Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждение высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

(ЛФ ПНИПУ)

Факультет высшего образования
Направление 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра «Общенаучных дисциплин»

Зав.кафедрой ОНД
_____Е.Н.Хаматнурова
«___» _____ 20___ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему Разработка системы управления испытательного стенда центробежных насосов на предприятии ЗАО НПО «КамРЭЗ»

Студент _____ (Н.С. Кошкин)

Состав выпускной квалификационной работы:
1. Пояснительная записка на 46 стр.
2. Графическая часть на 3 листах.

Руководитель выпускной квалификационной работы

_____(И.В. Сошин)

Лысьва, 2020

Содержание

Обозначения и сокращения....3
Введение....4
Глава 1....6
1.1 Испытательный стенд....6
1.2 Центробежный насос....6
1.3 Рабочая характеристика насоса....8
1.4 Испытание насоса....10
Глава 2....16
2.1 Выбор оборудования....16
2.1.1 Операторская панель....16
2.1.2 Программируемый логический контроллер....21
2.1.3 Расходомер....24
2.1.4 Преобразователь частоты....25
2.1.5 Блок питания....28
2.1.6 Датчик давления....29
Глава 3....31
3.1 Разработка принципиальной электрической схемы....31
3.2 Программное обеспечение....33
3.2.1 Создание программы для ПЛК Pixel 1211....33
3.2.2 Создание программы для Weintek MT8050iE....39
Заключение....44
Список используемых источников....45
ПРИЛОЖЕНИЕ А....47
ПРИЛОЖЕНИЕ Б....48
ПРИЛОЖЕНИЕ В....49

Обозначения и сокращения

АД – асинхронный двигатель;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПЧ – преобразователь частоты

FBD - графический язык программирования (стандарта МЭК 61131-3**)**

КПД – коэффициент полезного действия

Введение

Одним из самых распространённых промышленных механизмов является центробежный насос. Его основное назначение перекачка различных жидкостей по различным трубопроводам. Отечественная промышленность ежегодно потребляет тысячи насосов, поэтому производство насосов различного назначения и есть актуальная задача.

Конструкция центробежного насоса относительна проста, он состоит из электродвигателя, вала на котором закреплено рабочее колесо и проточные части так называемой «улитки». Все элементы могут быть закреплены на раме или установлены в единый корпус. Вращения электродвигателя приводит к вращению рабочего колеса, лопатки которого захватывают жидкость и проталкивают его в напорный трубопровод. Любой центробежный насос характеризуется целым рядом параметров, к ним относятся: электрические, например, ток и мощность потребляемая двигателем; механические – скорость вращения вала и гидравлические параметры такие как: высота подъёма и расхода жидкости. При выпуске из производства требуется подтверждение этих параметров на соответствие паспортным данным. Это приводит к необходимости проведения испытания готового оборудования с использованием специальных технических устройств.

Испытательная насосная установка содержит большое число разнообразных датчиков, показания которых записываются в протокол испытаний. Учитывая, что насос нужно испытывать на разных режимах, отличающихся по расходу и давлению жидкости, количество снимаемых данных становится очень большим. В результате, относительно простая задача испытания насоса оборачивается длинным и трудоемким процессом, требующим подготовленный персонал с высокой степенью ответственности.

Развитие современной техники автоматизации привело к появлению устройств с высокой интеллектуальностью, обеспечивающих автоматическую работу по разнообразным алгоритмам. Применение подобных устройств может снизить требования к персоналу испытательных станций, повысить скорость проведения и качества проведения испытаний, исключить человеческий фактор и увеличить общую производительность.

Актуальность: данная работа выполняется по заказу ООО «ИПК Техноконтроль», изготавливающего испытательную станцию для производителя насосов ЗАО НПО «КамРЭЗ».

Цель: Разработка проекта автоматизации испытательного стенда насосов.

Задачи:

1) Изучить принцип действия испытательной станции, определить основные параметры характеризующие основную работу оборудования;

2) Выбрать комплект оборудования позволяющий решить задачи стоящие перед испытательной станцией;

3) Разработать принципиальную электрическую схему системы автоматизации;

4) Разработать алгоритм функционирования оборудования.

Глава 1

1.1 Испытательный стенд

Испытательный стенд — это лабораторное оборудование, которое предназначено для специальных, контрольных, приёмочных испытаний разнообразных объектов. При данных испытаниях объекты подвергаются действию нагрузок, сопоставимых или превышающих нагрузкам в реальных условиях. Целью подобных испытаний является выяснение реакции объекта на специфические условия и предельных значений нагрузки.

Структурно-испытательный стенд представляет собой совокупность:

- рабочего поля (плиты, станины или другого устройства для закрепления тестируемого устройства);
- подсистемы нагрузки образца (вибрационную, электрическую или прочую в зависимости от типа испытаний);
- контрольно-измерительной аппаратуры, предназначенной для снятия показателей реакции образца на нагрузку.

