МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Энергетический факультет
Кафедра «Автоматизированный электропривод»
Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент,
к.т.н., доцент

_____/ А Н. Горожанкин /
«_____» _____2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

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

_____ / М.А. Григорьев /
«_____» _____2020 г.

КОНТРОЛЬ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ
ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ
«ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ»
ЮУрГУ–13.04.02.2020.235 ВКР

Руководитель, к.т.н, доцент
_____/ Д.А. Сычев/
«_____» _____2020 г.

Автор работы,
магистрант группы П–286
_____/ А.В. Цыганский/
«_____» _____2020 г.

Нормоконтролер, к.т.н, доцент
_____/ Т.А. Функ /
«_____» _____2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Цыганский А.В. Контроль и визуализация системы поддержания пластового давления. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 67 с., 24 ил., 27 табл., библиографический список – 8 наим., 1 лист чертежа ф. А3.

В данной выпускной квалифицированной работе магистра рассматривается система поддержания пластового давления на нефтяном месторождении. Исходные данные получены на предприятии, специализирующемся на проектировании систем автоматизации в нефтедобывающей и нефтеобрабатывающей областях.

Рассмотрена автоматизация насосной станции подачи воды в систему поддержания пластового давления, выбрано оборудование для системы автоматизации.

Основная задача, поставленная в этой работе – реализация системы визуализации системы с упором на человеко-машинный интерфейс в виде сенсорной панели, так чтобы на этом интерфейсы были доступны почти все функции, что и на станции в помещении оператора.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7

1 ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ 8

2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЗВОДСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ 10

2.1 Описание в части воды 10
2.1.1 Блок куста насосных станций 10
2.1.2 Установка водораспределительная (БРВ) 12
2.1.3 Площадка куста водозаборных скважин 13
2.1.4 Площадка блока дозирования реагентов 14
2.1.5 Емкость дренажная 14
2.1.6 Участок высоконапорного водовода (На примере до куста К-8) ... 15
2.1.7 Система электрического обогрева 15

2.2 Описание в части газа 16
2.2.1 Блок распределительный газовый (БРГ) 16
2.2.2 Узел смешения воды с УВФ (УСВУ) 17
2.2.3 Горизонтальная факельная установка (ГФУ) 17
2.2.4 Участок газопровода на примере куста 18

3 НОРМЫ И КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 19

3.2 Нормы и контроль в части воды 19

3.3 Нормы и контроль в части газа 21

4 АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ 24

4.2 Сигналы, используемые в системе 24

4.3 Описание сигналов 26

4.4 Функциональная схема системы автоматизации 26

4.5 Выбор элементной базы системы автоматизации 27

4.6 Сопоставление сигналов с картами В/В 36

4.7 Выбор преобразователя частоты 35

4.8 Разработка электрической принципиальной схеме 37

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ 38

6 ОПИСАНИЕ ПРОТОКОЛА MODBUS RTU [3] 40

6.2 Основы Modbus RTU 40

6.3 Карта адресов регистров Modbus 41

6.4 Чтение и запись данных 42

7 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ DELTAV И ПАНЕЛЬЮ WEINTEK НА ПРИМЕРЕ СИГНАЛА АНАЛОГОВОГО ВХОДА СО СТОРОНЫ DELTAV 43

8 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ DELTAV И ПАНЕЛЬЮ WEINTEK СО СТОРОНЫ ПАНЕЛИ 46

8.2 Фрагменты графики для панели Weintek 47

8.3 Общий внешний вид графики для панели Weintek 53

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 59

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 61

ПРИЛОЖЕНИЕ А 62

ПРИЛОЖЕНИЕ Б 64

ПРИЛОЖЕНИЕ В 65

ПРИЛОЖЕНИЕ Г 66

ПРИЛОЖЕНИЕ Д 67

ВВЕДЕНИЕ

Система поддержания пластового давления (ППД) представляет собой комплекс технологического оборудования необходимый для подготовки, транспортировки, закачки водогазовой фракции в пласт нефтяного месторождения с целью поддержания пластового давления и достижения максимальных показателей отбора нефти из пласта.

В данной работе рассматриваются участки транспортировки части воды и части газа, узлы смешения воды и газа, газо-факельная установка и кусты нефтедобывающих скважин на примере одного куста скважин. Рассмотрены алгоритмы пуска системы, технологически параметры транспортируемой и обрабатываемой продукции.

Особое внимание уделено системе автоматизации насосной станции, подготавливающей воду нужного давления для транспортировки в систему ППД. Выбрано оборудование системы и разработаны функциональная и принципиальная электрическая схема системы автоматизации.

Реализована основная часть работы – разработка системы визуализации системы поддержания пластового давления в человеко-машинном интерфейсе в виде сенсорной панели, предназначенной для контроля системы со шкафов управления. Визуальная часть также реализована в распределенной системе управления (РСУ) в интерфейсе оператора, на основе которого и сделана визуальная составляющая сенсорной панели. Рассмотрена реализация обработки данных обмена как со стороны РСУ, так и со стороны панели, написаны программы.

В заключении работы приведены экраны системы управления сенсорной панели в виде скриншотов.

1 ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Для реализации системы поддержания пластового давления (ППД) методом водогазового воздействия предусмотрен централизованный высоконапорный транспорт подготовленной пластовой и подпиточной воды (рабочим давлением 22 МПа) и углеводородной фракции (УВФ) (рабочим давлением 24 МПа) от площадки ЦПС до кустов скважин, с дальнейшей закачкой через узлы смешения водогазовой смеси (ВГВ) в нагнетательные скважины.

В состав сооружений системы поддержания пластового давления (ППД) в части воды на кустовых площадках входят:

- установка водораспределительная;
- скважина водозаборные на кустах;
- площадка подогревателя воды на кустах.

В состав сооружений системы ППД в части газового воздействия входят:

- газопровод до блока распределительного газового;
- газопровод до узла смешения;
- блок распределительный газовый (БРГ);
- узел смешения воды с УВФ;
- горизонтальная факельная установка (ГФУ);
- газопроводы до ГФУ.

Закачка воды в систему производится блочной кустовой насосной станцией (БКНС).

На площадке куста скважин углеводородная фаза (УВФ) подается на блок распределения и регулирования газа (БРГ) и по отдельным трубопроводам на узлы смешения воды и газа, установленные перед нагнетательными скважинами.

Состав и характеристика минерализованной воды из водозаборных скважин приведены в таблице 1.1, состав пластовой воды приведен в таблице 1.2. Компонентный состав углеводородной фракции приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.1 – Состав и характеристика минерализованной воды из водозаборных скважин

Сырье	Параметр		Значение параметра
Минерализованная вода	Плотность воды при 20 °С, кг/м^3		1007
	Содержание, мг/л	Cl^-	5321
		SO_4^{2+}	63
		$HCO^{3'}$	162
		Ca^{2+}	340
		Mg^{2+}	83
		K^++Na^+	2975
		H_2S	-
	Минерализация, г/л		8,95
	Механические примеси, мг/л		30
	Содержание нефтепродуктов, мг/л		0,05

Таблица 1.2 – Состав и характеристика пластовой воды

Сырье	Параметр		Значение параметра	
			от	до
Пластовая вода	Плотность воды при 20 °С, кг/м^3		1110	1150
	Содержание, мг/л	Cl^-	112781	129393
		CO^-	0	0
		HCO^{3-}	103	232
		Ca^{2+}	9895	17786
		Mg^{2+}	1368	2128
		K^++Na^+	58602	65493
		SO_4^{2+}	595	1308
	Минерализация, г/л		182,0	210,0
	Механические примеси, мг/л		30	
	Содержание нефтепродуктов, мг/л		30	

Таблица 1.3 – Компонентный состав потока УВФ

Компонент	CO^2	N^2	C^1	C^2	C^3	IC^4	NC^4	IC^5
Процент содержания	0,37%	8,74%	61,08%	14,85%	10,71%	0,93%	2,41%	0,28%
Компонент	NC^5	C^6	C^7	C^8	C^{9+}	C_9TR^+	C_9TIT^+	H2O
Процент содержания	0,41%	0,12%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%

2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЗВОДСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1 Описание в части воды

Технологические сооружения площадок куста скважин системы ППД обеспечивают централизованную систему поддержания пластового давления через блоки кустовых насосных станций.

Технологические сооружения в составе площадки куста водозаборных скважин, участки высоконапорных водоводов и участок водовода низконапорного на площадке ЦПС обеспечивают:

- добычу минерализованной воды на кусте водозаборных скважин для восполнения дефицита объема воды, необходимого для системы ППД.

- закачку и трубопроводный транспорт плановых объемов пластовой воды от площадки ЦПС до кустовых площадок месторождения;

- трубопроводный транспорт плановых объемов минерализованной воды от куста водозаборных скважин до площадки ЦПС месторождения.

2.1.1 Блок куста насосных станций

Нагретая очищенная пластовая и подпиточная вода поступает на прием насосов. Из БКНС вода через запорно-регулирующие задвижки закачивается в систему ППД.

На выходе из БКНС до ввода в эксплуатацию водоводов до кустов К-2, К-5 предусмотрен возврат избыточной воды (2500-3500 м3/сут) из напорной линии во всасывающую через задвижки и регулирующий клапан.

Для насосов предусмотрено:

- дистанционное измерение температуры подшипников насосов и электродвигателей и сигнализация достижения аварийных значений с последующим отключением насосных агрегатов;

- местное и дистанционное измерение давления и сигнализация достижения аварийных значений давления на входе и выходе насосов с последующим отключением насосных агрегатов

- дистанционное измерение температуры воды в линии разгрузки гидропяты и сигнализацию при выходе ее за пределы уставки;

- местное и дистанционное измерение температуры воды на приеме насоса ЦНС;

- дистанционное измерение перепада давления на фильтрах насосов;

- местное и дистанционное управление насосными агрегатами;

- контроль утечек с торцевых уплотнений и в случае превышения либо появления утечек с последующим отключением насосных агрегатов;

- местное, дистанционное и автоматическое (по алгоритму завода-изготовителя) управление электроприводными задвижками;

- сигнализация состояния электроприводных задвижек;

- контроль уровня вибрации и сигнализация достижения аварийных значений;

- дистанционное измерение рабочего осевого сдвига ротора насоса и сигнализация, и остановка насосного агрегата при выходе его за пределы уставок;

- дистанционное измерение уровня масла в маслобаке системы смазки насоса и электродвигателя;

- дистанционная сигнализация состояния маслонасоса (включен/отключен), запуск резервного маслонасоса в случае аварийной остановки основного маслонасоса;

- дистанционное измерение тока электродвигателя насосного агрегата и сигнализация при выходе его за пределы уставки;

- местное и дистанционное открытие/закрытие электроприводной арматуры насоса;

- сигнализация и автоматическое закрытие электроприводной задвижки на приемном трубопроводе при повышении давления на в насосе до 1 МПа, блокировка насоса;

- дистанционное измерение расхода воды в выкидных линиях насосов;

- сигнализация о возникновении пожара.

2.1.2 Установка водораспределительная (БРВ)

Минерализованная вода с рабочим давлением $P_{раб}$ =16 МПа и температурой 5-20 °С от подогревателя воды поступает в установку водораспределительную для распределения и измерения расхода закачиваемой воды.

После ввода в эксплуатацию БКНС в БРВ поступает очищенная пластовая и минерализованная вода с номинальным давлением 22 МПа и температурой 40-50 °С.

В БРВ предусмотрено:

- местный контроль давления на напорном коллекторе;

- дистанционный контроль температуры на напорном коллекторе;

- дистанционное измерение расхода на каждой измерительной линии;

- местный и дистанционный контроль на каждой измерительной линии;

- дистанционный контроль загазованности в блоке;

- местное, дистанционное и автоматическое управление вентилятором;

- сигнализацию состояния вентилятора (включен/отключен).

2.1.3 Площадка куста водозаборных скважин

Для восполнения дефицита объема пластовой воды, добывается вода из водозаборного куста.

Вода из водозаборных скважин по низконапорному водоводу, подключаемому к устьевой арматуре скважины, подается на узел учета воды, с помощью которого осуществляется автоматический замер расхода воды. Переключение скважин осуществляется с применением трехходовых кранов с дистанционным управлением.

Из водозаборных скважин минерализованная вода с температурой плюс 5-20 °С и давлением 0,4-0,7 МПа направляется через трехходовые краны с электроприводом на очистные сооружения площадки ЦПС. На кусте предусмотрен ввод ингибитора коррозии и биоцида от площадки блока дозирования реагента.

На водозаборных скважинах предусмотрено:

- дистанционное управление и частотное регулирование производительности погружных насосов;
- местный контроль буферного и затрубного давления на фонтанной арматуре;
- дистанционный контроль давления и температуры на выкиде из скважины;
- управление положением трехходовых кранов с сигнализацией конечных положений;
- дистанционное измерение расхода на замерном коллекторе;
- контроль загазованности на устье скважины.

На водоводе после ввода реагентов предусмотрен:

- местный и дистанционный контроль давления;
- дистанционный контроль температуры

2.1.4 Площадка блока дозирования реагентов

Расположена площадка на кусте водозаборных скважин.

Блок дозирования реагентов поставляется в блочном исполнении и обладают полной автономностью в работе. Блок-бокс состоит из технологического блока и комплекта шкафов силовых, шкафов управления и вторичных приборов.

В трубопровод минерализованной воды от водозаборных скважин предусмотрен ввод биоцида и ингибитора коррозии.

Для блока дозирования реагентов предусмотрено:

- местное и дистанционное управление насосом закачки;
- местное и дистанционное управление дозировочными насосами;
- местное, дистанционное и автоматическое управление вентилятором;
- сигнализацию состояния: дозировочного насоса, насоса закачки и вентилятора (включен/отключен)
- местный и дистанционный контроль с сигнализацией предельных величин: расхода и давления реагента на выходе дозировочного насоса, уровня и температуры в емкостях с реагентом;
- контроль загазованности в блоке технологическом;
- дистанционный контроль температуры в блоке технологическом.

На площадке расположены также две наружные емкости для реагентов.

Для емкостей предусмотрено:

- дистанционный контроль температуры и уровня реагента в емкости;
- контроль загазованности на площадке.

2.1.5 Емкость дренажная

Дренаж от площадки блока дозирования реагентов и от приустьевых площадок водозаборных скважин поступает в подземную емкость (V=8 м3).

Для подземной емкости предусмотрено:

- дистанционный контроль температуры и уровня в емкости;
- контроль загазованности на площадке

2.1.6 Участок высоконапорного водовода (На примере до куста К-8)

Подготовленная пластовая и минерализованная вода с рабочим давлением Рраб. =21-21,5 МПа и температурой 40-60°С поступает от узла задвижек 37 поступает в водовод высоконапорный до К-8.

В наиболее низком месте прохождения водовода предусмотрен мониторинг скорости коррозии.

2.1.7 Система электрического обогрева

Система электрического обогрева предназначена для компенсации тепловых потерь надземных и подземных трубопроводов, поддержания температуры продукта и защиты от замерзания, и она не предназначена для разогрева продукта в процессе его транспортировки по трубопроводам.

