этом случае не происходит загрязнения природной среды продуктами сгорания угля, нефти или газа. Попутным продуктом производства водорода является кислород, который целиком уходит в атмосферу, хоть и незначительно, но в пределах производительности установки, улучшая экологическую обстановку.

В случае разгерметизации оборудования или неправильной работы установки в атмосферу может быть выброшен кислород с большим содержанием электролита. Утечка данной щелочи имеет серьёзные экологические последствия, которые затрагивают все компоненты экосистем – почву, воду, воздух, растения и животных.

Автоматизированная система управления контролирует выходящий кислород на содержание электролита и в случае выхода за допустимые параметры остановит установку до решения проблемы. Также система контролирует давление электролита в системе и в случае резкого понижения автоматически выключит подачу и включит насосы на возврат щелочи в бак.

5.3 Чрезвычайные ситуации

5.3.1 Утечка газов

В случае утечке водорода из электролизной установки начнётся смешивания газа с кислородом и взрыв. Также не стоит забывать о возможной разгерметизации кислородной рампы. В этом случае продувка азотом не даст эффекта и кислород останется в системе, что приведет к взрыву внутри установки. Для предотвращения чрезвычайной ситуации на объекте в каждом помещении установлен газоанализатор для сообщения оператору о повышении содержания водорода или азота. Благодаря этому при продувке азотом легче будет устранить утечку газа [16].

5.3.2 Утечка электролита

В случае утечке электролита персонал помимо химического ожога может получить и термический [13]. В этом случае в системе предусмотрены датчики давления щелочи и при резком падении давления система автоматически остановит подачу электролита на электролизёр и запустит насосы на закачку электролита обратно в бак.

5.3.3 Пожарная безопасность

В помещении электролизной установки и около ресиверов запрещается курить, пользоваться открытым огнем, электрическими нагревательными приборами и переносными лампами [14].

Для внутреннего освещения аппаратов во время их осмотра и ремонта следует пользоваться переносными светильниками во взрывоопасном исполнении на напряжение не более 12 В с защитными металлическими сетками.

При возникновении пожара в помещении ЭУ или у ресиверов необходимо как можно скорее сообщить о пожаре начальнику смены станции или начальнику смены электрического цеха по телефону, а также при наличии телефонной связи сообщить в пожарную охрану по телефону 01 адрес предприятия, наименование здания, этаж, номер помещения, что горит, имеются ли пострадавшие, свою фамилию и номер телефона. Постараться оповестить людей, находящихся в электролизерной и в РУСНе о пожаре, а также о необходимости покинуть рабочие места и выйти на улицу, открыть все эвакуационные выходы и ликвидировать все возможные препятствия у выходов. Организовать эвакуацию людей согласно плану эвакуации. План эвакуации обычно располагается у выхода из помещения. План эвакуации показан на рисунке 54.

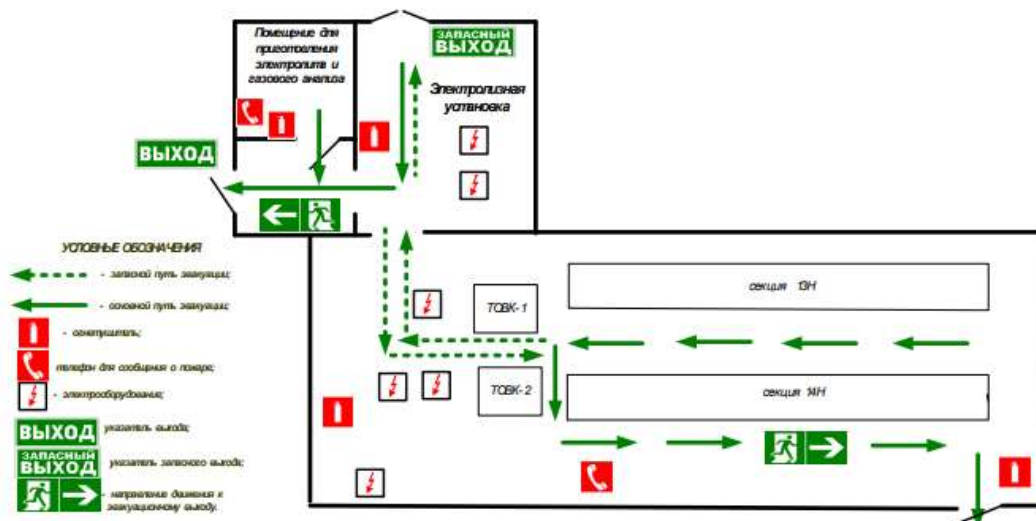


Рисунок 54 – План эвакуации

При необходимости стараться принять меры к спасению людей не успевших эвакуироваться. При отсутствии угрозы собственной жизни имеющимися первичными средствами пожаротушения локализовать очаг загорания.