Преимуществом перед испытаниями на стенде в реальных условиях, является возможность оценки реакции образца на определённый тип и величину нагрузки при прочих фиксированных параметрах, что позволяет выявить скрытые конструктивные недостатки.[1]

1.2 Центробежный насос

Насос - гидравлическая машина, предназначенная для подъема жидкости и перемещения ее из одного места в другое. Многообразие требований к насосам в различных отраслях техники и строительства привело к тому, что в настоящее время существует значительное количество насосов, различающихся между собой принципом действия, конструкций и т.д. Насосы отличаются весьма большим разнообразием по конструктивному исполнению и предназначаются для перекачки жидкостей: воды, нефти и продуктов ее переработки. [2]

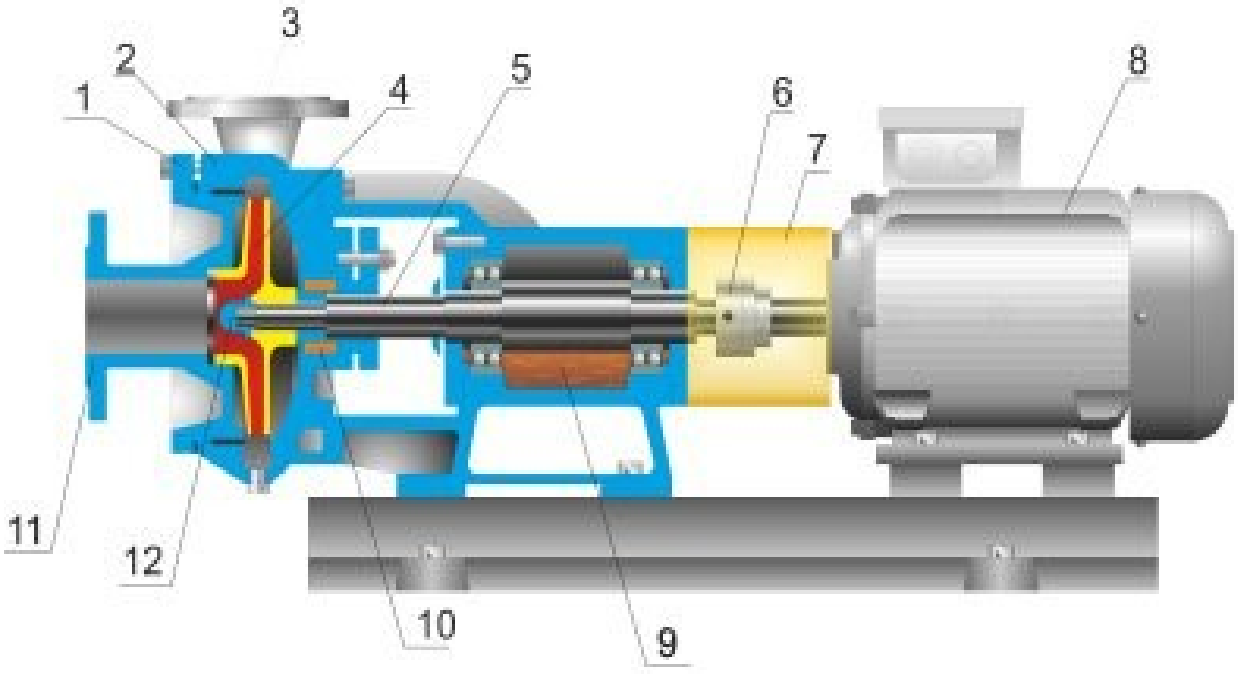


Рисунок 1. Устройство центробежного насоса

Насос состоит из двигателя (8), крышки корпуса (1), корпус (2), нагнетательный патрубок (3), всасывающий патрубок (11), свободно вращающегося в всасывающем патрубке лопастное колесо (4),представляет собой камеру, в которой расположена система лопастей. Корпус насоса (2), объединяет в себе все элементы насоса, для подвода жидкости к лопастному колесу, отвода потока от него и для преобразования скорости энергии потока, выходящего из колеса в давление. Рабочее колесо насоса закреплено на валу (5), вал насоса и двигателя соединены муфтой (6). В месте прохода вала через отверстие из корпуса расположено сальниковое уплотнение (10), предупреждающее вытекание жидкости из корпуса наружу. Вал опирается на подшипник (9).

Основной считается зависимость подачи насоса от его напора, так называемую Q-H характеристику. Расход мощности и КПД являются уже следствием работы насоса по созданию подачи Q и напора H, которые и являются целью приобретения насоса.

Характеристика каждого насоса определяется только путем его испытания. Аналитические способы построения характеристик очень сложны и не дают достаточно надежных результатов. Технические характеристики насосов получают при проведении испытаний.

1.3 Рабочая характеристика насоса.

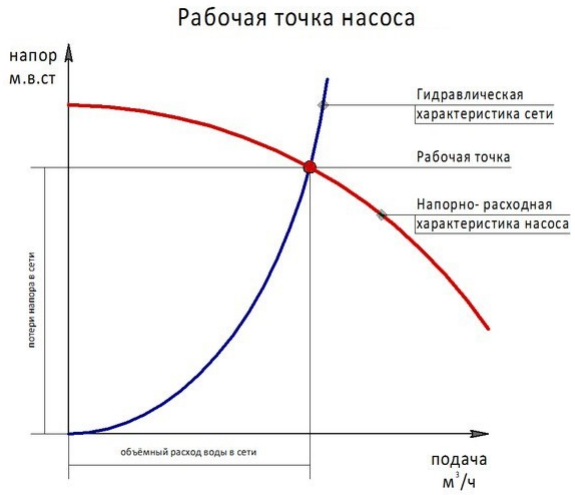


Рисунок 2. Рабочая характеристика насоса

Рабочая характеристика – это кривая, на которой отражена зависимость между подачей и напором насоса. На рабочей характеристике указывается рабочая точка.