Нагревательная трубка и проводник электрически соединены на одном конце (противоположном источнику подачи напряжения). При подаче переменного тока на нагревательную трубку и проводник путь тока идет по замкнутой системе. Скин-эффект или «эффект близости» между изолированным проводником тока и нагревательной трубкой позволяют обратному току концентрироваться на внутренней поверхности нагревательной трубки.

Рисунок 2.1 – Схема электрообогрева трубопровода

Концентрация тока на внутренней поверхности нагревательной трубки настолько полная, что напряжение на внешней стороне трубки неизмеримо мало. Благодаря данному явлению нагревательная трубка может быть заземлена и устройство может быть приварено или прикреплено к трубопроводу без возникновения короткого замыкания между нагревательным элементом и обогреваемым трубопроводом.

В начале каждого контура обогрева установлена внешняя силовая коробка для соединения силового кабеля с СКИН-проводником и обратным проводником.

В вводной силовой коробке СКИН-проводник проходит через нагревательную трубку в конец контура обогрева, одновременно от вводной силовой коробки осуществляется отбор обратного тока к источнику питания обратным проводником. В конце системы в коробке конечной заделки СКИН-проводник электрически замыкается на нагревательную трубку.

2.2 Описание в части газа

2.2.1 Блок распределительный газовый (БРГ)

БРГ предназначен для распределения и измерения расхода, давления углеводородной фазы - газа, закачиваемого в нагнетательные скважины системы поддержания пластового давления.

Для блока распределительного газового площадки куста скважин предусмотрено:

- замер и регистрация давления, температуры и расхода;

- автоматическое регулирование расхода газа (по заданным установкам) по количеству воды от блока распределения воды (соотношение 1:1).

2.2.2 Узел смешения воды с УВФ (УСВУ)

Узел смешения воды с УВФ (УСВУ) предназначен для смешивания воды и углеводородов в трубопроводах с целью их совместной закачки в продуктивные нефтяные пласты.

Принцип действия узла смешения воды и углеводородов (УСВУ) основан на подаче в основной поток воды подмешиваемого потока газа. УСВУ обеспечит получение устойчивой газожидкостной смеси в соотношении 1:1.

Для узла смешения воды с УВФ на площадке куста скважин предусмотрено:

- замер давления на напорном трубопроводе в нагнетательную скважину после узла смешения (среда - вода, газ и водогазовая смесь, максимальное давление в трубопроводе 24МПа);

- местный визуальный контроль давления и температуры водогазовой смеси.

2.2.3 Горизонтальная факельная установка (ГФУ)

На площадках кустов скважин предусмотрены ГФУ.

Горизонтальная факельная установка предназначена для периодического и аварийного сжигания газа и жидкости, сбрасываемых при продувке газопроводов по трассе и на кустах скважин, при продувке нагнетательных скважин. На трубопроводе сбросного газа на ГФУ предусматривается установка узла учета.

Для ГФУ предусмотрено:

- автоматический замер газа на узле учета перед ГФУ при максимальном давлении 24 МПа;

- автоматический замер газа на узле учета перед ГФУ, измерение давления и температуры.

При продувке газопроводов сброс газа предусматривается через узел учета.

При продувке нагнетательных скважин сброс осуществляется по байпасной линии.

2.2.4 Участок газопровода на примере куста

Углеводородная фракция (УВФ) $Р_{раб.}$ = 18,0-24,0 МПа и температурой 40-50°С от узла задвижек №37 поступает в Участок газопровода К-8.

В наиболее низком месте прохождения газопровода предусмотрен мониторинг скорости коррозии.

2.2.5 Система электрического обогрева

На площадках кустов скважин выполнен электрообогрев внутреннего пространства теплоизолирующих кожухов контрольно-измерительных приборов и кранов шаровых с электроприводом, расположенных на открытом воздухе.

Система электрического обогрева предназначена для поддержания необходимой температуры контрольно-измерительных приборов и защиты их от замерзания

3 НОРМЫ И КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

3.2 Нормы и контроль в части воды

В этой работе уделено внимание визуализации контроля параметров БРВ и БРГ, кустов скважин и ГФУ. Исходя из перечисленного опишем эти системы на примере куста К-8.

Таблица 3.1 – Нормы технологического режима БРВ

Параметр	Единица измерения	Допустимые пределы
Давление на входе БРВ	МПа	20-22
Температура на входе БРВ	°С	40-70
Расход воды на выходе из БРВ	$м^3/ч$	30-45
Давление на выходе из БРВ	МПа	19-21,5

Таблица 3.2 – Нормы технологического режима задвижки Зд 78

Параметр	Единица измерения	Допустимые пределы
Температура после задвижки	°С	40-60
Давление до задвижки	МПа	19-22
Давление после задвижки	МПа	19-22

Таблица 3.3 – Перечень блокировок и сигнализаций

Параметр	Единица измерения	Величина предела		Блокировка	Сигнализация		Воздействие
		min	max	max	min	max	
Давление на входе БРВ	МПа	20	45	-	-	50	Предупредительная сигнализация
Температура на входе БРВ	°С	35	70	-	40	65	Предупредительная сигнализация
Расход воды на выходе из БРВ	$м^3/ч$	18	22	-	18,5	22,5	Предупредительная сигнализация
Давление на выходе из БРВ	МПа	18	22	-	18,5	22,5	Предупредительная сигнализация

Продолжение таблицы 3.3

Параметр	Единица измерения	Величина предела		Блокировка	Сигнализация		Воздействие
		min	max	max	min	max	
Загазованность воздушной среды в блок боксе БРВ	-	-	-	50	-	20	Предупредительная сигнализация, включение/отключение аварийной вентиляции, аварийная сигнализация
Давление до задвижки 1	МПа	18	22	-	20	22,3	Предупредительная сигнализация
Давление после задвижки 1	МПа	18	22	-	20	22,3	Предупредительная сигнализация

На рисунке 3.1 показана упрощённая функциональная схема куста К-8.

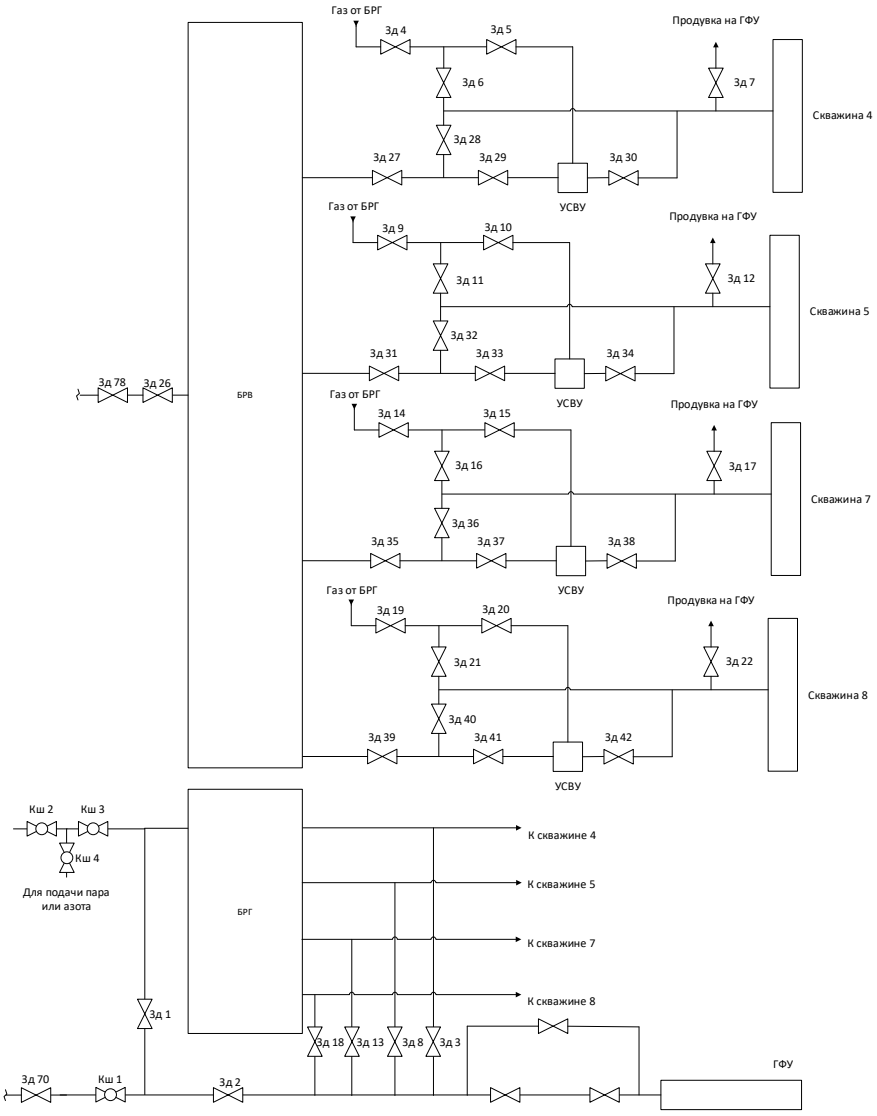


Рисунок 3.1 – Упрощённая схема куста К-8

Ниже приведен порядок пуска водовода для куста К-8:

- задвижка Зд 78 открыта;

- задвижка 3д 26 открыта;

- при закачке в нагнетательную скважину 4 задвижки Зд 27, 29, 30 открыты, задвижки 28, 7 закрыты;

- при закачке в нагнетательную скважину 5 задвижки Зд 31, 33, 34 открыты, задвижки 32, 12 закрыты;

- при закачке в нагнетательную скважину 7 задвижки Зд 35, 37, 38 открыты, задвижки 36, 17 закрыты;

- при закачке в нагнетательную скважину 8 задвижки Зд 39 41, 42 открыты, задвижки 40, 22 закрыты.

3.3 Нормы и контроль в части газа

Таблица 3.4 – Нормы технологического режима БРГ

Параметр	Единица измерения	Допустимые пределы
Температура на выходе газа из БРГ	°С	40-50
Давление газа на входе БРГ	МПа	21,6-23,5
Давление газа на выходе БРГ	МПа	20-23,5

Таблица 3.5 – Нормы технологического режима УСВУ

Параметр	Единица измерения	Допустимые пределы
Давление газа до УСВУ	МПа	20-23,5
Давление водогазовой смеси после УСВУ	МПа	18-21
Температура газа до УСВУ	°С	40-50
Температура водогазовой смеси после УСВУ	°С	40-50

Таблица 3.6 – Нормы технологического режима ГФУ

Параметр	Единица измерения	Допустимые пределы
Расход газа на ГФУ	тыс $м^3$/ч	0,97-16,1
Давление газа до ГФУ	МПа	0-24
Температура газа до ГФУ	°С	0-50

Таблица 3.7 – Перечень блокировок и сигнализаций

Параметр	Единица измерения	Величина предела		Сигнализация		Воздействие
		min	max	min	max	
Температура на выходе газа из БРГ	°С	40	50	36	55	Сигнализация
Давление газа на выходе БРГ	МПа	20	23,5	18	25,8	Сигнализация
Загазованность воздушной среды в блок боксе БРГ	-	-	-	20	50	Сигнализация
Давление газа до УСВУ	МПа	20	23,5	18	25,8	Сигнализация
Давление водогазовой смеси после УСВУ	МПа	18	21	16,2	23,1	Сигнализация
Температура водогазовой смеси после УСВУ	°С	40	50	36	55	Сигнализация
Расход газа на ГФУ	тыс $м^3$/ч	0,97	16,1	0,86	17,7	Сигнализация
Давление газа до ГФУ	МПа	0	24	0	26,4	Сигнализация
Температура газа до ГФУ	°С	0	50	0	55	Сигнализация

Ниже приведен порядок пуска газовода для куста К-8:

- задвижка Зд 70 открыта;

- кран шаровой Кш 1 и задвижка Зд 1 открыты, задвижка Зд 2 и краны шаровые Кш 2, Кш 3 и Кш 4 закрыты;

- при закачке в нагнетательную скважину 4 задвижки Зд 4, 5, 30 открыты, задвижки Зд 3, 6, 7 закрыты;

- при закачке в нагнетательную скважину 5 задвижки Зд 9, 10, 34 открыты, задвижки Зд 8, 11, 12 закрыты;

- при закачке в нагнетательную скважину 7 задвижки Зд 14, 15, 38 открыты, задвижки Зд 13, 16, 17 закрыты;

- при закачке в нагнетательную скважину 8 задвижки Зд 19, 20, 42 открыты, задвижки Зд 18, 21, 22 закрыты.

4 АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Для подачи воды в систему ППД необходима насосная станция, которая поставляет воду в систему с постоянным давлением 20-22 МПа. На станции предусмотрены 3 насоса с синхронными электродвигателями 2СТД2500-РУХЛ4 мощностью 2500 кВт и напряжением 6 кВ: 2 рабочих, 1 резервный. Насосы работают в приоритетном режиме: первым запускается насос 1, привод регулирует частоту вращения, как только частота достигает максимума, включается насос 2, 3 насос находится в отключенном состоянии, который при неисправности одного из главных насосов включается взамен неисправного. Приоритет насоса выбирается оператором в операторной станции. Отключение насосов при избыточности работы двух насосов также осуществляется в порядке приоритета в обратном направлении.

4.2 Сигналы, используемые в системе

Описанная система технологического процесса должна работать в автоматическом и ручном. В таблице 4.1 приведены сигналы управления системы насосной станции.

Таблица 4.1 – Описание сигналов управления насосной станции

Вид	Тип	Переменная	Описание
Ввод	DI	readyFC1	Готовность преобразователя частоты 1
Ввод	DI	readyFC2	Готовность преобразователя частоты 2
Ввод	DI	readyFC3	Готовность преобразователя частоты 3
Ввод	AI	frequency1	Частота привода насоса 1
Ввод	AI	frequency2	Частота привода насоса 2
Ввод	AI	frequency3	Частота привода насоса 3
Ввод	DI	pumpIsRunning1	Насос 1 запущен
Ввод	DI	pumpIsRunning2	Насос 2 запущен
Ввод	DI	pumpIsRunning3	Насос 3 запущен
Вывод	AO	pressurePump1	Задание давление насоса 1

Вывод	AO	pressurePump2	Задание давление насоса 2
Вывод	AO	pressurePump3	Задание давление насоса 3
Вывод	DO	resetPump1	Сброс аварии насоса 1
Вывод	DO	resetPump2	Сброс аварии насоса 2
Вывод	DO	resetPump3	Сброс аварии насоса 3
Вывод	DO	permission1	Разрешение на работу насоса 1
Вывод	DO	permission2	Разрешение на работу насоса 2
Вывод	DO	permission3	Разрешение на работу насоса 3
Вывод	DO	startPump1	Пуск насоса 1
Вывод	DO	startPump2	Пуск насоса 2
Вывод	DO	startPump3	Пуск насоса 3
Вывод	DO	stopPump1	Остановка насоса 1
Вывод	DO	stopPump2	Остановка насоса 2
Вывод	DO	stopPump3	Остановка насоса 3
Программный	-	softAutoManual	Выбор режима работы: false - автоматический true - ручной
Программный	-	softPriority	Приоритет насосов: false – приоритет насоса 1 true – приоритет насоса 2
Программный	-	softPermission1	Команда на разрешение на работу насоса 1
Программный	-	softPermission2	Команда на разрешение на работу насоса 2
Программный	-	softPermission3	Команда на разрешение на работу насоса 3
Программный	-	softStartPump1	Команда на пуск насоса 1
Программный	-	softStartPump2	Команда на пуск насоса 2
Программный	-	softStartPump3	Команда на пуск насоса 3
Программный	-	softStopPump1	Команда на остановку насоса 1
Программный	-	softStopPump2	Команда на остановку насоса 2
Программный	-	softStopPump3	Команда на остановку насоса 3
Программный	-	softReset	Команда на сброс аварий всех насосов
Программный	-	softPressure	Задание давления в системе

4.3 Описание сигналов

Как видно из таблицы 4.1 всего в системе 3 вида сигналов: сигналы ввода/вывода и программные переменные.