В случае пожара сигнала о пожаре система автоматически откроет подачу охлаждающей воды на электролизёр и начнет перекачивать электролит обратно в бак. Также откроются задвижки выпуска газов в атмосферу и начнется продувка азотом для избежания разгерметизации и смешивания водорода с воздухом [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и внедрение автоматизированных систем управления процессом производства водорода на ТЭЦ является перспективным направлением развития современной энергетики. Автоматизированная система управления позволяет существенно повысить эффективность производства, обеспечить безопасность технологических процессов и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

В рамках модернизации производственного оборудования было принято решение о полной замене электролизной установки модели СЭУ-10-2 на более современную и эффективную модификацию – СЭУ-20-2. Данное решение обусловлено тем, что прежняя модель существенно отставала от современных технологических требований и не обеспечивала необходимую производительность.

В процессе подготовки к автоматизации технологического процесса была выполнена разработка функциональной схемы новой электролизной установки. Параллельно с этим была создана электрическая схема, которая учитывает все особенности подключения и взаимодействия компонентов обновленной системы.

Для создания SCADA-системы было принято решение взять отечественный контроллер от Акционерного общества «Научно-производственный комплекс «Элара» имени Г. А. Ильенко».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Owen.ru: ОВЕН магазин. Датчик температуры по сопротивлению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/product/termopreobrazovatel_soprotivleniya_dlya_izmereniya_temperaturi_vozduha_vo_vzrivozashishennom_ispolne. – 01.03.2025.
2. Приборы электрохимические и ионнообменные. Электролизные установки. Требования безопасности. М.: Госстандарт России, 2008. – 56 с.
3. Электролизеры водородные. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 1998. – 90 с.
4. Газоанализатор стационарный со сменными сенсорами взрывозащищённый ССС-903: Руководство по эксплуатации, 1998. – 38 с.
5. Датчик давления ЭМИС-Бар: Руководство по эксплуатации, 2025. – 198 с.
6. Датчик давления Метран-150: Руководство по эксплуатации, 2015. – 147 с.
7. Контроллер программируемый ELICONT-200: Руководство по эксплуатации, 2024. – 52 с.
8. Термопреобразователи сопротивления платиновые ТСП и ТСП-К: Руководство по эксплуатации, 2019. – 20 с.
9. Газоаналитическая система «Сенсон-СД-7031-СМ» с газоанализатором «Сенсон-СМ-9001»: Руководство по эксплуатации, 2016. – 47 с.
10. Датчик ВОГ СИГМА-03: Руководство по эксплуатации, – 22 с.
11. АО «Автоматика», раздел «ИТП». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avtomatica.ru/catalog/ru/itp.htm>. – 27.05.2025.

12. ПТК-Сура: Коммуникационный сервер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ptk-sura.ru/products/kommunikatsionnyy-server/elicont-cs/>. – 24.05.2025.

13. ГОСТ 12.0.003–2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Взамен ГОСТ 12.0.003–2012 ; введ. 2015–01–01. – М. : Росстандарт, 2015. – 4 с.

14. ГОСТ 12.1.019–2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Взамен ГОСТ 12.1.019–2002 ; введ. 2017–07–01. – М. : Росстандарт, 2017. – 6 с.

15. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Взамен СНиП 21-01-91 ; введ. 1997–01–01. – М. : Госстрой России, 1997. – 12 с.

16. РД 34.50.501–96: Типовая инструкция по эксплуатации электролизных установок для получения водорода и кислорода / М.: СПО Союзтехэнерго, 1986.

17. ГОСТ 8050–85. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8050–75 ; введ. 1985–01–01. – М. : Госстандарт СССР, 1985. – 4 с.

18. Электро-тепло-регулирование и термодары [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elektroteni.ru/catalog/termoregulirovanie/termopary/termopara-tp-a-2488-1-kha-40-400-s-m12-1-5-20-4-6mm/>. – 01.03.2025.

19. Радарный уровнемер IFM Electronic LR3000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sensoren.ru/product/radarnyy_urovnemer_ifm_electronic_lr3000/. – 01.03.2025.

20. Автоматизация и управление технологическими процессами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avtomatica.ru/catalog/ru/itp.htm>. – 03.03.2025.

21. ОВЕН: Краткое руководство по эксплуатации датчика температуры КР-ДТСХ-ХХ5 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://owen.ru/downloads/kr_dtsxx5.pdf. – 05.03.2025.

22. ОВЕН: Руководство по эксплуатации датчика температуры РЕ-ДТС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/downloads/re_dts.pdf. – 05.03.2025.

23. АО «Овен», «ИТП». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/itp>. – 27.05.2023.

24. Генератор водородный Титан НМХТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kkzav.ru/vodorodnye-generatory/generator-vodorodnyj-titan-hmxt>. – 15.06.2025.

25. Водород.Про [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vodorod.pro/>. – 15.06.2025.

26. Proton exchange membrane [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/proton-exchange-membrane>. — 15.06.2025.

27. Протонообменные мембраны для водородно-воздушных топливных элементов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/protonoobmennye-membrany-dlya-vodorodno-vozdushnyh-toplivnyh-elementov>. – 15.06.2025.