Рабочая точка насоса – это точка на пересечении гидравлической характеристики сети и напорно-расходной (напорной характеристики) характеристики насоса.

Выбирают рабочую точку циркуляционного насоса уже на нисходящей ветки кривой Q-H. Это область устойчивой работы насоса. Восходящая часть кривой Q-H является областью неустойчивой работы, частых срывов подачи.

Мощность насоса при нулевой подаче имеет некоторое значение, которое называется мощность холостого хода. При работе на холостом ходу полезная подача (производительность) насоса равна нулю, а,

следовательно, его КПД так же равен нулю – жидкость не перемещается. С возрастанием подачи КПД растет до своего оптимального значения, а затем начинает падать.

Техническая характеристика центробежного насоса дает достаточно полное представление о свойствах насоса в эксплуатации, его сильных и слабых сторонах, и его работе в трубопроводной сети.

Изменение технической характеристики насоса или характеристики системы для обеспечения требуемой подачи, называется регулированием насосной установки, и осуществляется несколькими способами.

Регулирование воздействием на систему является наиболее распространенным и простым способом. В этом случае регулирование осуществляется задвижкой или вентилем, устанавливаемым обычно в непосредственной близости от насоса на напорном трубопроводе. Такой способ регулирования называется дросселированием.

Дросселирование на всасывающем трубопроводе не рекомендуется из-за опасности возникновения кавитации. Каждому положению задвижки соответствует своя характеристика системы и рабочая точка, которая перемещается от исходного значения подачи к требуемому.

Другой способ регулирования работы насоса – это регулирование изменением частоты вращения насоса. Этот способ позволяет свести к минимуму потери, не требует изменения характеристики системы, но предполагает использование привода с регулируемой частотой вращения, либо специальных устройств.

Остальные способы изменения технической характеристики насоса требуют вмешательства в его конструкцию, например, возможно:

- уменьшить напор, применив направляющий входной аппарат регулирования;
- подачу насоса путем изменения угла установки лопастей рабочего колеса;

- для многоступенчатого насоса можно воспользоваться изменением числа работающих ступеней. [3]

1.4 Испытание насоса

Классификация видов испытания.

Классификация методов испытаний проводится в зависимости от показателей, факторов и явлений, которые определяют, контролируют или исследуют при испытаниях. В качестве примеров назовём несколько видов:

- энергетический - получение или контроль характеристик напорной, мощностной и КПД;
- кавитационный - получение или контроль характеристик, или показателей кавитации, или исследование кавитационных явлений;
- балансный - получение количественных значений мощности различного вида потерь энергии;
- получение полной напорной (и моментной) круговой характеристики;
- сравнительно ресурсный - выяснение, какой из испытуемых образцов более долговечен;
- тепловой - определение установившейся температуры элементов насоса;
- на температурную стойкость - определение предельно допустимой для насоса температуры перекачиваемой среды;
- на «угонную» угловую - определение максимальной угловой скорости обратного вращения при работе насоса в турбинном режиме, который имеет место в некоторых установках при выключении двигателя;
- на сохраняемость - определение защитных свойств консервирующих средств и назначенного срока хранения в заданных условиях.

Гидравлический метод испытания

Получение напорной и энергетической характеристик.

Гидравлические испытания включают получение и контроль напорной, энергетической и кавитационной характеристик.

При стендовых испытаниях на каждом режиме должны измеряться и записываться:

- частота вращения (для электронасосов - частота и напряжение);
- расход;
- давление;
- крутящий момент или мощность на валу (для электронасосов - потребляемая электрическая мощность).

Вибрационный метод испытаний

Вибрационные испытания могут проводиться с целью:

- установить, что вибрация не превышает санитарной или другой нормы, определяемой состоянием насоса;
- выявить и устранить конструктивные недостатки насосов, приводящие к повышенной виброактивности;
- проконтролировать качество изготовления и сборки насоса (уравновешенность, зазоры в опорах);
- определить границы применимости насоса по параметрам (расхода, надкавитационному давлению);
- выявить процессы, происходящие в насосе.

Виброчастотная характеристика и общий уровень вибрации снимаются на заданном режиме, чаще всего на номинальной или при максимальной виброактивности.