Для переключения между ручным и автоматическим управлением (softAutoManual) предусмотрена панель оператора, которая дублируется сенсорной панелью рядом со шкафом управления насосной станции. softPermission1/2/3 – это программные переменные, которые разрешают пуск каждого из насосов. Переменные softStart1/2/3 и softStop1/2/3 отвечают и за запуск и остановку насосов в ручном режиме. Переменная softReset сбрасывает сигнал аварии приводов, а сигнал softPressure задает уставку по давлению.

Выходные сигналы напрямую управляют приводами насосов. Уставки задания pressurePump1/2/3 задают давление, которое необходимо поддерживать насосами, равна эта уставка программной переменной softPressure. Выходные сигналы resetPump1/2/3 – сигналы сброса аварии насосов, задаваемые программной переменной softReset. Сигналы permission1/2/3 – это сигналы разрешения работы электропривода, которые задаются программными переменными softPermission1/2/3. Сигналы startPump1/2/3 и stopPump1/2/3 – сигналы запуска и останова насосов.

Входные сигналы readyFC1/2/3 – это сигналы готовности преобразователя частоты насоса. Сигналы pumpIsRunning1/2/3 – это сигнал, описывающий, что насос 1, 2 или 3 запущен. Сигналы frequency1/2/3 – это входные аналоговые сигналы частоты преобразователя частоты насосов 1, 2, 3.

4.4 Функциональная схема системы автоматизации

По таблице 4.1, а также по описанию системы в разделе 4.2, можно составить функциональную схему системы автоматизации, состоящую из панели

оператора, контроллера и трех приводов насоса. Схема представлена на рисунке 4.1.

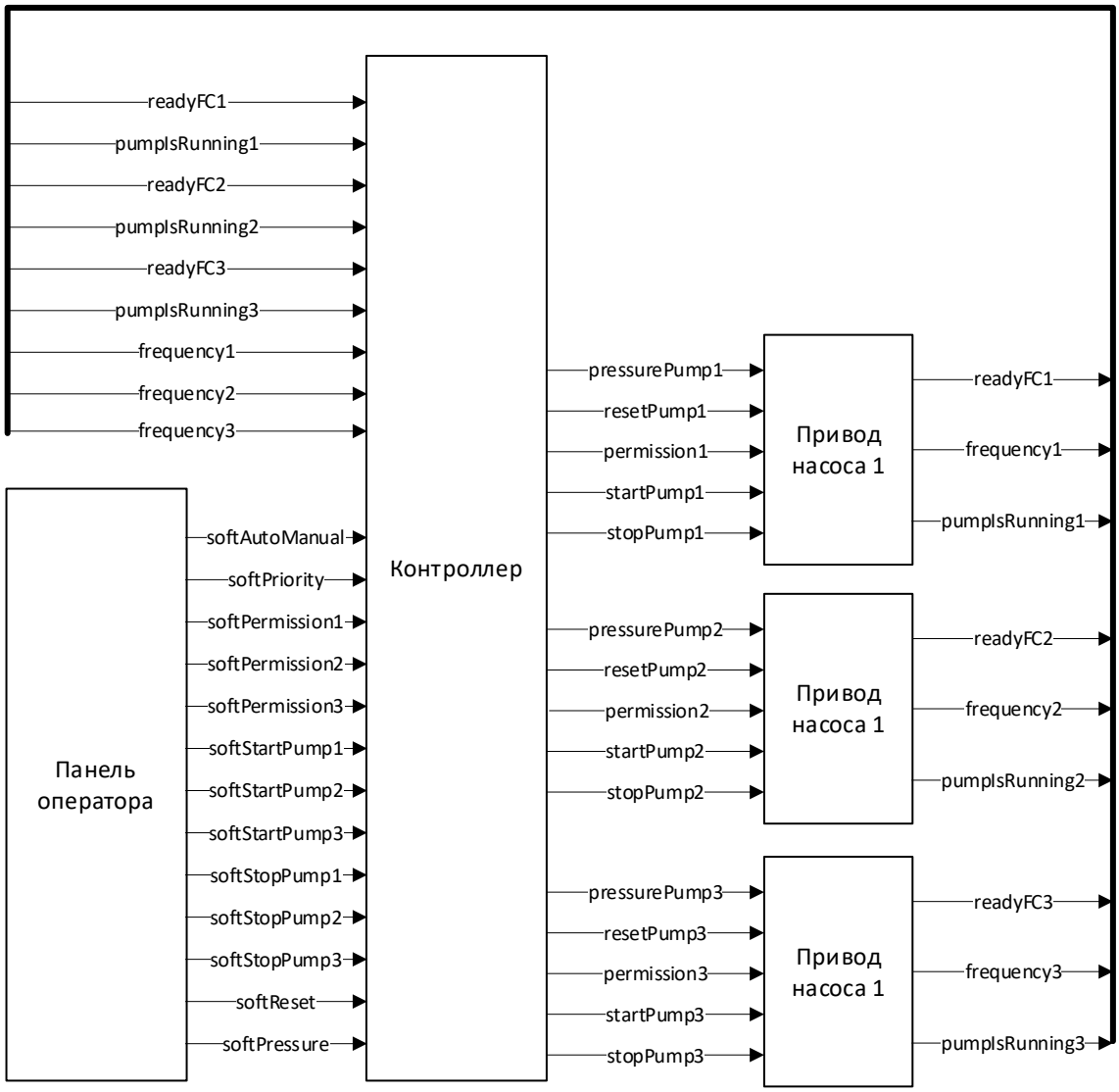


Рисунок 4.1 – Функциональная схема системы автоматизации насосной станции

4.5 Выбор элементной базы системы автоматизации

В качестве панели оператора выберем панель Weintek MT8150XE. Характеристики панели приведены в таблице 4.2. Внешний вид представлен на рисунке 4.2. К контроллеру она будет подключаться по RS485 по COM3, который связан с портом 2. В таблице 4.3 указана распиновка для подключения к панели.

Таблица 4.2 – Характеристики панели Weintek MT8150XE [1]

Дисплей	
Параметр	Значение
Диагональ экрана	15"
Тип матрицы	TFT
Разрешение экрана	1024 x 768
Тип сенсора	Резистивный
Интерфейсы	
USB	1 x USB 2.0 Client (Micro USB) 1 x USB 2.0 Host
Последовательные порты	COM1: RS-232/RS-485 COM3: RS-485 2W
Требования к электропитанию	
Рабочее напряжение	24 ± 20% В пост.
Потребление тока	800 мА
Размеры и вес	
Габаритные размеры, мм	366 x 293 x 57
Вес, кг	2.75

Рисунок 4.2 – Панель Weintek MT8150XE

Таблица 4.3 – Распиновка порта 2 для двухпроводного RS485

PIN	COM3, RS485 2W
1	-
2	-
3	-
4	-
5	-
6	-
7	Data-
8	Data+
9	Ground 2

Контроллер выберем фирмы Emerson DeltaV SQ SE3008. Характеристики контроллера приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Характеристики контроллера DeltaV SQ [3]

Максимальное количество тегов В/В	750
Частоты обновления загруженных в контроллер управляющей модулей	Раз в 100 мс, 200 мс, 500 мс, 1 с, 2 с, 10 с, 30с, 60 с.
Память	48 мб
Предохранитель	Незаменяемый на 3 А
Потребление питания	5 Вт

Запитывается контроллер от стандартного источника питания 24-12 В DeltaV SE5009. Характеристики контроллера приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристики блока питания контроллера1 DeltaV SQ [4]

Вход	24 В DC ± 20% 6,1 А
Выход	12 В DC 8 А
Предохранитель	Встроенный

Для соединения контроллера с источником питания, предусмотрена несущая панель SE3051C0 [5]. На рисунке 4.3 изображены выбранные источник питания и контроллер, соединенные через несущую панель.

Рисунок 4.3 – Источник питания и контроллер S серии на несущей панели

Для обработки аналоговых и дискретных сигналов предусмотрены карты ввода/вывода, соединяемые с несущей панелью контроллера через несущую панель карт ввода/вывода SE4059E0C0 [5].

Для аналогового ввода предусмотрена карта AI 8-каналов 4-20мА. Максимальное потребление тока 300 мА при 24 В. Схема соединения приведена на рисунке 4.4

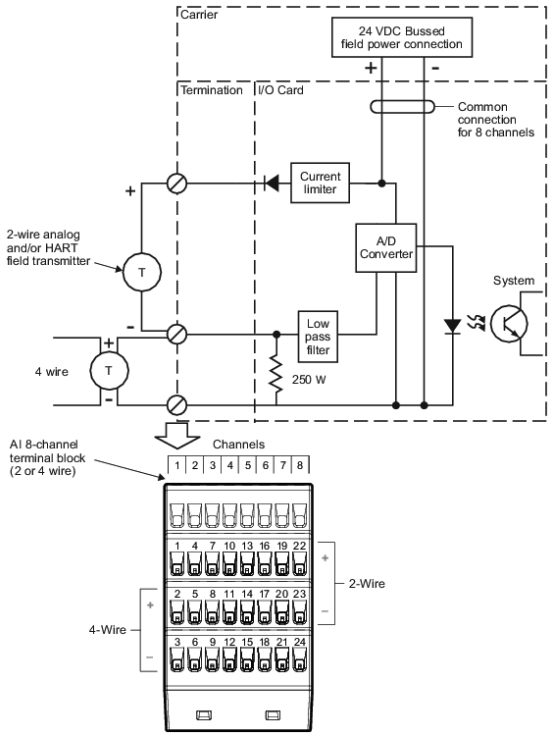


Рисунок 4.4 – Подключение к карте AI

Для сигналов аналогового выхода предусмотрена карта AO 8 каналов 4-20 мА. Максимальное потребление тока 300 мА при 24 В. На рисунке 4.5 показан способ подключения этой карты.

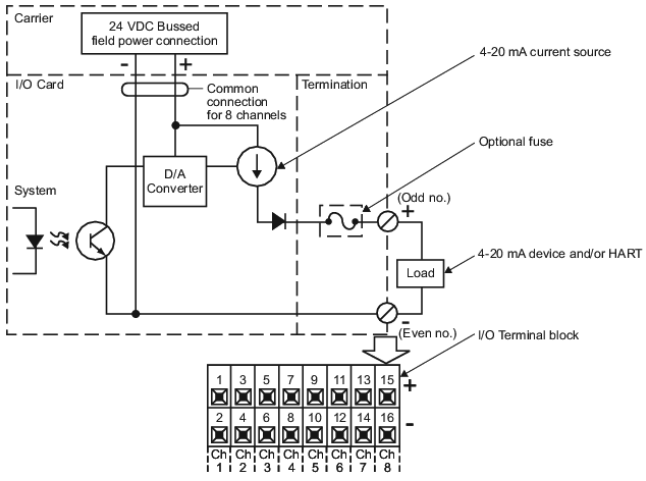


Рисунок 4.5 – Подключение к карте AO

Для дискретного ввода предусмотрена карта DI 8-каналов 24 В пост. тока. Максимальное потребление тока 300 мА при 24 В. Схема соединения приведена на рисунке 4.6

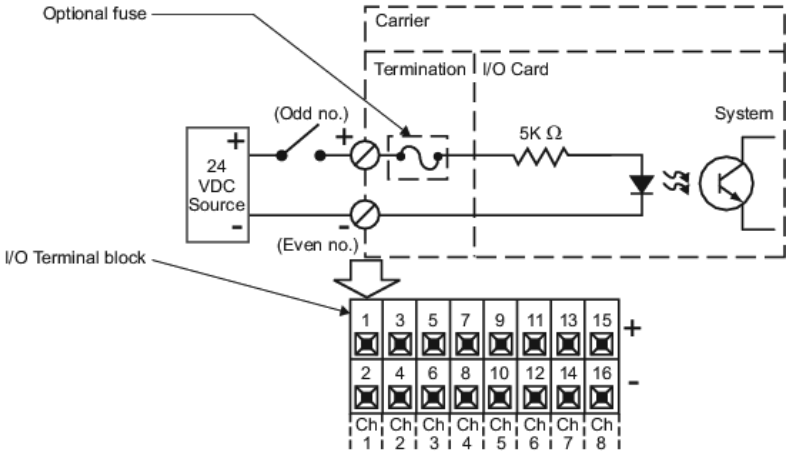


Рисунок 4.6 – Подключение к карте AO

Для сигналов дискретного выхода предусмотрена карта DO 8 каналов 24 В пост. тока. Максимальное потребление тока 3 А при 24 В. На рисунке 4.7 показан способ подключения этой карты.

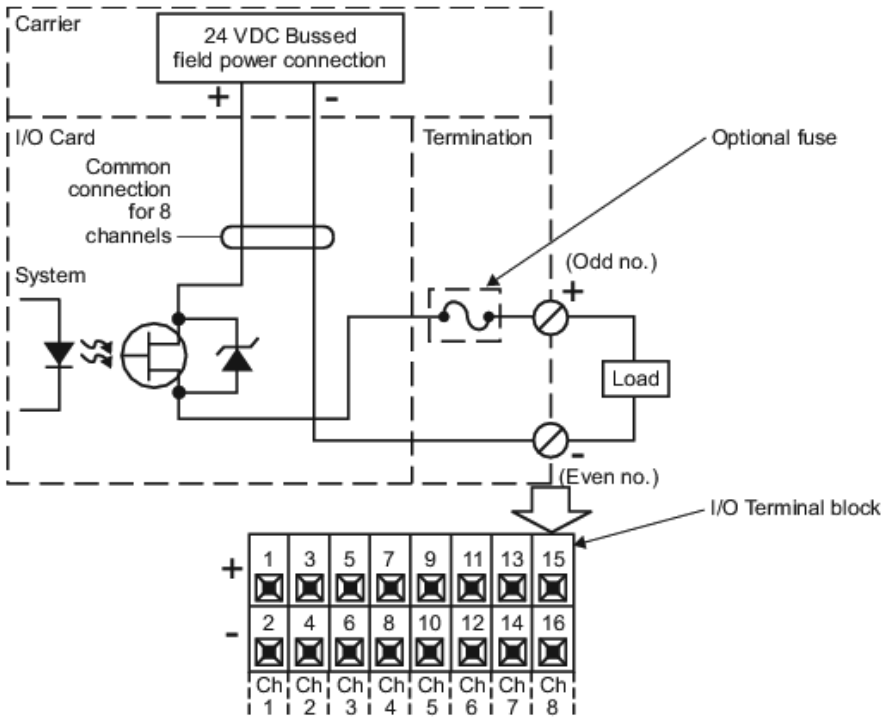


Рисунок 4.7 – Подключение к карте AO

Для подключения сенсорной панели по Modbus по двухпроводному RS485 предусмотрена сериальная карта. На рисунке 4.8 указаны клеммы этой карты, а в таблице 4.6 описано, в какие клеммы необходимо подключить панель.