28. РОСМА-94. Датчики давления дифференциальные РПД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosma.spb.ru/files/product_button/39/6/A4.pdf. – 15.06.2025.

29. Нормы проектирования тепловых сетей (РНП-2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/downloads/re_npt-2.pdf. – 15.06.2025.

30. Спецификация МПУ-Р-1, 2, 3, 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--90ahjlpcccjdm.xn--p1ai/wp-content/uploads/2023/11/mpu-r-1-2-3-4-spetsifikatsijya.pdf>. – 20.06.2025.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Наименование системы

Полное наименование системы: Автоматизированная система управления процессов производства водорода ТЭЦ;

Условное обозначение: АСУТП производства водорода ТЭЦ.

1.2 Шифр (номер) договора (темы)

Шифр темы: ДП15.03.04-2025.

1.3 Заказчика и исполнитель

Заказчик: ЗАО «Благовещенская ТЭЦ» Теличенко Денис Алексеевич;

Исполнитель: АмГУ студент 141-об Велигорский Максим Владимирович.

1.4 Плановые сроки начала и окончания работ

Дата начала работ: 01.02.2025;

Дата окончания работ: 28.06.2025.

1.5 Порядок оформления и сдачи работ

1.5.1 На 11.04.2025:

- Создано содержание все разделов дипломного проекта, описать что в них будет находиться;

- скорректированные 3 листа под ДП, созданы проекты что будет в оставшихся трёх листах;

- устранены замечания по КП.

1.5.2 На 18.04.2025;

- отработана литература, выбрана литература, дополнен ДП, вставлены ссылки по тексту;

- отработано современное состояние проблематики.

1.5.3 На 22.05.25:

- Получена вся необходимая документация;

- Получено необходимое ПО;

Продолжение приложения А

- Оформлены первые 4 раздела ДП.

1.5.5 Завершение диплома

- до 31.05.25 или позднее выполнение раздела 5 диплома;
- до 07.06.25 оформление, нормоконтроль, сдача на проверку руководителю;
- до 14.06.25 устранение замечаний;
- до 21.06.25 сдача на антиплагиат устранение замечаний по нему; - до 28.06.25 подготовка доклада, печать и прошивка работы;
- 30.06.25-05.07.25 защита диплома.

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

2.1 Назначение

АСУТП предназначена для обеспечения работы электролизной установки с возможностью по заданию включения второго электролизёра; отображение текущих параметров системы.

2.2 Цели создания системы

АСУТП должна быть выполнена исключительно на отечественном оборудовании, то есть должно быть достигнуто полное импортозамещение.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Краткая характеристика стационарной электролизной установки СЭУ-10-2, установленной на Благовещенской ТЭЦ.

- Производительность одного электролизёра водорода 10 м³/час, кислорода 5 м³/час;
- Ток номинальный 1000 А;
- Напряжение на электролизёре 55 В;

Электролизная установка СЭУ-10-2 имеет два электролизёра по 25 ячеек в каждом. Для каждого электролизёра установлены свои разделительные колонки и регуляторы-промыватели газа.

Для предотвращения образования взрывоопасной смеси водорода с кислородом осуществляется продувка азотом.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

4.1 Требования к системе в целом

При проектировании системы необходимо выбирать надежные технические средства и устройства связи, обеспечить надежное бесперебойное электропитания с возможностью автоматического ввода резерва. Также необходимо соблюдать селективность автоматических выключателей. АСУ ТП должна быть построена таким образом, чтобы отказы технических средств не приводили к ситуациям, опасным для жизни и здоровья персонала или повреждению оборудования. При возникновении аварийных ситуаций необходимо вести журнал, с сохранением информации о состоянии, также необходим журнал о внесении каких-либо изменений в программе регулирования текущим процессом. Все поставляемое оборудование и программное обеспечение должно либо обладать патентной чистотой, либо сопровождаться разрешительными документами.

4.2 Требования к функциям, выполняемым системам

Информационные функции:

- Сбор, первичная обработка и распределение информации;
- Вычислительные и расчетные;
- Ведение журнала событий и изменения параметров.

Управляющие функции:

- Автоматическое управление;
- Дистанционное управление.

4.3 Требования к видам обеспечения

Математическое обеспечение АСУ ТП должно включать в свой состав совокупность алгоритмов, обеспечивающих реализацию возлагаемых на систему функций во всех режимах работы.

Продолжение приложения А

Лингвистическое обеспечение АСУТП должно включать в свой состав русский язык, необходимые языки программирования и язык оперативного управления (интерфейса «человек-машина»). Вся документация должна быть выполнена на русском языке.