Тепловой метод испытаний

При тепловых испытаниях должна определяться максимальная установившаяся температура элементов обкатанного насоса, перегрев которых может привести к отказу. Эти испытания обязательно должны проводиться с насосами, имеющими систему охлаждения.[4]

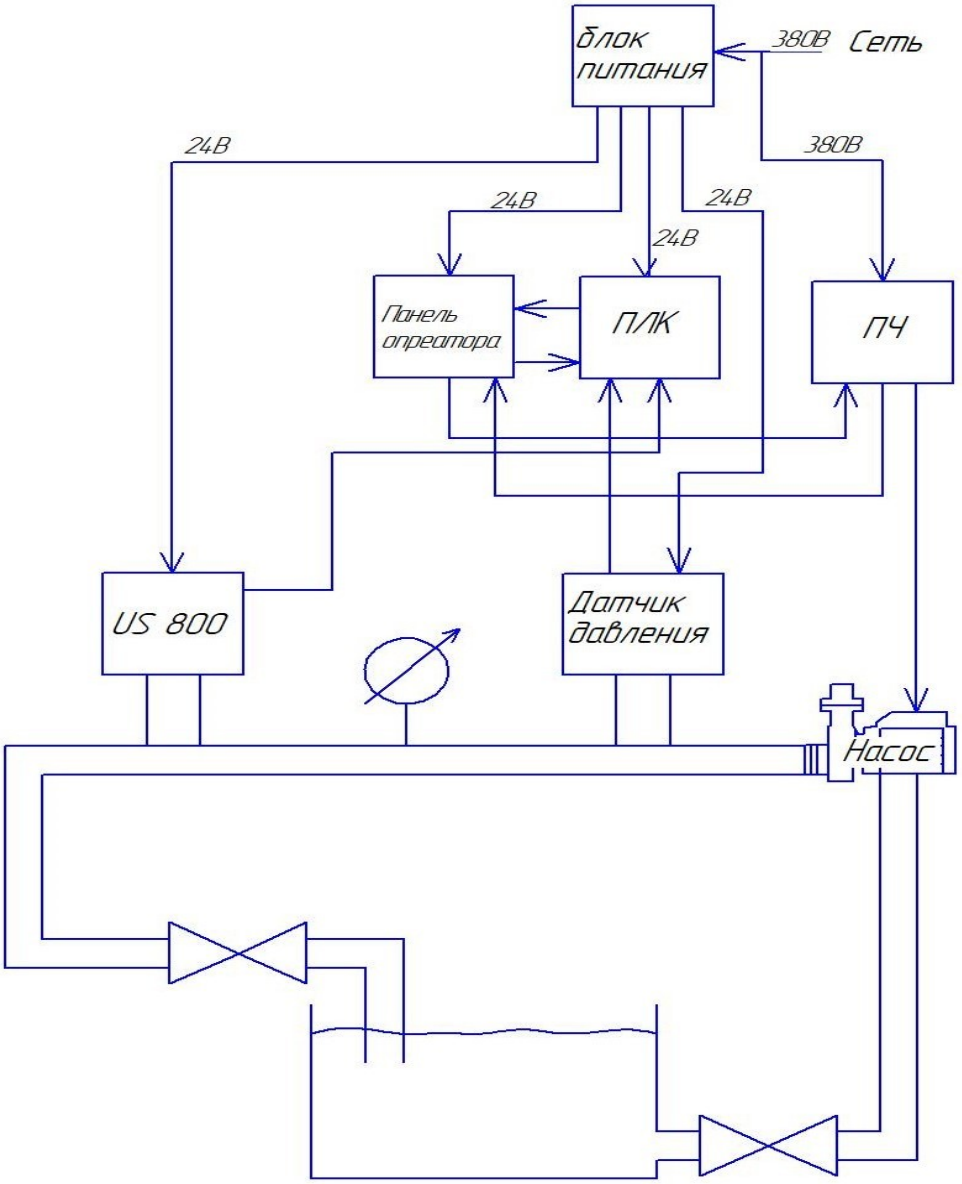


Рисунок 3. Структурная схема испытательного стенда

Испытательный стенд состоит из (Рисунок3):

- открытого резервуара;
- трубопровода;
- запорной арматуры;

- насоса;
- двигатель;
- манометр;
- расходомер;
- датчик давления.

При испытании насоса, жидкость совершает замкнутый цикл. Забираемая насосом из резервуара жидкость, подается в напорную сеть, состоящую из участка трубопровода с расходомером и дроссельной задвижкой, а потом снова возвращается в резервуар.

При этом вся энергия, получаемая жидкостью в насосе, поглощается преимущественно в дроссельной задвижке. Закрывая и открывая задвижку, можно изменять подачу насоса с нуля до некоторого максимального значения. Число оборотов насоса в течение одного опыта сохраняется постоянным.

При разных открытиях дроссельной задвижки производят замеры: подачи, напора, рабочее давление нагнетания насоса, давления всасывания, температуры жидкости и мощности, потребляемой насосом.

Основными техническими параметрами, характеризующими работу насосов, являются:

- подача;
- напор;
- потребляемая мощность;
- коэффициент полезного действия;
- скорость вращения вала насоса;
- высота всасывания.

Подача – количество жидкости, которое подается насосом в напорный патрубок в единицу времени. Различают понятия объемной Q и массовой M подачи насоса, которые связаны между собой отношением

$$Q = \frac{M}{P} \qquad (1)$$

Массовой подачей обычно измеряется количество перекачиваемых горячих жидкостей, а также нефти и нефтепродуктов. Объемной подачей обычно измеряется количество перекачиваемых холодных жидкостей и при расчетах проточной части насоса.