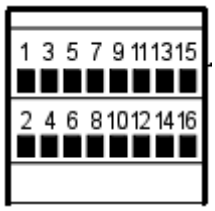


Рисунок 4.8 – Клеммы сериальной карты

Таблица 4.6 – Полудуплексное подключение RS422/RS485

Клемма	Присоединение
Клемма 1	Порт 1 GND
Клемма 2	Порт 1 DATA+
Клемма 4	Порт 1 DATA-
Клемма 9	Порт 2 GND
Клемма 10	Порт 2 DATA+
Клемма 12	Порт 2 DATA-

На рисунке 4.9 показан общий вид карт В/В.

Рисунок 4.9 – Карта В/В

Для питания системы необходимо выбрать групповой источник питания. Рассчитаем его мощность:

$$P = \sum_{i=0}^{i=n} U_i I_i, \quad (1)$$

где i-номер элемента системы, n-общее количество элементов.

$$P = \sum_{0}^{i} 1{,}2 \cdot 24 \cdot 0{,}8 + 1{,}2 \cdot 24 \cdot 6{,}1 + 1{,}2 \cdot 24 \cdot 0{,}3 + 1{,}2 \cdot 24 \cdot 0{,}3 + 1{,}2 \cdot 24 \cdot 0{,}3$$

$$+ 1{,}2 \cdot 24 \cdot 3 = 311{,}04 \text{ Вт}$$

Из формулы (1) необходим источник питания минимум на 13 А.

Выберем групповой источник питания DeltaV на 20 А. На рисунке 4.10 показан внешний вид источника питания Характеристики источника питания приведены в таблице 4.7.

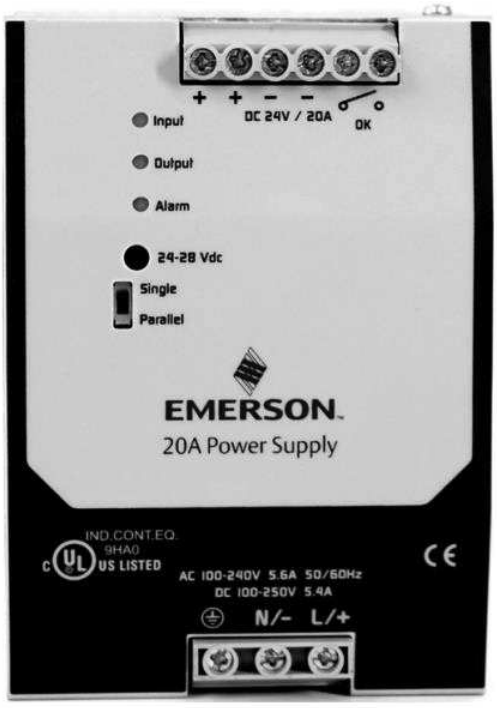


Рисунок 4.10 – Источник питания DeltaV 24 В 20 А

Таблица 4.7 – Характеристики источника питания DeltaV

Описание	Характеристика
Выходное напряжение	24 В DC
Выходной ток	20 А
Мощность	480 Вт
Входное переменное напряжение	100-240 В (пределы 85 – 264 В)
Рабочая частота	43-67 Гц
Входной ток	6 А при 85 В, 3 А при 264 В

Для безопасности выберем на автоматический выключатель на 6 А EKF DA63-6-30.

4.6 Выбор преобразователя частоты

Выберем высоковольтный преобразователь частоты Inovance HD93-J100/3150. Номинальное напряжение – 6 кВ, мощность синхронного двигателя 2500 кВ, КПД > 97%, коэффициент мощности > 95%, мощность ПЧ 3150 кВА.[7] На рисунке 4.11 показана схема подключения из руководства.

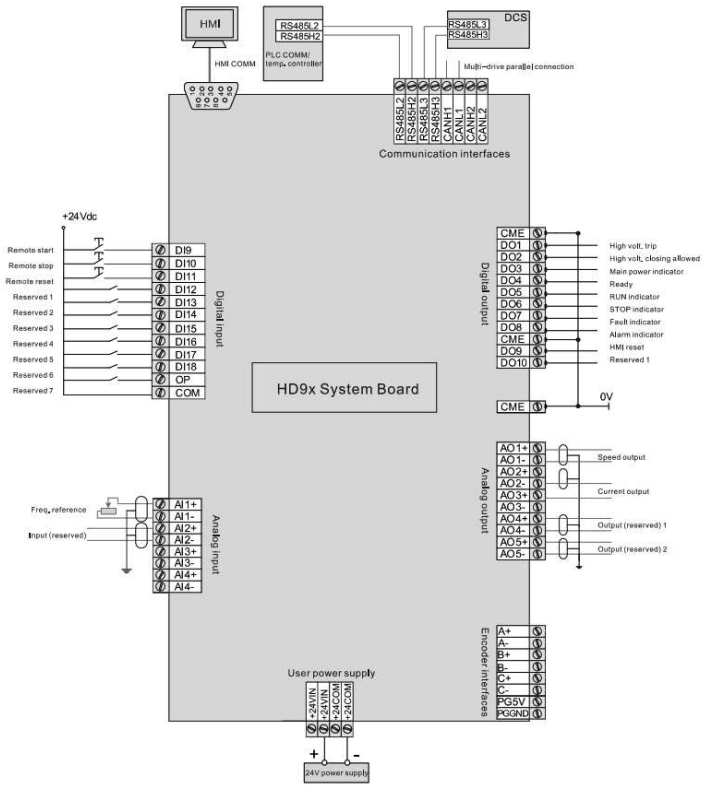


Рисунок 4.11 – Схема подключения сигналов управления преобразователя частоты

Для защиты электропривода выберем элегазовый выключатель фирмы Schneider Electric выключатель типа LF на 6 кВ и номинальным током 1250 А.

4.7 Сопоставление сигналов с картами В/В

Сопоставим сигналы с каналами карт В/В и внесем их в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Распределение сигналов по каналам карт В/В

Канал	Карта	Переменная	Описание
1	AI	frequency1	Частота привода насоса 1
2	AI	frequency2	Частота привода насоса 2
3	AI	frequency3	Частота привода насоса 3
1	AO	pressurePump1	Задание давление насоса 1
2	AO	pressurePump2	Задание давление насоса 2
3	AO	pressurePump3	Задание давление насоса 3
1	DI	readyFC1	Готовность преобразователя частоты 1

Продолжение таблицы 4.8

Канал	Карта	Переменная	Описание
2	DI	readyFC2	Готовность преобразователя частоты 2
3	DI	readyFC3	Готовность преобразователя частоты 3
4	DI	pumpIsRunning1	Насос 1 запущен
5	DI	pumpIsRunning2	Насос 2 запущен
6	DI	pumpIsRunning3	Насос 3 запущен
1	DO1	resetPump1	Сброс аварии насоса 1
2	DO1	resetPump2	Сброс аварии насоса 2
3	DO1	resetPump3	Сброс аварии насоса 3
4	DO1	permission1	Разрешение на работу насоса 1
5	DO1	permission2	Разрешение на работу насоса 2
6	DO1	permission3	Разрешение на работу насоса 3
1	DO2	startPump1	Пуск насоса 1
2	DO2	startPump2	Пуск насоса 2
3	DO2	startPump3	Пуск насоса 3
4	DO2	stopPump1	Остановка насоса 1
5	DO2	stopPump2	Остановка насоса 2
6	DO2	stopPump3	Остановка насоса 3

4.8 Разработка электрической принципиальной схеме

По распределения сигналов по каналам карт В/В, функциональной схеме системы автоматизации и выбранной элементной базы системы автоматизации составлена схема электрическая принципиальная, представленная на чертеже ЮУрГУ-13.04.02.2020.235.02 ЭЗ. Перечень элементов приведен в приложении ЮУрГУ-13.04.02.2020.235.03 ПЭ.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ

Основная часть визуализации и контроля системы реализована в распределенной системы управления DeltaV v13.3.1 компании Emerson. В систему входят основная инженерная рабочая станция Professional Plus, сервер накопления истории процесса, операторские станции, контроллеры ввода/вывода.

Рассмотрим пример визуализации системы на основе куста скважин К-8. Как видно по рисунку 5.1, визуализация включает в себя отображения основных параметров процессов. Эта мнемосхема проектируется в Среде Оператора DeltaV и затем хранится, как на инженерной станции ProPlus, так и на операторской станции.

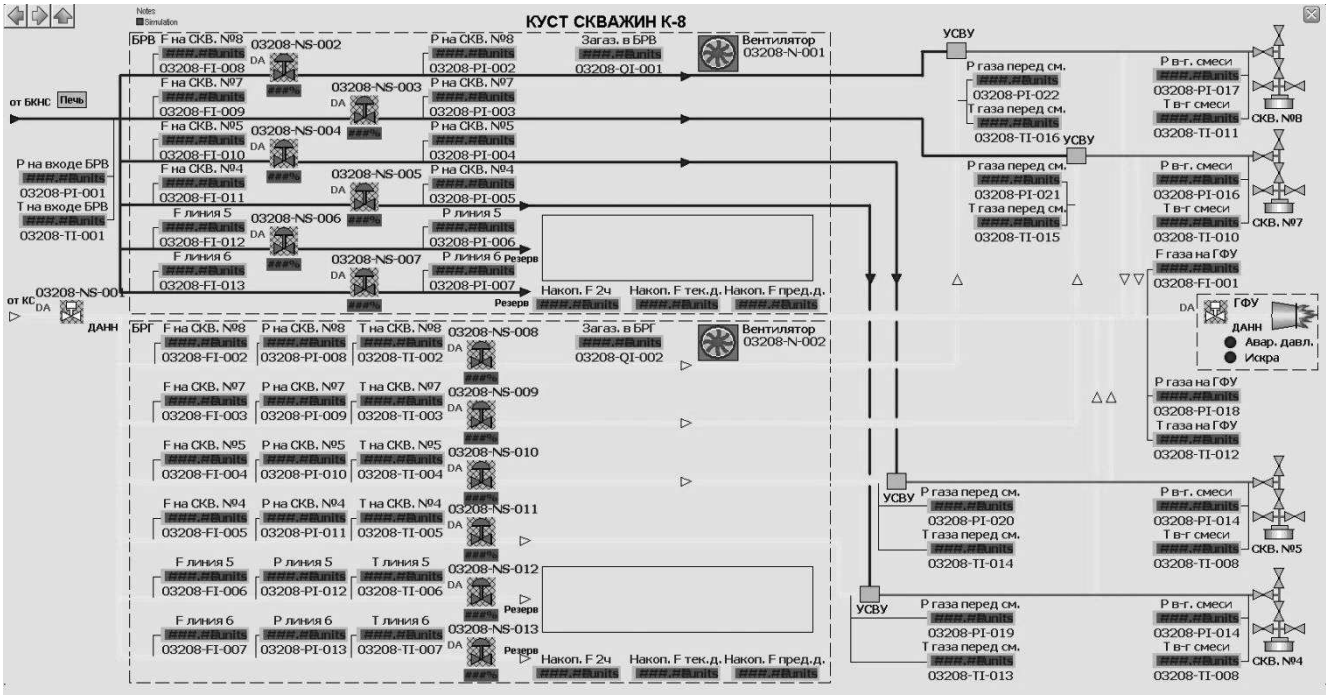


Рисунок 5.1 – Куст скважин К-8 в Среде Оператора DeltaV

Однако, в проекте необходима визуализация процесса системы ППД на шкафах управления, где находятся контроллеры управления в непосредственной близости к объекту управления системы. Установка дублирующих операторских станций непосредственно в шкафах оказалось экономически нецелесообразно.

Для решения этой задачи необходимо использовать сенсорную панель, чтобы иметь возможность не только наблюдать за процессом, но и при необходимости вмешиваться. Самым оптимальным вариантом в данный момент на рынке является панели компании Weintek, а в данном случае панель Weintek модели MT8150XE. Характеристики панели приведены в таблице 4.2. Внешний вид панели указан на рисунке 4.2.

Связь с панелью осуществляется по Modbus. На рисунке 5.2 представлена функциональная схема соединения с сетью DeltaV.

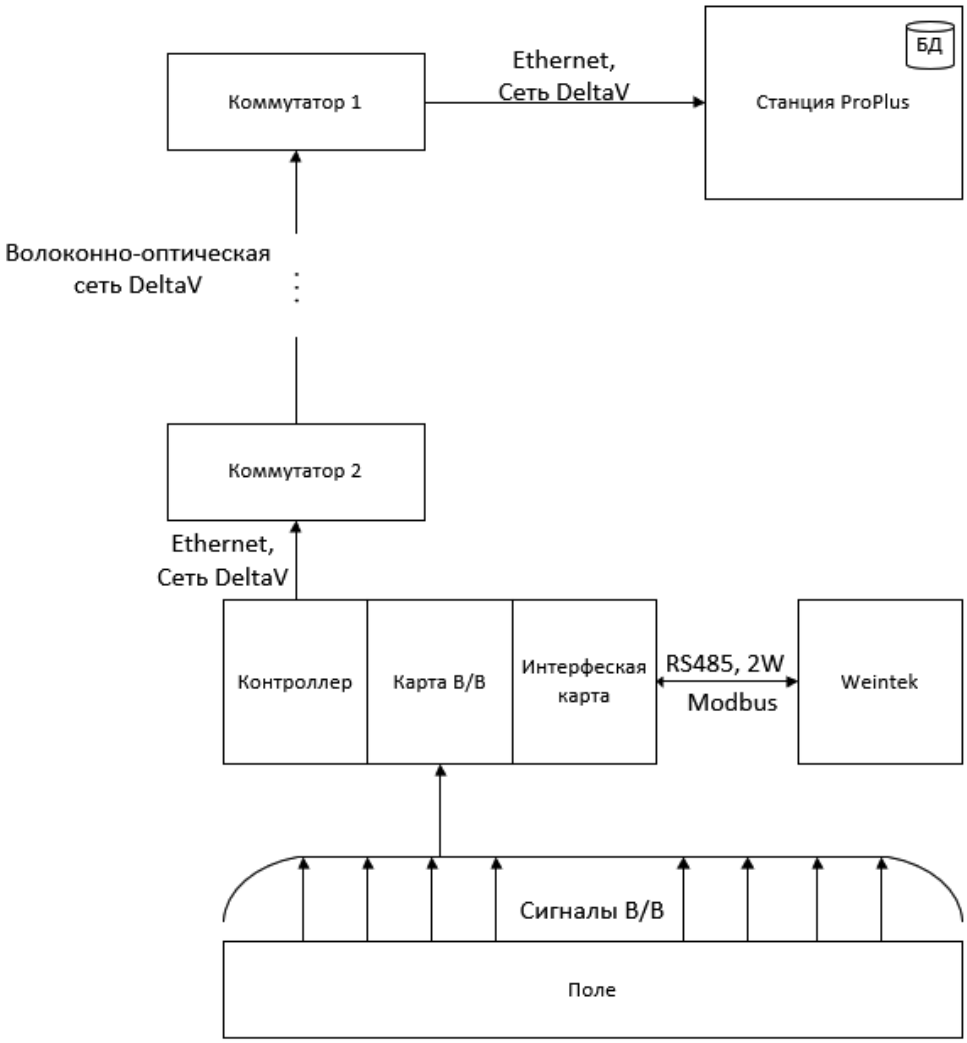


Рисунок 5.2 – Функциональная схема соединения

6 ОПИСАНИЕ ПРОТОКОЛА MODBUS RTU [3]

MODBUS - самый популярный промышленный протокол, используемый сегодня. Несмотря на то, что MODBUS существует около 30 лет, почти все крупные поставщики промышленного измерительного оборудования и средств автоматизации продолжают поддерживать его в новых продуктах.