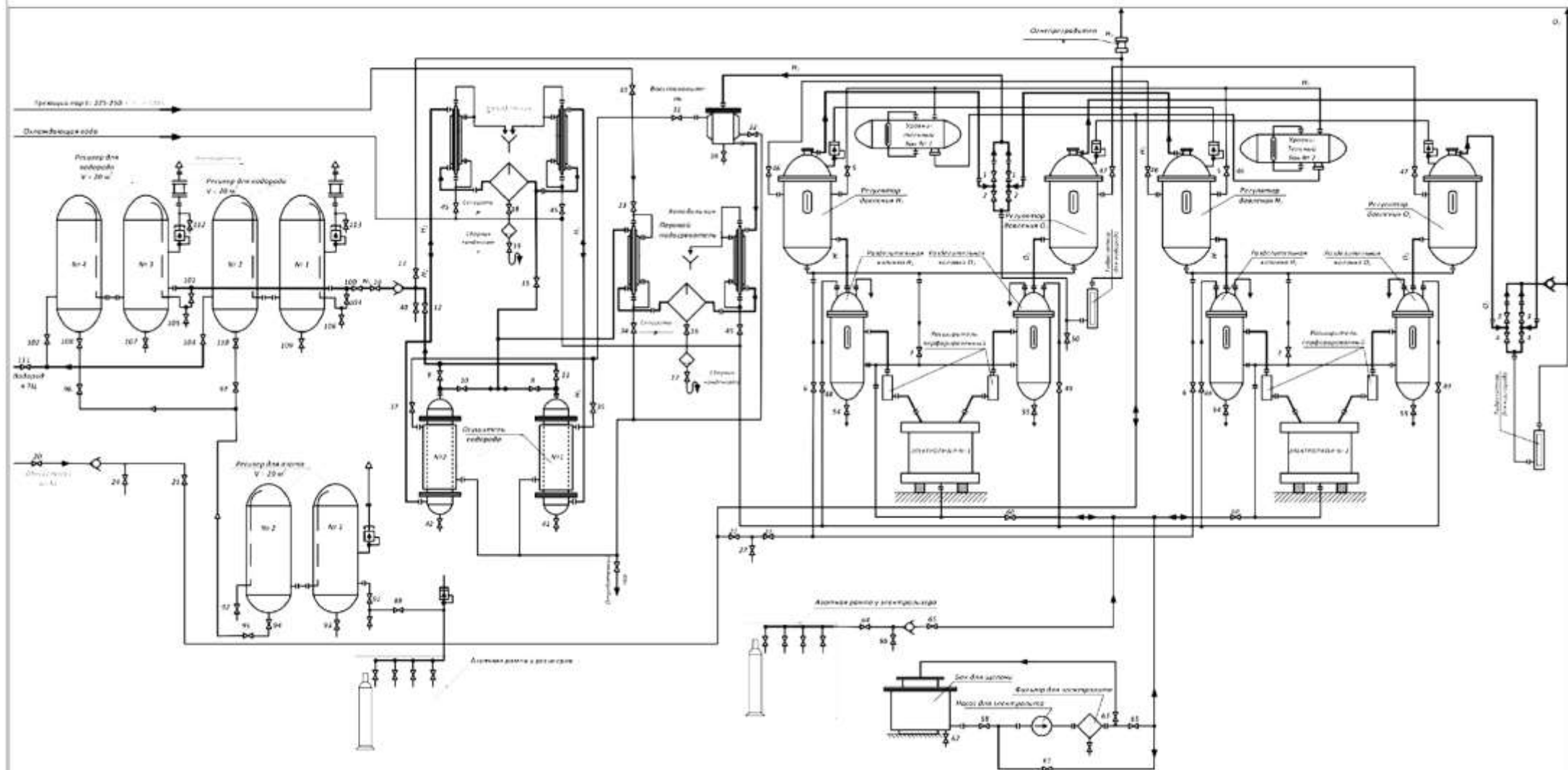
Весь интерфейс должен строиться на единых принципах. Техническое обеспечение должно быть полностью отечественным, обеспечивать возможность замены необходимых частей, иметь поддержку необходимых интерфейсов.

5 СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ

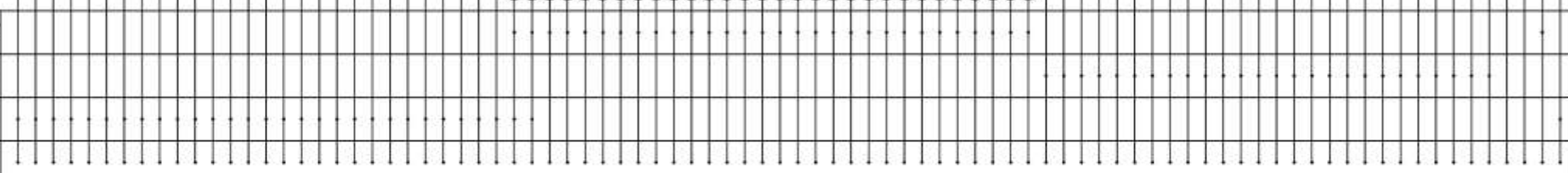
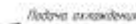
Этапы работы: Изучение объекта автоматизации; Выбор необходимого оборудования; Создание полной электрической схемы; Создание SCADA-системы; Создание модели системы для проверки; Анализ проделанной работы, внесение корректировок.