Напор – приращение механической энергии единицы веса жидкости, прошедшей через рабочие органы насоса.

$$H = \frac{p}{Pg} \tag{2}$$

Принято различать напор манометрический, который определяется по показаниям приборов у всасывающего и напорного патрубков, и напор требуемый, подсчитанный по схеме насосной установки.

Потребляемая мощность или мощность насоса N, кВт – мощность, которая отдается насосу ведущим двигателем при его работе.

Полезная мощность ($N_п$)– это то количество энергии, которое сообщается всему потоку жидкости в единицу времени.

$$N_n = PgQH\,,\ Bm \tag{3}$$

$$N_n = \frac{PgQH}{1000},\ кВТ \tag{4}$$

Полезная мощность всегда меньше мощности насоса за счет потерь, возникающих в насосе.

Коэффициент полезного действия (КПД) - отношение полезной мощности насоса к мощности на валу насоса (потребляемой).

$$= \frac{N_n}{N} = \frac{PgQH}{1000\,N} \tag{5}$$

$$N = \frac{PgQH}{1000} \tag{6}$$

КПД насоса характеризует степень эффективности насоса и может быть определен только экспериментальным путем на специальных лабораторных стендах.

Скорость вращения вала насоса n(об/мин) – измеряется числом оборотов в минуту при установившемся режиме.

Высота всасывания – максимальное превышение оси насоса над уровнем жидкости в резервуаре, при котором насос будет нормально функционировать. [5]

Глава 2

2.1 Выбор оборудования

Выбор оборудования является одной из важнейших задач при разработке проекта. Для осуществления поставленных задач перед проектом необходимо выбрать качественное и проверенное оборудование, от этого будет зависеть успех выполнения проекта, его правильная работоспособность. В основном, выбор сводится к оценке ряда показателей, характеризующих конкретные условия эксплуатации, и сопоставлению их с параметрами электрооборудования. В современных условиях это выполняется с помощью современного электрооборудования таких как ПЛК, операторская панель и др.

2.1.1 Операторская панель

Для управления насосной станцией требуется операторская панель. Она служит для запуска и останова оборудования, выбора режимов работы, введения новых рецептур, наблюдения за ходом процесса, отображения сообщений о неполадках и авариях, архивации и протоколирования данных технологического процесса.

По степени возрастания сложности, панели можно условно расположить в следующем виде:

а) Кнопочная панель — управление осуществляется при помощи физических кнопок, а отображение информации в виде индикаторов, либо ЖК дисплея;

б) Текстовый дисплей — операторская панель с отображением информации в виде текста или мнемосхем. В зависимости от типа и сложности устройства, программа может храниться и выполняться как в самой панели оператора, так и в промышленном контроллере;

в) Графическая панель — операторская панель с графическим дисплеем;

г) Сенсорная панель — операторская панель с сенсорным (чувствительным к нажатию) дисплеем. Обычно не имеет кнопок. Может быть, как текстовой, так и графической;

д) Панельный промышленный компьютер (Панельный ПК, англ. Panel PC) — по своему внутреннему устройству и производительности максимально приближен к современным персональным компьютерам, но часто обладает специальными интерфейсами для подключения промышленных сетей, а также высокую степень защиты от неблагоприятных условий (влажности, ударов, вибрации и т.д.).

Проекту подходит сенсорная панель. Для испытаний потребуется ввод данных в операторскую панель, которая позволяет это сделать. Панель оператора исключает необходимость установки большого количества кнопок, индикаторов, переключателей, табло, и занимает при этом очень мало места, получается своего рода многофункциональный операторский пульт. Для стенда понадобится сенсорная панель, наличие интерфейса передачи данныхRS-485 или Ethernet для подключения к ПЛК, поддержка Modbus, стабильная работа системы и недорогая цена. Ниже приведены характеристики нескольких операторских панелей Таблица 1

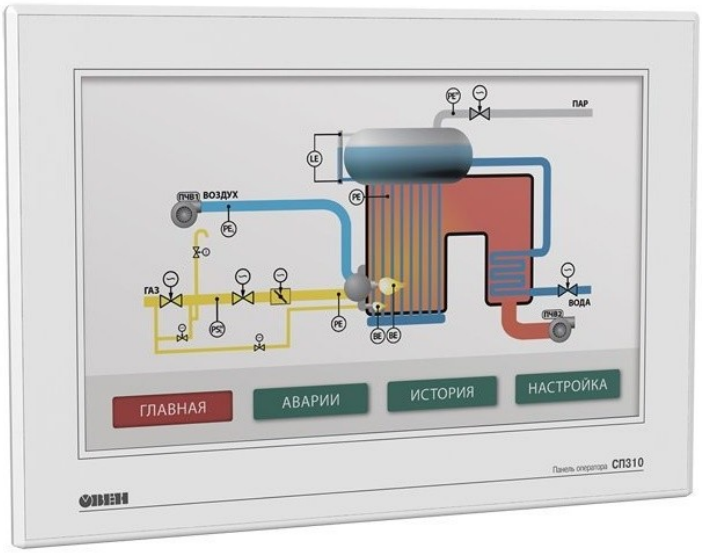
Таблица 1 – сравнение технических характеристик операторских панелей

Модель	ОВЕН СП307-Р	Weintek MT8071iP	Delta TP70P-RM0
Процессор	AT91SAM9G35-CU	Cortex A8	ARM Cortex-M4 MCU
Диагональ	7″	7″	7″

Продолжение таблица 1.