Преимуществом MODBUS является то, что он может работать практически со всеми средами связи, включая витую пару, беспроводную связь, оптоволокно, Ethernet, телефонные модемы, мобильные телефоны и микроволновые печи. Это означает, что соединение MODBUS может быть легко установлен на новом или существующем предприятии.

MODBUS был разработан Modicon (в настоящее время Schneider Electric) в 1979 году как средство для связи со многими устройствами по одному проводу витой пары. Первоначальная схема работала на RS232, но была адаптирована для работы на RS485, чтобы получить более высокую скорость и увеличить дальность соединения. MODBUS быстро стал стандартом де-факто в индустрии автоматизации, и Modicon начал распространять его бесплатно.

MODBUS – это система «master-slave», в которой master связывается с одним или несколькими slave. Slave не может инициировать обмен данными с master устройством.

В MODBUS RTU данные кодируются в двоичном формате и требуют только одного байта связи на каждый байт данных. Это идеально для использования в сетях RS485 на скоростях от 1200 до 115 кБод. Наиболее распространенные скорости - 9600 и 19200 бод.

6.2 Основы Modbus RTU

Для связи со slave устройством master отправляет сообщение, содержащее: адрес устройства, код функции, данные и контрольную сумму. Адрес устройства

– это число от 0 дол 247. Сообщения, отправляемые по адресу 0, отправляются на все slave устройства, остальные адреса соответствуют конкретному устройству. В таблице 6.1 указаны коды функций, которые определяют, какую команду должно выполнить slave устройство.

Таблица 6.1 – Коды функций Modbus

Команда	Код функции
01	Чтение койлов
02	Чтение дискретных вводов
03	Чтение holding регистров
04	Чтение регистров ввода
05	Запись одного койла
06	Запись одного регистра
.	
.	
xx	

В данных определяются адреса в памяти устройства для функций чтения, содержатся значения данных, которые должны быть записаны в память устройства или другая информация, необходимая для выполнения запрошенной функции.

Контрольная сумма – 16-битное значение, создаваемое и отправляемое master устройством и получаемое обратно в качестве ответа slave устройства.

6.3 Карта адресов регистров Modbus

Каждое устройство MODBUS имеет память, в которой хранятся данные переменных процесса. Спецификация MODBUS диктует, как данные извлекаются и какой тип данных может быть получен. Однако это не

накладывает ограничений на то, как именно производитель устройства будет распределять эти данные. Ниже в таблице 6.2 приведен пример Modbus регистров и их адресов.

Таблица 6.2 – Таблица регистров Modbus

Адреса	Тип	Имя регистра
1 - 9999	Чтение или запись	Койлы
10001 - 19999	Только чтение	Дискретные вводы
30001 - 39999	Только чтение	Регистры ввода
40001 - 49999	Чтение или запись	Holding регистры

6.4 Чтение и запись данных

Modbus поддерживает до 255 кодов функций, но наиболее часто встречаемые приведены в таблице 6.1. Для примера рассмотрим чтение трех 16-битных слов аналоговых данных от устройства с адресом 5.

Master вышлет следующую команду: 5 04 2 3 CRC, где 5 – адрес устройства, 04 – адрес функции чтения регистров ввода, 2 – начальный адрес (30002), 3 – количество регистров, считываемых подряд, начиная с начального адреса, CRC – контрольная сумма.

Slave ответит следующей командой: 5 04 аа бб вв CRC, где 5 – адрес устройства, 04 – функция, аа бб вв – 16-битные данные регистров ввода, CRC – контрольная сумма, которую отправил master.

Остальные функции выполняются аналогично.

7 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ DELTAV И ПАНЕЛЬЮ WEINTEK НА ПРИМЕРЕ СИГНАЛА АНАЛОГОВОГО ВХОДА СО СТОРОНЫ DELTAV

Рассмотрим реализацию обмена данными между DeltaV и панелью Weintek. В контроллер DeltaV загружаются управляющие модули, хранящиеся и проектируемые на станции ProPlus. Рассмотрим этот модуль на примере аналогового входного сигнала. Управляющий модуль приведен на рисунке 7.1.

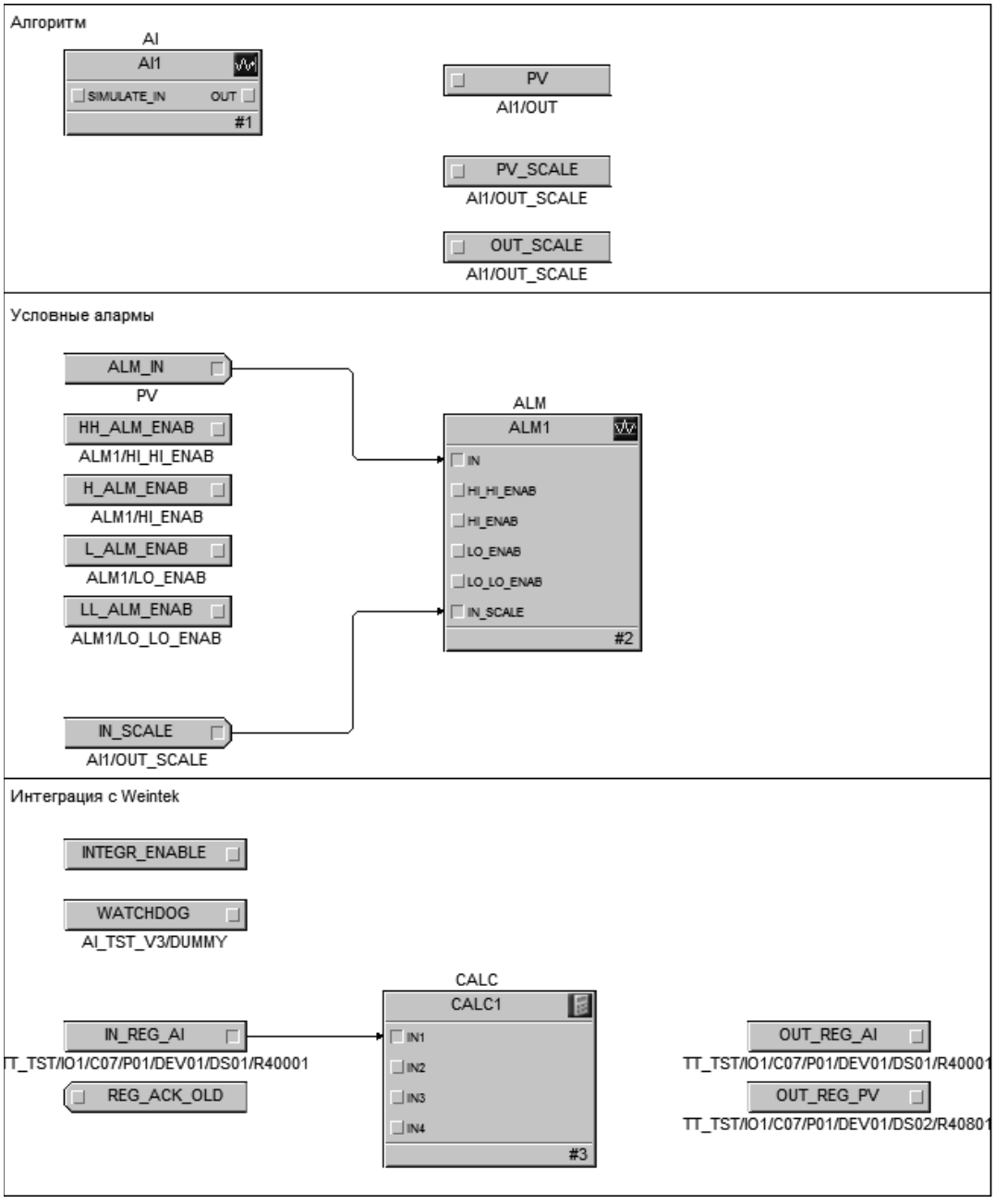


Рисунок 7.1 – Управляющий модуль аналогового ввода

На рисунке 7.1 функциональный блок AI реализует управление сигналом аналогового ввода, к нему привязывается тег B/B контроллера. Функциональный блок ALM реализует управление аварийной сигнализацией, через него происходит аварийная индикация в среде оператора. Малые блоки – это внутренние и внешние параметры необходимые инженеру для решения узких задач. В блоке CALC посредством скрипта реализован обмен данными между панелью Weintek и DeltaV, как видно на рисунке, в данном случае обмен идет по holding регистру 40001. Ниже приведен приведен скрипт внутри функционального блока CALC:

```
REM Объявление промежуточных переменных
Option Explicit;
VAR
      HH_ALM; H_ALM; L_ALM; LL_ALM; HH_ACK; H_ACK; L_ACK; LL_ACK; IN_ACK;
PV; PV_ST; OUT_REG; INIT;
END_VAR;

REM Проверка, что передача данных активна и статус связи с БКО - норма
IF ('^/INTEGR_ENABLE.CV' = 1) AND ('^/WATCHDOG.CV' = 0) THEN

REM Сброс значения выходного регистра
      OUT_REG := 0;

REM Распаковка входного регистра
      HH_ALM := ROTR((IN1 & 1),0);
      H_ALM := ROTR((IN1 & 2),1);
      L_ALM := ROTR((IN1 & 4),2);
      LL_ALM := ROTR((IN1 & 8),3);
      HH_ACK := ROTR((IN1 & 16),4);
      H_ACK := ROTR((IN1 & 32),5);
      L_ACK := ROTR((IN1 & 64),6);
      LL_ACK := ROTR((IN1 & 128),7);
      PV_ST := ROTR((IN1 & 256),8);
      IN_ACK := ROTR((IN1 & 512),9);

REM Синхронизация данных WT-DeltaV
REM Пропустить синхронизацию сигналов квитирования сигнализации на первом
скане после загрузки модуля, включения интеграции или восстановления связи с
БКО
      IF (INIT = 0 ) THEN
            '^/REG_ACK_OLD.CV' := IN_ACK;
            INIT := 1;
      ELSE
```

```
REM Чтения команды квитирования сигнализации со стороны БКО
            IF IN_ACK != '^/REG_ACK_OLD.CV' THEN
                  '^/ВЫС_КРИТ_АЛМ.NALM' := 0;
                  '^/ВЫС_ПРЕД_АЛМ.NALM' := 0;
                  '^/НИЗ_КРИТ_АЛМ.NALM' := 0;
                  '^/НИЗ_ПРЕД_АЛМ.NALM' := 0;
                  '^/REG_ACK_OLD.CV' := IN_ACK;
            ENDIF;
      ENDIF;

REM Вычисление промежуточных параметров
      HH_ALM := ('^/ВЫС_КРИТ_АЛМ.CUALM' > 0);
      H_ALM := ('^/ВЫС_ПРЕД_АЛМ.CUALM' > 0);
      L_ALM := ('^/НИЗ_ПРЕД_АЛМ.CUALM' > 0);
      LL_ALM := ('^/НИЗ_КРИТ_АЛМ.CUALM' > 0);
      HH_ACK := (!'^/ВЫС_КРИТ_АЛМ.NALM');
      H_ACK := (!'^/ВЫС_ПРЕД_АЛМ.NALM');
      L_ACK := (!'^/НИЗ_ПРЕД_АЛМ.NALM');
      LL_ACK := (!'^/НИЗ_КРИТ_АЛМ.NALM');
      PV_ST := ('^/PV.ST' < 128);
      PV := '^/PV.CV';

REM Упаковка выходного регистра
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(HH_ALM,0);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(H_ALM,1);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(L_ALM,2);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(LL_ALM,3);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(HH_ACK,4);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(H_ACK,5);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(L_ACK,6);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(LL_ACK,7);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(PV_ST,8);
      OUT_REG := OUT_REG | ROTL(IN_ACK,9);

REM Передача выходных регистров
      '^/OUT_REG_PV.CV' := PV;
      '^/OUT_REG_AI.CV' := OUT_REG;
ELSE
      INIT := 0;
END_IF;
```

Для управление ПИД регуляторами, дискретными входами, клапанами и вентиляторами/насосами используется такое же решение.

8 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ DELTAV И ПАНЕЛЬЮ WEINTEK СО СТОРОНЫ ПАНЕЛИ

Как было сказано в разделе 8, передача данных между панелью и контроллером DeltaV происходит через holding Modbus регистры. Сама панель выступает в роли slave, когда контроллер выступает в роли master. На рисунке 8.1 приведена конфигурация системы Weintek.

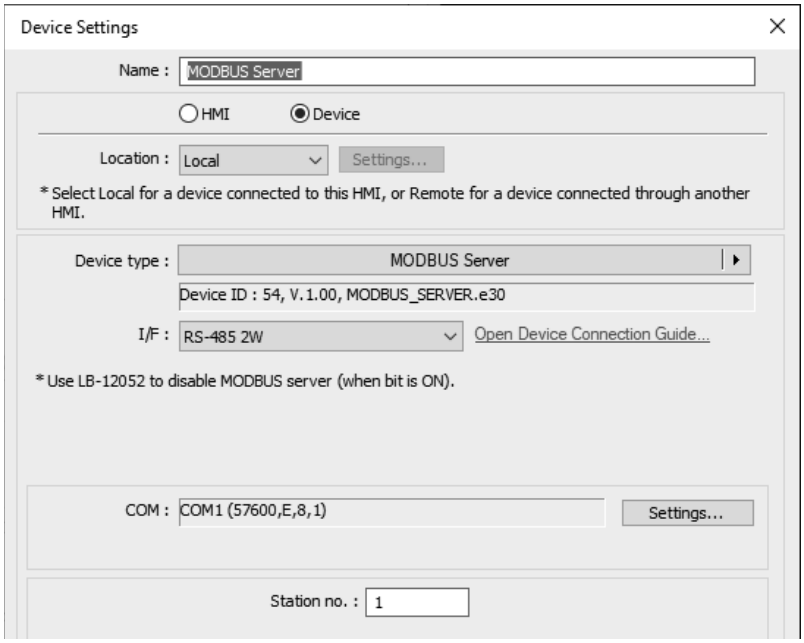


Рисунок 8.1 – Конфигурация системы панели Weintek в качестве slave по двухпроводному RS-485

Реализация графики выполнена в программе EasyBuilder Pro, а вся логика выполнена при помощи встроенных макросов, в которой используется собственный язык похожий на ST.