6 ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЕМКИ СИСТЕМЫ

Контроль происходит итерационно, при выполнении каждой из задач, необходимо высылать итоги на проверку заказчиком. Прием разработанной системы осуществляется в виде защиты дипломного проекта.



ВКР 2140003 150304.08				Чертеж действующий			
СЗУ-10-2				Лист 1 из 1			
Автоматизированная система управления процессом производства водопровода СЗУ				АМГУ 141-08			
Исполн.	Судков С.В.	Провер.	Судков С.В.	Дет.	Масл.	Масл.	11



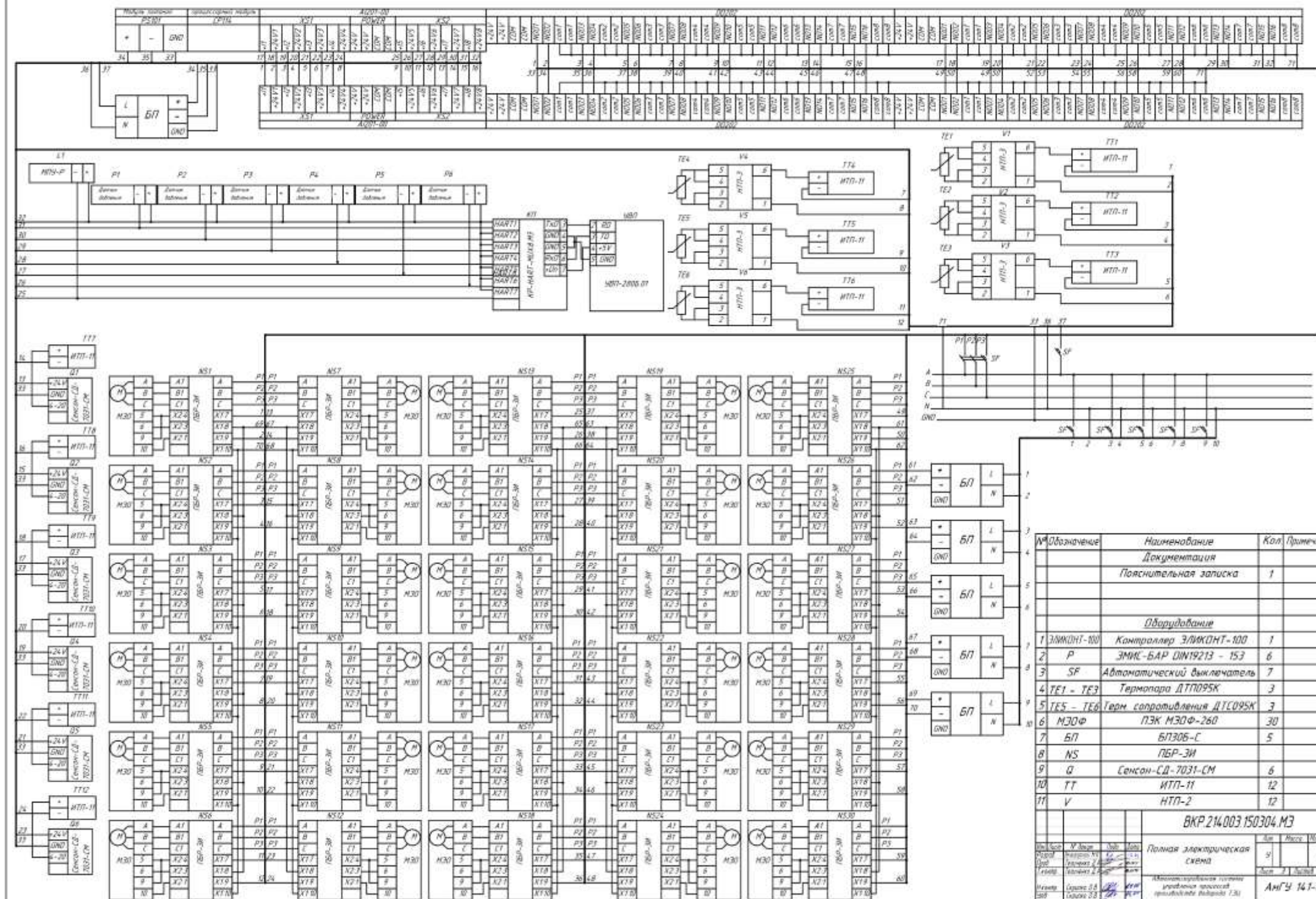
PLC	DO
	DI
	AI
ARM	

Al

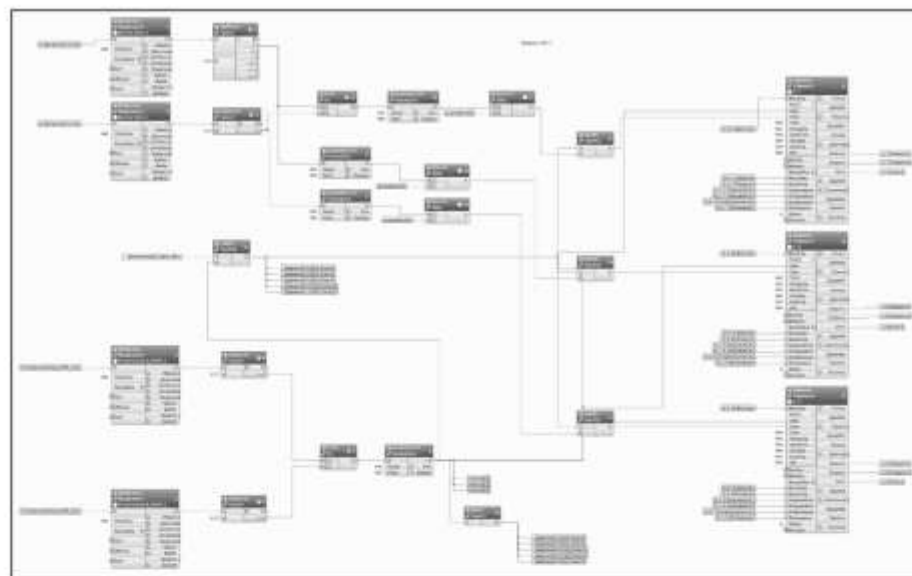
4RM

AMF 141-08