COM-порты	COM1 RS-232/RS-485COM3 RS-232/RS-485	COM1 (RS232), COM3 (RS4852W)	COM1 1×RS-232, 1×RS-485
Ethernet (LAN)	Есть	Есть	Нет
Напряжение питания	24 В	11~28 В	24 В
Flash/RAM	128/128	128/128	64/32
Степень защиты корпуса	IP65	IP65	IP65

Из представленных выше операторских панелей, по соотношению характеристик, качества и ценовой категории, для данного проекта наиболее подходящей является ОВЕН СП307-Р.



insat.ru

Рисунок 4. Внешний вид операторской панели ОВЕН СП307-Р

В таблице 2 представлены технические характеристики операторской панели ОВЕН СП307-Р[6]

Таблица 2 - Технические характеристики Операторская панель ОВЕН СП307

Процессор	AT91SAM9G35-CU
Частота, МГц	400
Объем Flash-памяти, Мб	Объем Flash-памяти, Мб
Допустимое число циклов перезаписи Flash-памяти на блок данных	75 000
Оперативная память, Мб	128
Часы реального времени (RTC)	Есть, энергонезависимые
Звук	Пьезоизлучатель, с возможностью управления из программы
DIP-переключатели	4 шт. (два – свободно программируемые)
Тип дисплея	TFT LCD
Тип подсветки	400
Объем Flash-памяти, Мб	128
Кол-во цветов	16,7 млн (TrueColor)
Диагональ, дюймы	7
Разрешение, пиксель	800×480
Рабочая зона, мм	154,1×85,9
Яркость, кд/м^2	200
Контрастность	500:1
Время наработки на отказ подсветки, часов	Не менее 50 000 при температуре 25 °С
COM-порты	1 × RS-232/RS-485 (Download-порт/DB9M) –

	1 × RS-232/RS-485 (PLC-порт/DB9M) – для

Продолжение работы 2.

USB Device	1 × USB 2.0 B - для загрузки проектов
Ethernet	1 × 10/100 Мбит/с (RJ45) – для подключения устройств Поддерживаемые протоколы: Modbus TCP (Master/Slave)
USB Host	1 × USB 2.0 A - для архивов, импорта файлов, загрузки проектов Поддерживаемые файловые системы: FAT16/FAT32 Поддерживаемый размер накопителей: до 32 Гб
Тип питающего напряжения	Постоянное
Диапазон питающего напряжения, В	23…27
Номинальное напряжение питания, В	24
Макс. потребляемый ток, А	0,25
Макс. потребляемая мощность, Вт	8

Была выбрана операторская панель ОВЕН СП307-Р. У нее 7-ми дюймовый экран, что обеспечит комфортную работу оператору. Есть последовательный интерфейс передачи данных RS-485, при помощи которого будет установлена связь с ПЛК. Поддержка Modbus (RTU, ASCII, Master, Slave). Панель оператора представляет собой устройство класса «человеко-машинный интерфейс», предназначенное для загрузки управляющей программы (проекта) функционирования ПЛК или др.

приборов, к которым подключается панель мониторинга функционирования и редактирования значений параметров функционирования. Она позволяет отображать на экране ход выполнения технологического процесса и редактировать значения параметров, отвечающих за функционирование системы. Используется ПО «Конфигуратор СП300» для разработки программы совершенно не обязательно обладать знаниями в области программирования.

2.1.2 Программируемый логический контроллер

Контроллер - это мозг машины. Чем сложнее машина, тем функциональнее контроллер. Технически, реализация мозга может быть разной – механика, пневматика (либо гидравлика), релейные или электронные системы.

Если в конструкции используются реле или решения с "жесткой" логикой, то машина может выполнять только определенные действия, научить машину другим операциям нельзя без вмешательства в ее техническую часть. Такие функции имеют только программируемые логические контроллеры или ПЛК.

Контроллер ПЛК - управляющее устройство на основе микропроцессоров, которое приспособлено к работе на производстве. Устройство программируется на упрощенных языках, доступных пользователю без серьезной подготовки.

Для стенда понадобится ПЛК с небольшим количеством входов и выходов. Понадобятся дискретные и аналоговые входа и выходы. Наличие интерфейса передачи данных RS-485, для подключения другого оборудования, удобная и понятная среда программирования, открытый коммуникационный протокол Modbus и недорогая цена.