Работа с графикой, анимацией, а также обменом с другими устройствами в панели Weintek осуществляется по локальным регистрам. В таблице 8.1 приведены основные регистры. [2] Почти вся графика реализована к привязке к битам локальной памяти LB.

Таблица 8.1 – Основные регистры [2]

Память	Тип	Диапазон адресов	Формат адреса
Биты локальной памяти	LB	0 – 12095	DDDDD
Слова локальной памяти	LW	0 – 10799	DDDDD
Биты слов локальной памяти	LW_BIT	0 – 1079915	DDDDDdd, где DDDDD – адрес dd – номер бита (00-15)

Когда панель выступает в роли slave, ее локальные регистры непосредственно связываются с modbus регистрами. В данном работе используются только holding регистры, для них соответствуют слова в виде:

1 – 49999 ~ LW0 – LW9999. [2]

Особенность адресации в том, что адреса панели смещены на единицу.

8.2 Фрагменты графики для панели Weintek

Всего на панели реализуются 4 графических элемента: сигнал аналогового ввода, задвижка, клапан и вентилятор. На рисунке 8.2 приведены эти основные элементы, а также для примера представлены адресация регистров для первого каждого элемента в массиве.

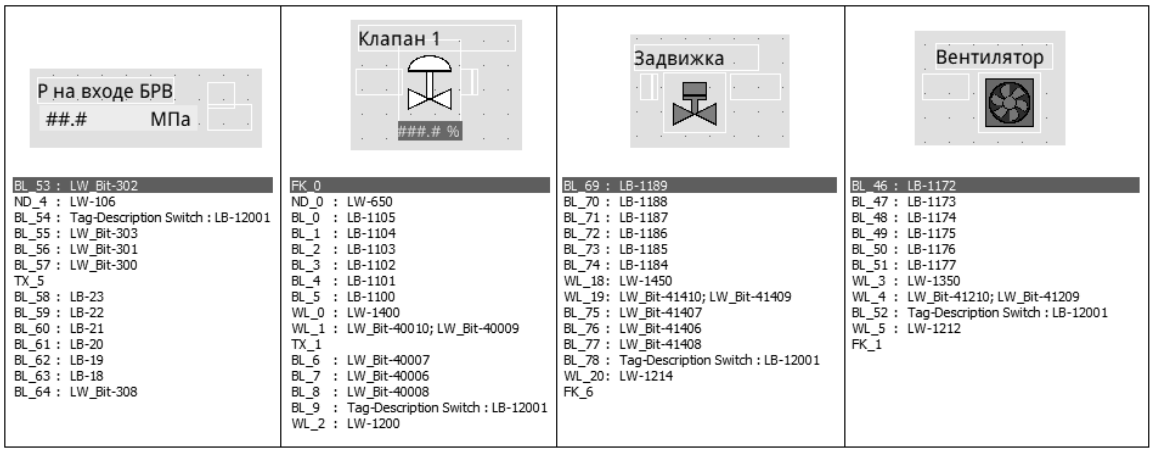
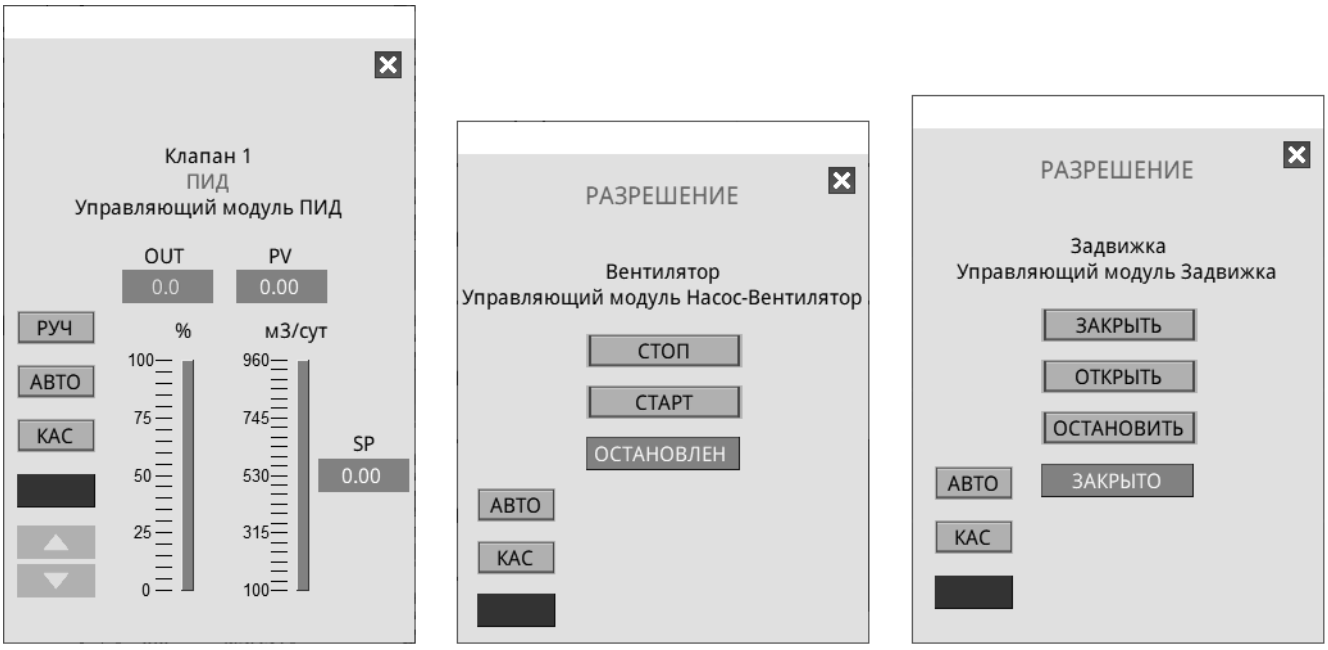


Рисунок 8.2 – Основные элементы графики управления механизмами:
а – элемент аналогового ввода, б – клапан, в – задвижка, г - вентилятор

LB регистры отвечают за анимацию отображения аварийной сигнализации: желтый цвет – предупредительная сигнализация, красный – критическая сигнализация, перечеркнутый – сигнализация была, но больше не активна, мигание означает, что сигнализация не подтверждена оператором или инженером. Регистры слов и их биты (LW и LW_bit) отображают информацию, полученную по Modbus. Tag description switch реализует переключение описателей между названием механизма и его тегом.

FK элемент отвечает за открытие панельки. На рисунке 8.3 приведены виды панелек управления механизмами.



а) б) в)

Рисунок 8.3 – Панельки, открываемые при нажатии на элемент:
а – панелька клапана, б – панелька вентилятора, в – панелька задвижки.

Управление регистрами анимации и управления реализуется в макросах, которые интерпретируют данные holding регистров Modbus. Все данные упаковываются в отдельные массивы для аналогового ввода, ПИД-клапана, а также задвижек и вентиляторов (DC блоки). В таблицах 8.2, 8.4, 8.6

представлены описания для каждого элемента. В таблицах 8.3, 8.5, 8.7 приведены диапазоны регистров массива.

Таблица 8.2 – Данные регистра для аналогового ввода

Регистр	Номер регистра в Weintek	Номер регистра в DeltaV_бит	Тип данных	Примечание
HH Active	LW_Bit-000	40001_00	bool	0 - HH сигнализация не активна, 1 - активна
H Active	LW_Bit-001	40001_01	bool	0 - H сигнализация не активна, 1 - активна
L Active	LW_Bit-002	40001_02	bool	0 - L сигнализация не активна, 1 - активна
LL Active	LW_Bit-003	40001_03	bool	0 - LL сигнализация не активна, 1 - активна
HH Ack	LW_Bit-004	40001_04	bool	0 - HH сигнализация не квитирована, 1 - квитирована
H Ack	LW_Bit-005	40001_05	bool	0 - H сигнализация не квитирована, 1 - квитирована
L Ack	LW_Bit-006	40001_06	bool	0 – L сигнализация не квитирована, 1 - квитирована
LL Ack	LW_Bit-007	40001_07	bool	0 – LL сигнализация не квитирована, 1 - квитирована
PV BAD	LW_Bit-008	40001_08	bool	1 - BAD
Ack Button	LW_Bit-009	40001_09	bool	Квитирует все сигнализации по изменению фронта
PV	LW-100	40101	float	Текущее значение сигнала процесса

Таблица 8.3 – Диапазоны регистров для аналогового ввода

	Диапазоны		Тип данных
	Weintek	DeltaV	
Ack Button, Status BAD, LL Ack, L Ack, H Ack, HH Ack, LL, L, H, HH	LW0 - LW99	40001 - 40100	int
PV	LW100-LW299	40101 - 40300	float

Таблица 8.4 – Данные регистра для вентиляторов (задвижек)

Регистр	Номер регистра в Weintek	Номер регистра в DeltaV_бит	Тип данных	Примечание
Critical Alarm Active	LW_Bit-40000	40401_00	bool	0 - неактивно, 1 - активно
Critical Alarm Ack	LW_Bit-40001	40401_01	bool	0 - не квитирован, 1 - квитирован
Warning Alarm Active	LW_Bit-40002	40401_02	bool	0 - неактивно, 1 - активно
Warning Alarm Ack	LW_Bit-40003	40401_03	bool	0 - не квитирован, 1 - квитирован
Warning Ack Button	LW_Bit-40004	40401_04	bool	Квитируется при изменении фронта
Critical Ack Button	LW_Bit-40005	40401_05	bool	Квитируется при изменении фронта
Местный режим	LW_Bit-40006	40401_06	bool	1 - 0 (используется только для задвижек)
0	LW_Bit-40007	40401_07	bool	1 - М (используется только для задвижек)
Дистанционный режим	LW_Bit-40008	40401_08	bool	1 - Д (используется только для задвижек)
Interlock	LW_Bit-40009	40401_09	bool	0 - Разблокирован, 1 - Заблокирован
Permission	LW_Bit-40010	40401_10	bool	0 - Есть разрешение, 1 - Нет разрешения
PV	LW-550 (LW-950)*	40551 (40951)*	int	0 - Остановлен, 1 - Работает, 255 - Неопределенно (Задвижка: 0 - Закрыто, 1 - Открыто, 2 - Остановлен, 255 – неопределенно)
SP	LW-551 (LW-951)*	40552 (40952)*	int	0 - Стоп, 1 Старт (Клапан: 0 - Закрыть, 1 - Открыть, 2 - Остановить; трехходовой: 0 - Перекрыть, 1 - Сборный, 2 - Замерный)
Select Mode (Target)	LW-1050	41051	int	16 - Авто, 32 - Кас
Mode (Actual)	LW-1200	41201	int	4 - АО, 16 - Авто, 32 - Кас

Таблица 8.5 – Диапазоны регистров для вентиляторов (задвижек)

	Диапазоны		Тип данных
	Weintek	DeltaV	
Critical Alarm Active, Critical Alarm Ack, Warning Alarm Active, Warning Alarm Ack, Warning Ack Button, Critical Ack Button, Местный режим, 0, Дистанционный режим, Interlock, Permission	LW400 - LW549	40401 - 40550	int
Select Mode (Target)	LW1050 - LW1199	41051 - 41200	int
Mode (Actual)	LW1200 - LW1349	41201 - 41350	int
PV, SP	LW550 - LW649 (LW950 - LW1049)*	40551 - 40650 (40951 - 41050)*	int

Таблица 8.6 – Данные регистра для клапанов

Регистр	Номер регистра в Weintek	Номер регистра в DeltaV_бит	Тип данных	Примечание
Critical Alarm Active	LW_Bit-40000	40401_00	bool	0 - неактивно, 1 - активно
Critical Alarm Ack	LW_Bit-40001	40401_01	bool	0 - не квитирован, 1 - квитирован
Warning Alarm Active	LW_Bit-40002	40401_02	bool	0 - неактивно, 1 - активно
Warning Alarm Ack	LW_Bit-40003	40401_03	bool	0 - не квитирован, 1 - квитирован
Warning Ack Button	LW_Bit-40004	40401_04	bool	Квитируется при изменении фронта
Critical Ack Button	LW_Bit-40005	40401_05	bool	Квитируется при изменении фронта
0	LW_Bit-40006	40401_06	bool	1 - 0
Местный режим	LW_Bit-40007	40401_07	bool	1 - М
Дистанционный режим	LW_Bit-40008	40401_08	bool	1 - Д
Interlock	LW_Bit-40009	40401_09	bool	0 - Разблокирован, 1 - Заблокирован

Продолжение таблицы 8.6

Регистр	Номер регистра в Weintek	Номер регистра в DeltaV_бит	Тип данных	Примечание
OUT PV	LW-650 LW-652	40651 40653	float float	Открытие клапана в процентах Текущее значение
SP	LW-654	40655	float	Уставка
Select Mode (Target)	LW-1050	41051	int	8 - Руч, 16 - Авто, 32 - Кас
Mode (Actual)	LW-1200	41201	int	4 - АО, 8 - Руч, 16 - Авто, 32 - Кас

Таблица 8.7 – Диапазоны регистров для клапанов

	Диапазоны		Тип данных
	Weintek	DeltaV	
Critical Alarm Active, Critical Alarm Ack, Warning Alarm Active, Warning Alarm Ack, Warning Ack Button, Critical Ack Button, Местный режим, 0, Дистанционный режим, Interlock	LW400 - LW549	40401 - 40550	int
Select Mode (Target)	LW1050 - LW1199	41051 - 41200	int
Mode (Actual)	LW1200 - LW1349	41201 - 41350	int
OUT, SP, PV	LW650 - LW949	40651 - 40950	float

На основании данных описанных в таблицах регистров в приложениях А, Б, В, Г, Д приведены макросы.

В системе предусмотрен сторожевой таймер, который принимает значения от 0 до 60, сравнивает значения, и если значения через 5 секунд равны, то на экран выводится сообщение «НЕТ СВЯЗИ». Макрос, реализующий эту функцию приведен ниже.

```
macro_command main()
short time
short timer1
short timer2
bool no_signal
time = 5000
GetDataEx(timer1, "Local HMI", LW, 1348, 1)
SetDataEx(timer1, "Local HMI", LW, 1349, 1)
DELAY(time)
GetDataEx(timer2, "Local HMI", LW, 1348, 1)

if timer1 <> timer2 then
     no_signal = 0
else
     no_signal = 1
end if
SetDataEx(no_signal, "Local HMI", LB, 12002, 1)
```

Графика для всех кустов скважин реализуется одинаково. Рассмотрим, как и ранее, на примере куста скважин К-8. Ниже приведены рисунки 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7 основных экранов.