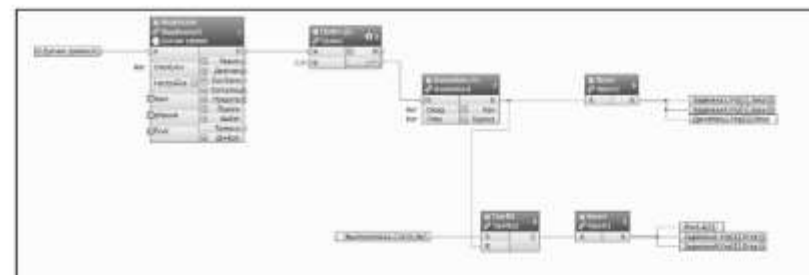
[illegible]



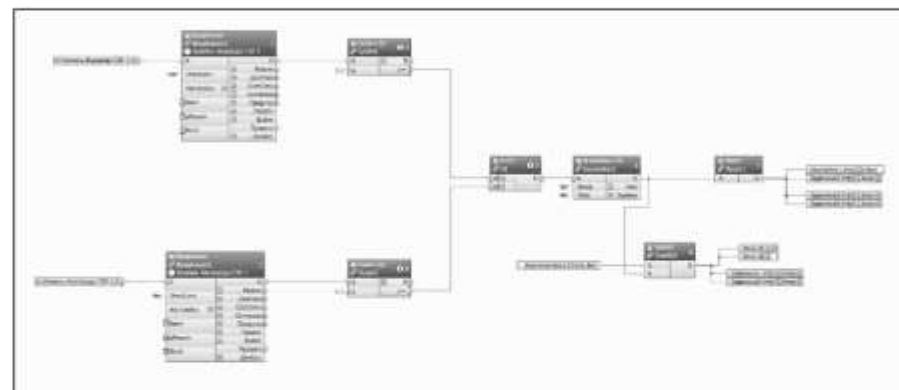
№ Обозначение	Наименование	Кол.	Примечания
	Документация		
	Пояснительная записка	1	
Оборудование			
1	ЭЛИКОНТ-100	1	Контроллер ЭЛИКОНТ-100
2	Р	6	ЭМКС-БАР DIN19213 - 153
3	SF	7	Автоматический выключатель
4	TE1 - TE3	3	Термопара ДТ095К
5	TE5 - TE6	3	Терм. сопротивления ДТС095К
6	МЗОФ	30	ПЭК МЗОФ-260
7	БП	5	БП306-С
8	NS		ПЕР-ЭИ
9	Q	6	Сенсор-СД-7031-СМ
10	ТТ	12	ИТП-11
11	V	12	ИТП-2
БВР 214.003.150304.МЗ			
Полная электрическая схема			
Лист 1	Всего 1	Листов 1	11
Автоматизированная система управления процессом производства водорода (3.3)			
Лист 14-06			