Ниже приведены характеристики нескольких программируемых логических контроллеров. (Таблица 3)

Таблица 3 - Сравнение технических характеристик ПЛК

Модель	ОВЕН ПЛК150	LOGO! 24o	ALPHA 2
Интерфейс связи	Ethernet;RS-232;RS-485	-	RS-485
Дискретный вход	6	8	6
Дискретный выход	4	4	4
Аналоговый вход	4	4	6
Аналоговый выход	2	-	-
Напряжение питания	220 В	24 В	24 В
Язык программирования	FBD, CFC,IL, ST, LD	FBD	FBD

Из представленных выше программируемых логических контроллеров, по соотношению характеристик, качества и ценовой категории, для данного проекта наиболее подходящей является ОВЕН ПЛК150. Легко подключается к выбранной операторской панели той же фирмы ОВЕН



Рисунок 5. Внешний вид программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК150-220

Технические характеристики ОВЕН ПЛК150-220[7]

- кол-во входов/выходов – 16,
- количество дискретных входов – 6,
- количество дискретных выходов - 4,
- количество аналоговых входов – 4,
- количество аналоговых выходов – 2,
- интерфейсы связи - Ethernet;RS-232;RS-485,
- протоколы - Modbus-RTU, Modbus-ASCII, Modbus-TCP,
- номинальное напряжение питания - 90...264 V пер. ток.

Прибор является моноблочным контроллером Российской фирмы ОВЕН. Оснащен, аналоговыми и дискретными входами/выходами (AI/DI/DO/AO). Предназначен, для регулирования температуры и других физических параметров. Используется для автоматизированного управления малыми и средними объектами, а также для создания систем диспетчеризации.

Данный ПЛК будет хорошо смотреться с операторской панелью той же фирмы ОВЕН и не составит большого труда установить связь между ними. Большое количество интерфейсов, работающих независимо друг от друга: Ethernet, последовательные порты (RS-485, RS-232). контроллер

поддерживает работу с нестандартными протоколами по любому из портов, что позволяет подключать такие устройства как электро-, газо-, водосчетчики, считыватели штрих-кодов и т.п.

2.1.3 Расходомер

Расходомер — прибор, измеряющий объёмный расход или массовый расход вещества, то есть количество вещества (объём, масса), проходящее через данное сечение потока, например, сечение трубопровода в единицу времени.

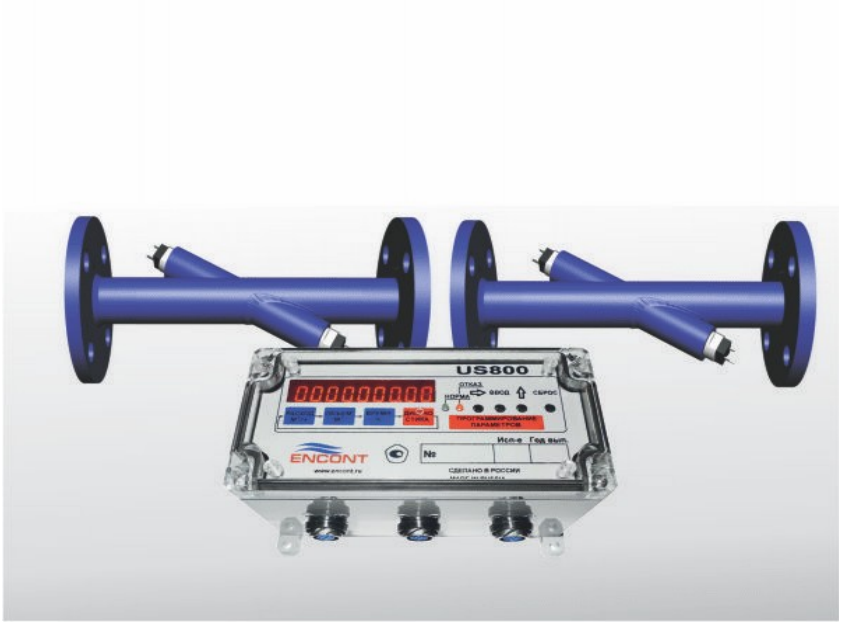


Рисунок 6.Внешний вид расходомераUS800

Ультразвуковой расходомер-счетчик предназначен для измерения среднего объемного расхода и объема жидкостей, протекающих в одном или двух напорных трубопроводов. US800 измеряет расход на основе измерения времени распространения импульсов ультразвукового колебания через двигающуюся жидкость. Разность между временем распространения ультразвуковых импульсов в прямом и обратном направлениях, относительно движения жидкости, пропорциональна скорости ее потока. В таблице 4 представлены технические характеристики расходомера US800. [8]

Таблица 4 - Технические характеристики расходомера US800

Температура жидкости, °С	0...+120 (+150)
Давление жидкости в трубопроводе, МПа	до 1.6
Температура окр.среды в месте установки УПР, °С	-40...+60
Температура окр.среды в месте установки Эл.блока, °С	+5...+50
Степень защиты Эл.блока / УПР	IP65 / IP65
Длина соединительных кабелей, м	до 200
Длина прямолинейных участков (Ду 15-2000 мм, однолучевые УПР)	до 10 / после 3
Длина прямолинейных участков (Ду50-2000 мм, двухлучевые УПР)	до 5 / после 1
Число знакомест для индикации	9
Напряжение питания прибора	187...242 V AC
Максимальная потребляемая мощность, Вт	не более 5
Полный средний срок службы, лет	25
Межповерочный интервал, год	4
Гарантийный срок, мес.	18