8.3 Общий внешний вид графики для панели Weintek

Общий вид графики на примере куста скважин К-8 состоит из 6 экранов, с возможностью навигации при помощи сенсорных кнопок, находящихся снизу каждого экрана. Также для всех экранов предусмотрена кнопка переключения между названием устройств и их тегами. На рисунках 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 представлены эти экраны.

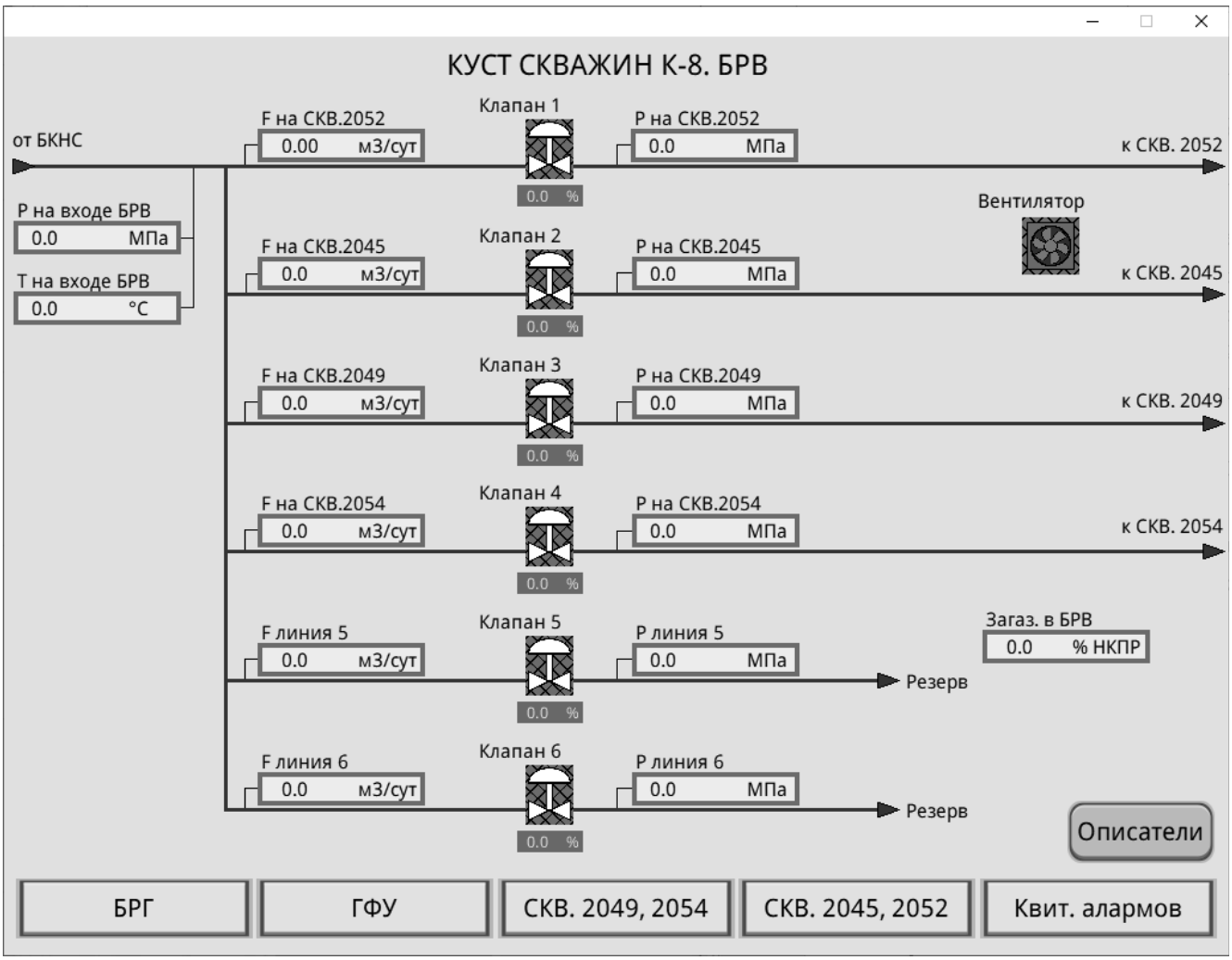


Рисунок 8.4 – Экран БРВ

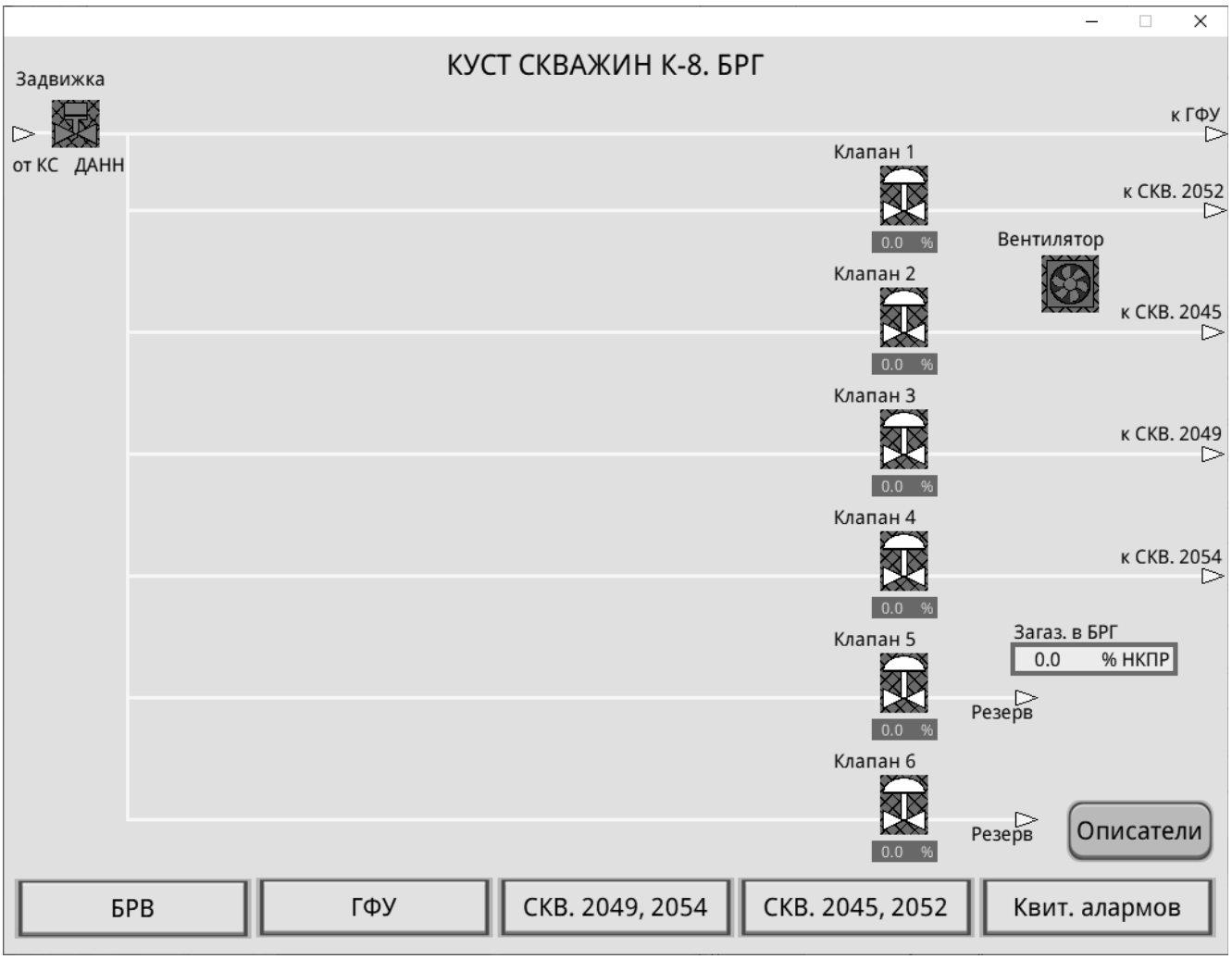


Рисунок 8.5 – Экран БРГ

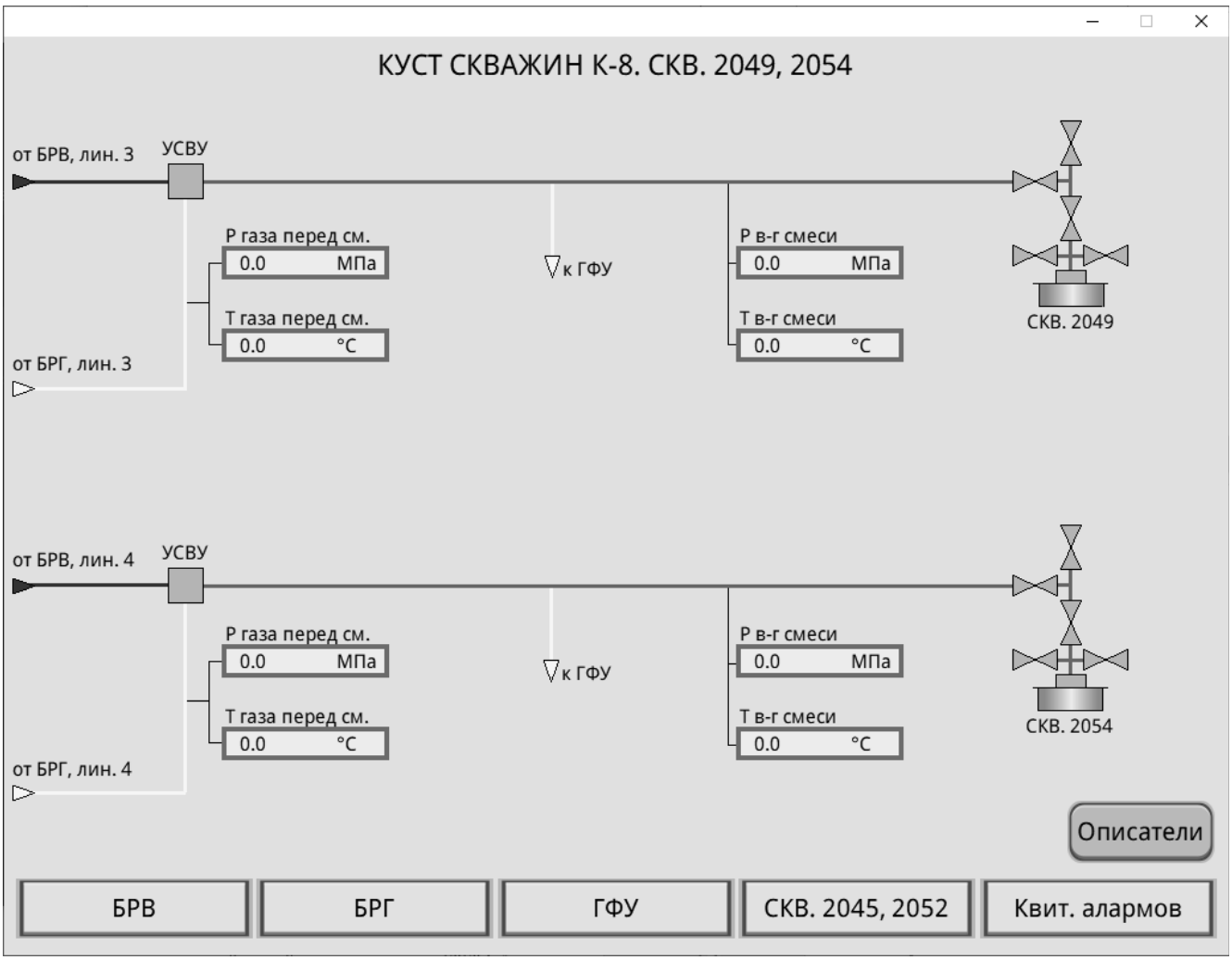


Рисунок 8.6 – Экран скважин 4, 5

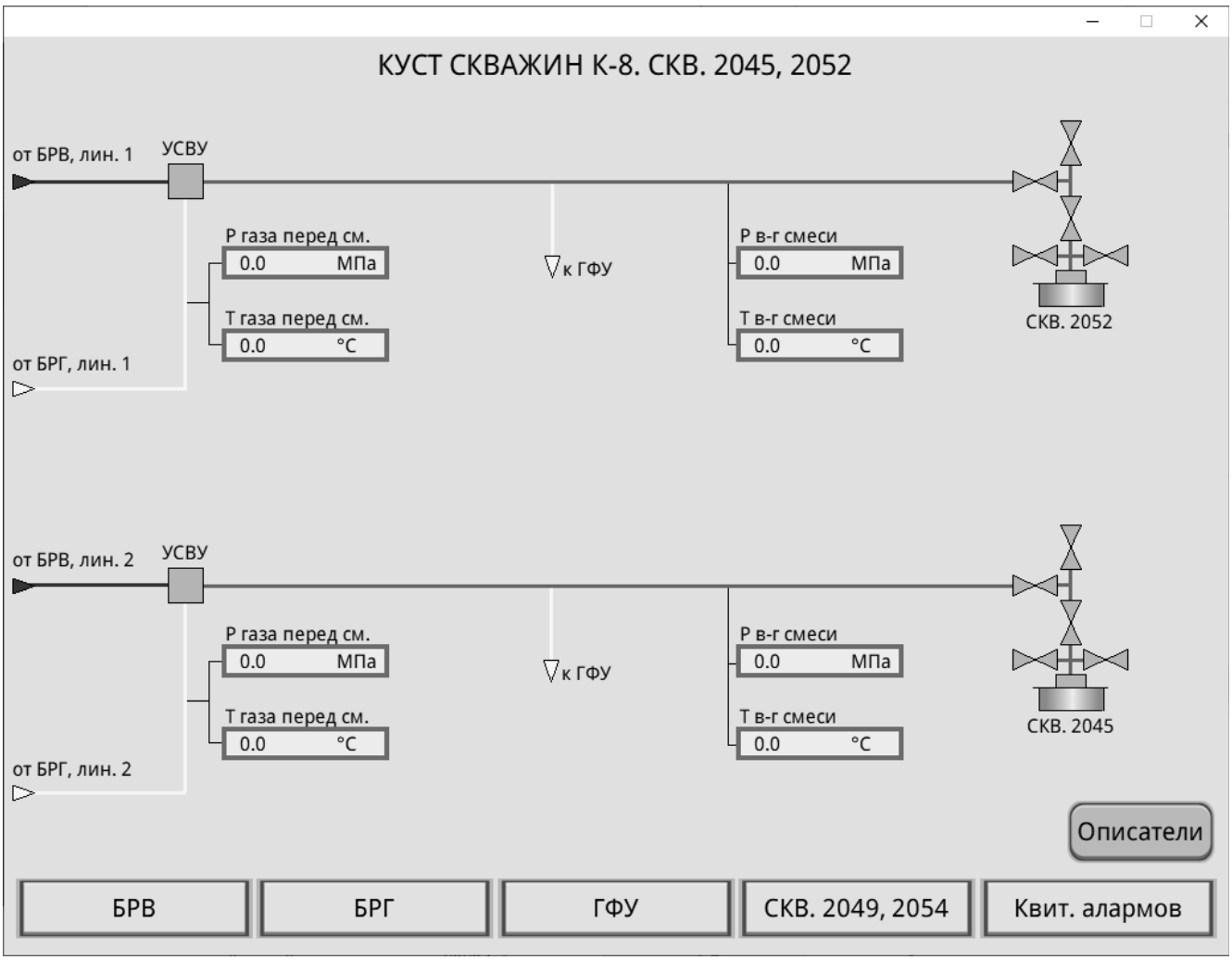


Рисунок 8.6 – Экран скважин 7, 8

Подтверждение аварийной сигнализации вынесено на отдельный экран: при появлении сигнализации появляется галочка, при нажатии на которую сигнализация квитируется. На рисунке 8.7 представлен этот экран.