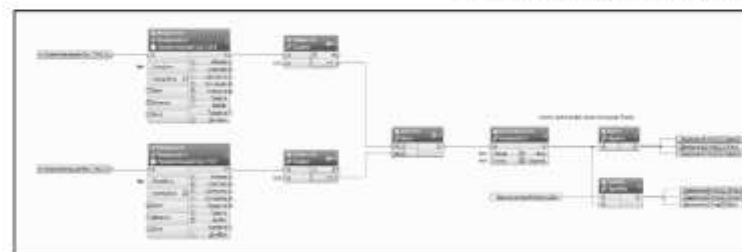
Продукта СЗУ-1



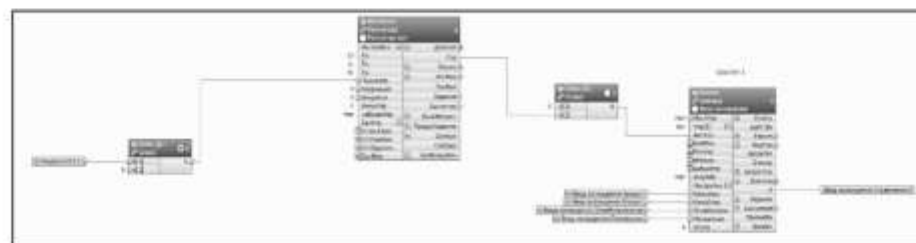
Заполнение щелочного бака



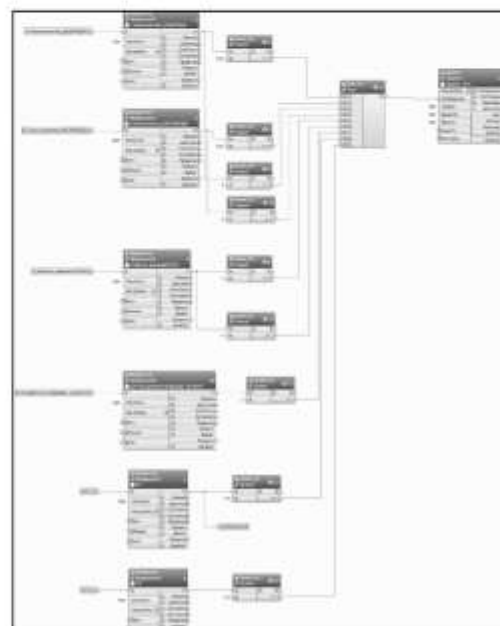
Заполнение разделительных колонок



Заполнение уравнивающих баков



Регулирование охлаждения электролита

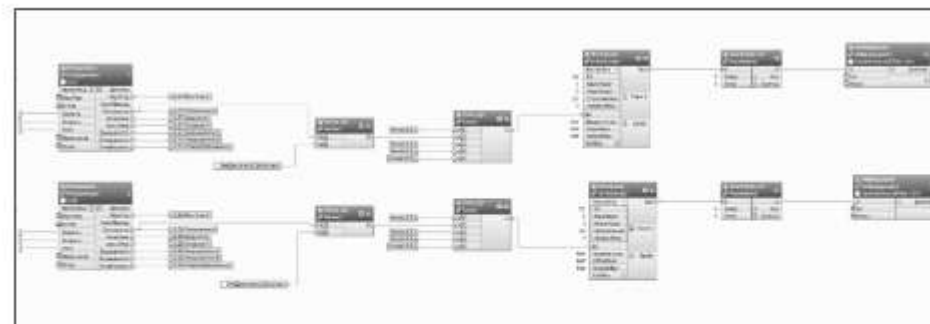


Блок защиты

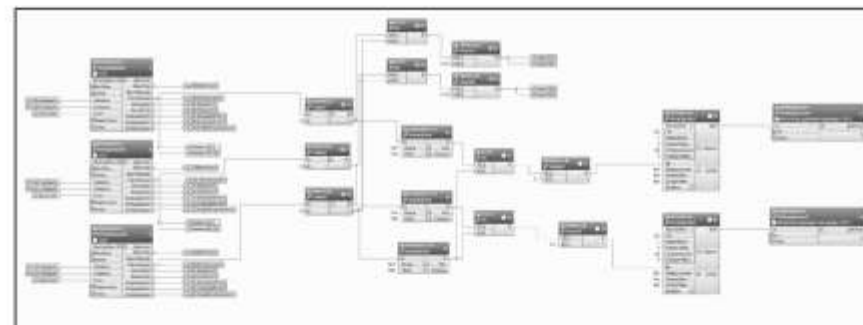
				ВКР.214.003.150304 М7			
Исполн.	М.М.М.	Исполн.	М.М.М.	Схемы управления		Лист	11
Провер.	М.М.М.	Провер.	М.М.М.	СЗУ-20		Всего	11 листов
Соглас.	М.М.М.	Соглас.	М.М.М.	Автоматическая		АМГУ 141-05	
				технологическая			
				процессов и производств			



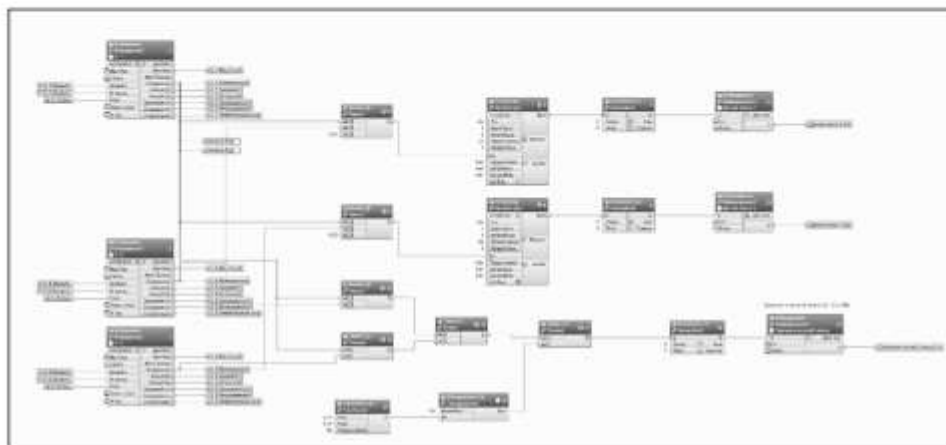
Заполнение щелочного бака и разделительных колонок



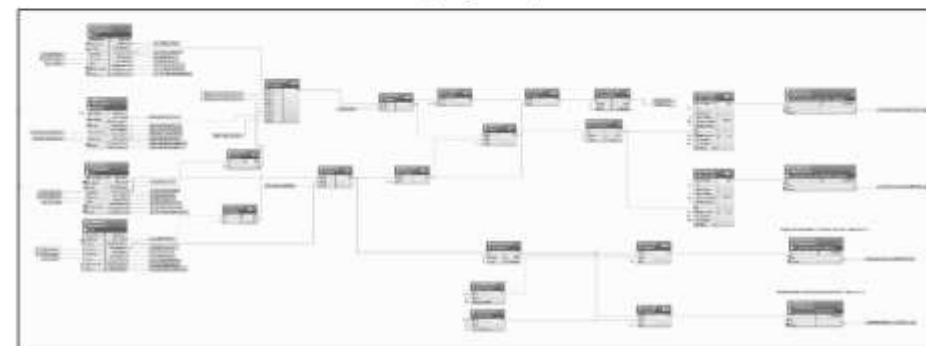
Заполнение уравнивающих баков



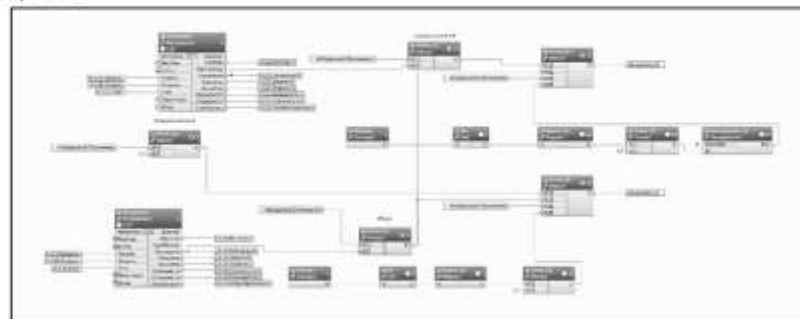
Заполнение регуляторов давления



Продувка нижней рамы

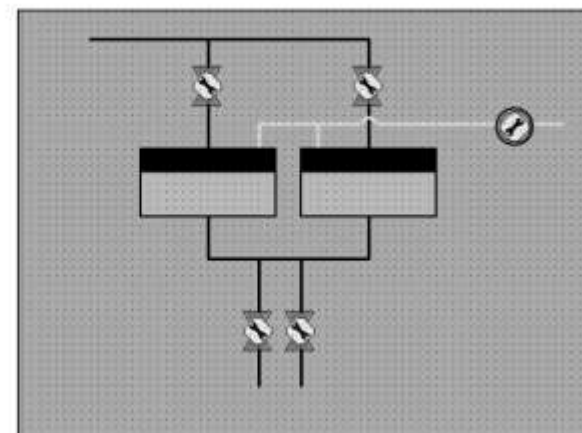


Включение SZU-1 в продувочном режиме и на выход в ресивер

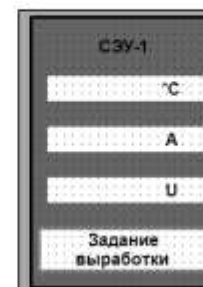


Продувка SZU-1

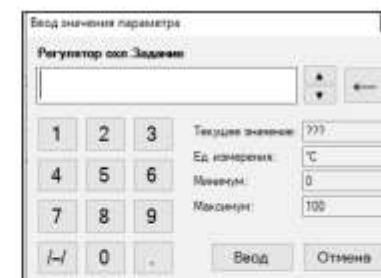
ВКР 214.003.150.304 ПМ									
Модель технологических процессов SZU-20						№ Дата Статус			
№	Дата	Исполн.	Провер.	Метод	Статус	№	Дата	Статус	
1	2024.07.10	Иванов И.А.	Петров С.В.	Исп.	Исп.	4	2024.07.11	Исп.	11
2	2024.07.11	Иванов И.А.	Петров С.В.	Исп.	Исп.	5	2024.07.12	Исп.	
Автоматизация технологического процесса и производств						Анг 141-08			



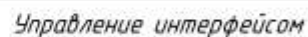
Электролизная установка СЗУ-20-2



Показания электролизёра



Задание температуры электролита

[illegible]