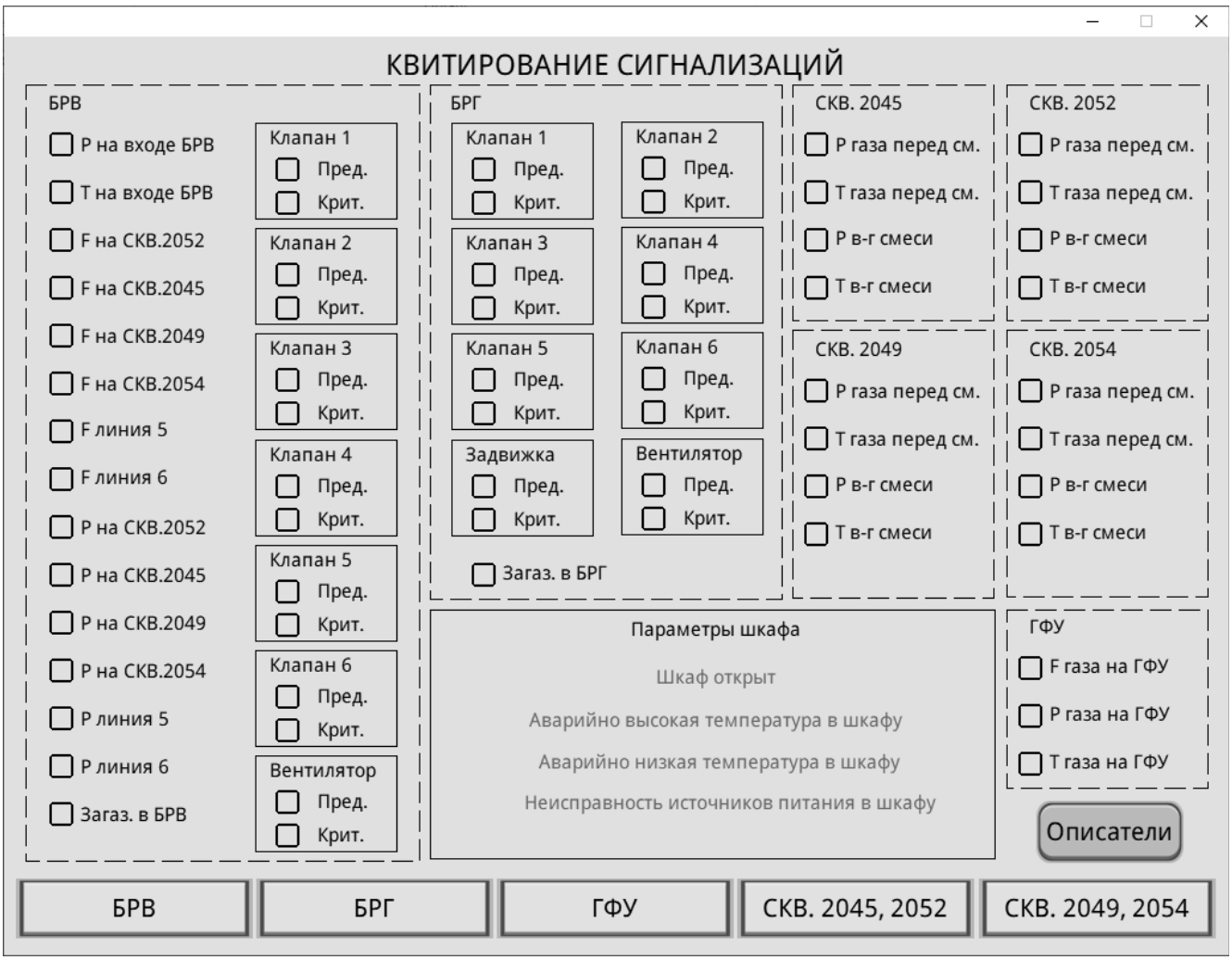


Рисунок 8.7 – Экран квитирования сигнализации

На этих экранах реализован общий функционал, позволяющий наблюдать за процессом и принимать решения к непосредственной близости к шкафу управления и оборудованию системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрена система поддержания пластового давления (ППД) представляет собой комплекс технологического оборудования необходимый для подготовки, транспортировки, закачки водогазовой фракции в пласт нефтяного месторождения с целью поддержания пластового давления и достижения максимальных показателей отбора нефти из пласта.

Описаны технологические процессы и схемы производственных сооружений в части воды: блок куста насосных станций, установка водораспределительная, площадка куста водозаборных скважин, площадка куста дозирования реагентов, емкость дренажная, участок водонапорного водовода на примере куста К-8 и система электрическая обогрева; в части газа описаны: блок распределительный газовый, узел смешения воды с углеводородной фракцией, горизонтальная факельная установка и участок газопровода на примере куста К-8.

Описаны нормы и контроль технологического процесса, алгоритмы пуска системы.

Разработана система автоматизации насосной станции на базе предоставленных с техническим заданием организации синхронных двигателей 2СТД2500-РУХЛ4 с преобразователем частоты HD94-J100/3150. Для защиты электроприводов выбраны автоматические выключатели фирмы Schneider Electric LF на 6 кВ и током 1250 А. Для интеграции в систему DeltaV компании Emerson выбран контроллер DeltaV SQ SE3008, блок питания контроллера SE5009 и несущая панель SE3051C0, в которую вставляются контроллер и блок питания. Выбраны карты для реализации сигналов ввода/вывода контроллера, вставляемые в горизонтальную панель SE4059E0C0. В качестве полноценного пульта управления выбрана сенсорная панель HMI фирмы Weintek MT8150XE. Для питания панелей и HMI выбран групповой источник питания компании Emerson DeltaV 24 В 20 А, а для защиты выбран автоматический выключатель EKF DA63-6-30.

Реализована основная часть работы – разработка системы визуализации системы поддержания пластового давления в человеко-машинном интерфейсе в виде сенсорной панели Weintek. Рассмотрена программная реализация обмена данными между панелью и контроллером по протоколу Modbus RTU. Описан скрипт на примере модуля аналогового ввода, загружаемого в контроллер. Разработаны фрагменты графики, дублирующие систему DeltaV, и программы распаковки данных, приходящих по Modbus, для разным элементов управления: клапанов, задвижек, аналоговых сигналов. Приведены адреса распределения памяти панели Weintek.

В итоге разработаны мнемосхемы, осуществляющие непосредственный контроль системы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Спецификация панели Weintek – https://weintek.pro/catalogue/xe_series/mt8150xe (актуально на 18.05.2020)

2 Руководство пользователя EasyBuilder Pro – https://insat.ru/products/weintek/ebpPro_re.pdf (актуально на 18.05.2020)

3 Характеристики SQ контроллера DeltaV – https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-deltav-sq-controller-en-57724.pdf (актуально на 24.05.2020)

4 Характеристики DC-DC источника питания S серии DeltaV – https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-s-series-dc-to-dc-power-supply-deltav-en-56314.pdf (актуально на 24.05.2020)

5 Несущие горизонтальные панели DeltaV S серии – https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-s-series-horizontal-carriers-deltav-en-56322.pdf (актуально на 24.05.2020)

6 Групповые источники питания – https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-deltav-bulk-power-supply-deltav-en-57618.pdf (актуально на 24.05.2020)

7 Преобразователи частоты Inovace HD9x – https://www.idelectro.ru/upload/iblock/b03/b0367efae0b3aa55a0e40a233123970c.pdf (актуально на 25.05.2020)

8 СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. / Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова.– Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Ниже представлен макрос анализа сигнализаций сигнала аналогового ввода.

```
macro_command main()

//Указать кол-во AI
unsigned short M_AI_Alrm_Status[54]
bool M_AI_Alrm_Ack_Result[54]
bool M_AI_Alrm_Result[54]
//Указать кол-во AI - пакет битов: 0 - HH, 1 - H, 2 - L и тд
unsigned short M_AI_Alrm[54]
//Указать кол-во бит состояния сигнализации = Кол-во AI * 6
bool M_AI_Alrm_State[324]
//Указать кол-во AI
unsigned short M_AI_Alrm_Status_Count = 54
int j
int k
int l = 0
//Указать начальный адрес считывания сигнализации AI
int m = 0
//Указать начальный бит состояния сигнализации AI
int n = 0
int p = 600
int o = 700
//Указать кол-во AI
unsigned short mask0[54]
unsigned short mask1[54]

GetDataEx(M_AI_Alrm[0], "Local HMI", LW, m, M_AI_Alrm_Status_Count)

for k = 0 to (M_AI_Alrm_Status_Count - 1)
     M_AI_Alrm_Status[k] = AIAlarmAnalyze(M_AI_Alrm[k])

     for j = 0 to 5
          GETBIT(M_AI_Alrm_Status[k], M_AI_Alrm_State[l], j)
          SetDataEx(M_AI_Alrm_State[l], "Local HMI", LB, n, 1)
          l = l + 1
          n = n + 1
     next j

     mask0[k] = M_AI_Alrm[k]& 0xF0
     if ( mask0[k] == 240 ) then
          M_AI_Alrm_Ack_Result[k] = true
     else
          M_AI_Alrm_Ack_Result[k] = false
     end if

     SetDataEx(M_AI_Alrm_Ack_Result[k], "Local HMI", LB, p, 1)
```

```
      mask1[k] = M_AI_Alrm[k]& 0x0F
      if ( mask1[k] > 0) then
           M_AI_Alrm_Result[k] = true
      else
      M_AI_Alrm_Result[k] = false
      end if

      SetDataEx(M_AI_Alrm_Result[k], "Local HMI", LB, o, 1)

      o = o + 1
      p = p + 1

      next k
end macro_command
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Ниже представлен макрос анализа сигнализаций сигналов устройств: клапана, задвижки, вентилятора

```
. device alarm analize

macro_command main()
//Указать кол-во Dev
unsigned short M_Dev_Alrm_Status[16]
//Указать кол-во устрйоствв = Кол-во Dev
unsigned short M_Dev_Alrm[16]
//Указать кол-во бит состояния сигнализации = Кол-во Dev * 6
bool M_Dev_Alrm_State[96]
//Указать кол-во AI
unsigned short M_Dev_Alrm_Status_Count = 16
unsigned short M_Dev_Alrm_Count
int j
int k
int l = 0
//Указать начальный бит считывания сигнализаций Dev
int m = 400
//Указать начальный бит состояния сигнализаций Dev
int n = 1100


GetDataEx(M_Dev_Alrm[0], "Local HMI", LW, m, M_Dev_Alrm_Status_Count)

for k = 0 to (M_Dev_Alrm_Status_Count - 1)
     M_Dev_Alrm_Status[k] = DevAlarmAnalyze(M_Dev_Alrm[k])

     for j = 0 to 5
          GETBIT(M_Dev_Alrm_Status[k], M_Dev_Alrm_State[l], j)
          SetDataEx(M_Dev_Alrm_State[l], "Local HMI", LB, n, 1)
          l = l + 1
          n = n + 1
     next j

next k

end macro_command
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Ниже представлен макрос анализа состояния работы вентилятора (например, «запускается», «запущен», «останавливается» и т.д.).

```
macro_command main()
//Указать кол-во Pump и Fan * 2
unsigned short M_Pump_Fan_State[6]
//Указать кол-во Pump и Fan
unsigned short M_Pump_Fan_Status[3]
//Указать кол-во Pump и Fan
unsigned short M_Pump_Fan_Status_Count = 3
unsigned short M_Pump_Fan_State_Count
int a = 0
int b = 1
int i
int k
//Указать начальный регистр считывания режима Pump и Fan
unsigned short m = 550
//Указать начальный регистр состояния режима Pump и Fan
unsigned short n = 1350

M_Pump_Fan_State_Count = M_Pump_Fan_Status_Count * 2

for i = 0 to (M_Pump_Fan_State_Count - 1)
     GetDataEx(M_Pump_Fan_State[i], "Local HMI", LW, m, 1)
     m = m + 1
next i

for k = 0 to (M_Pump_Fan_Status_Count - 1)
     M_Pump_Fan_Status[k] = PumpFanStatusAnalyze(M_Pump_Fan_State[a],
M_Pump_Fan_State[b])
     SetDataEx(M_Pump_Fan_Status[k], "Local HMI", LW, n, 1)
     n = n + 1
     a = a + 2
     b = b + 2
next k

end macro_command
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Ниже представлен макрос анализа состояния работы задвижки (например, «открыта», «закрыта» и т.д.).

```
macro_command main()
//Указать кол-во Valve * 2
unsigned short M_Valve_State[4]
//Указать кол-во Valve
unsigned short M_Valve_Status[2]
//Указать кол-во Valve
int M_Valve_Status_Count = 2
int M_Valve_State_Count
int a = 0
int b = 1
int i
int k
//Указать начальный регистр считывания режима Valve
unsigned short m = 950
//Указать начальный регистр состояния режима Valve
unsigned short n = 1450

M_Valve_State_Count = M_Valve_Status_Count * 2

for i = 0 to (M_Valve_State_Count - 1)
     GetDataEx(M_Valve_State[i], "Local HMI", LW, m, 1)
     m = m + 1
next i

for k = 0 to (M_Valve_Status_Count - 1)
     M_Valve_Status[k] = ValveStatusAnalyze(M_Valve_State[a],
M_Valve_State[b])
     SetDataEx(M_Valve_Status[k], "Local HMI", LW, n, 1)
     n = n + 1
     a = a + 2
     b = b + 2
next k

end macro_command
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Ниже представлен макрос анализа состояния работы клапана (например, «открывается», «закрывается» и т.д.).

```
macro_command main()
//Указать кол-во Control Valve
float M_ControlValve_Position[13]
unsigned short M_ControlValve_Status[13]
unsigned short M_ControlValve_Status_Count = 13
unsigned short M_ControlValve_Position_Count
int a = 0
int i
int k
//Указать начальный регистр считывания положения Control Valve
int m = 650
//Указать начальный регистр состояния Control Valve
int n = 1400

M_ControlValve_Position_Count = M_ControlValve_Status_Count

for i = 0 to (M_ControlValve_Position_Count - 1)
     GetDataEx(M_ControlValve_Position[i], "Local HMI", LW, m, 1)
     m = m + 6
next i

for k = 0 to (M_ControlValve_Status_Count - 1)
     M_ControlValve_Status[k] =
ControlValveStatusAnalyze(M_ControlValve_Position[a])
     SetDataEx(M_ControlValve_Status[k], "Local HMI", LW, n, 1)
     n = n + 1
     a = a + 1
next k

end macro_command
```