2.1.4 Преобразователь частоты

Преобразователь частоты - электротехническое оборудование для регулирования частоты переменного напряжения. Основная сфера

применения таких устройств – крутящийся момент электрических машин и изменение частоты вращения. Принцип управления и регулирования основан на зависимости скорости вращения магнитного поля от частоты питающего напряжения. Асинхронные электродвигатели широко используются в качестве приводов промышленного оборудования, регулирующей арматуры, насосных агрегатов и других устройств. Основными недостатками этих электрических машин являются - постоянная скорость вращения и большие пусковые токи. При помощи частотных преобразователей, возможно, устранить эти недостатки и существенно расширить сферу применения электродвигателей переменного тока. Для этого нам понадобится ПЧ мощностью 15 кВт, наличие интерфейса передачи данныхRS-485 для подключения к ПЛК и с точной регулировкой скорости. В качестве преобразователя частоты, для решения поставленной задачи, можно использовать фактически любую модель, представленную на рынке. Все они могут обеспечить работу с разными скоростями. Был выбран Преобразователь частоты фирмы Danfossмодели VLTMicroDriveFC 51



Рисунок 7. Внешний вид преобразователя частоты VLT Micro Drive FC 51

Частотные преобразователи VLT MicroDrive FC51 - компактные, универсальные, высокопроизводительные и надежные преобразователи частоты. Частотные преобразователи VLT MicroDrive FC51 превосходно подходят для комплексной автоматизации, повышают энергоэффективность и производительность. Серия FC-051 широко нашла свое применение в системах водоснабжения, вентиляции, конвейерах и др. Несмотря на свои малые размеры и простоту ввода в эксплуатацию, серия VLT MicroDrive может быть настроена на выполнение сложных задач.В таблице 5 представлены технические характеристики VLT MicroDrive FC 51. [9]

Таблица 5 - Технические характеристики Преобразователь частоты VLT Micro Drive FC 51

Технические характеристики FC-051P15KT4E20H3BXCXXXSXXX	
Производитель	Danfoss
Серия	FC-051
Применение	общепром
Мощность, кВт	15
Номинальный ток, А	31
Напряжение питания, В	Входное: 3ф x 380-480 Выходное: 3ф x 380-480
Фазность (количество фаз):	3
Выходная частота, Гц	0-200 (VVC+); 0-400 (U/f)
Степень защиты	IP20
Перегрузка, % в течение 1 минуты	150
Время разгона, с	0.05-3600
Время торможения, с	0.05-3600
ЭМС фильтр	+
Тормозной блок	-
Аналоговый вход, количество	2

Продолжение таблицы 5.

Дискретный вход, количество	5 цифровых; 1 импульсный
Аналоговый выход, количество	1
Дискретный выход, количество	-
Релейный выход, количество	1
Интерфейс RS485 (Modbus RTU)	Modbus RTU, FC Protocol
Регулятор	ПИД - регулирование
Управление по ВЧХ	+
Векторное управление с обратной связью	+
Бессенсорное векторное управление	+
Рабочая температура, °С	-10...+50
Температура хранения, °С	-25...+65
Габариты (ШхВхГ), мм	125x292x241
Вес, кг	6

2.1.5 Блок питания

Блок питания предназначен для питания напряжением 24 В ПЛК, датчика давления и операторской панели. Был выбран блок питания фирмы MEANWELL модели EDR-120-24. В таблице 6 представлены технические характеристикиMEANWELLEDR-120-24 [10]



Рисунок 8.Внешний вид блока питания MEANWELLEDR-120-24

Таблица 6 – Технические характеристики Блока питанияMEANWELLEDR-120-24.

Технические параметры	
Выходное напряжение, В	24
Выходной ток, А	5
Мощность, Вт	120
Размеры, мм	40x125.2x113.5
Вес, г	610

2.1.6 Датчик давления

Преобразователь избыточного давления ПД-Р предназначен для пропорционального преобразования избыточного давления жидкостей, паров и газов в стандартный выходной сигнал постоянного тока.



Рисунок 9. Внешний вид датчика давления ПД-Р

В таблице 7 представлены технические характеристики ПД-Р[11]

Таблица 7 - технические характеристики датчика давления ПД-Р

Наименование параметра	Значение
Измеряемая среда	Вода, масла, воздух и другие некристаллизующиеся жидкости и газы
Верхние пределы измерений, МПа	0,6; 1,0; 1,6
Выходной сигнал, мА	4 — 20
Напряжение питания, В	9 — 30
Степень защиты корпуса	IP65

Заказчиком было предоставлено следующие оборудование:

- панель оператора Weintek MT8050iE,
- ПЛК Pixel 1211,
- преобразователь частоты VLT Micro Drive FC 51,
- расходомер US800,
- блок питания mean well model - Dr-100-24(2 шт.)
- датчика давления ПД-Р

Глава 3

3.1 Разработка принципиальной электрической схемы

Структурная схема нужна для изображения всех функциональных частей (элементы, устройства и функциональные группы) и основных связей между ними, которые дают представление о последовательности работы применяемой электрической аппаратуры и элементов для достижения поставленных задач. Для разработки принципиальной электрической схемы необходимо составить структурную схему.(Рисунок 10)

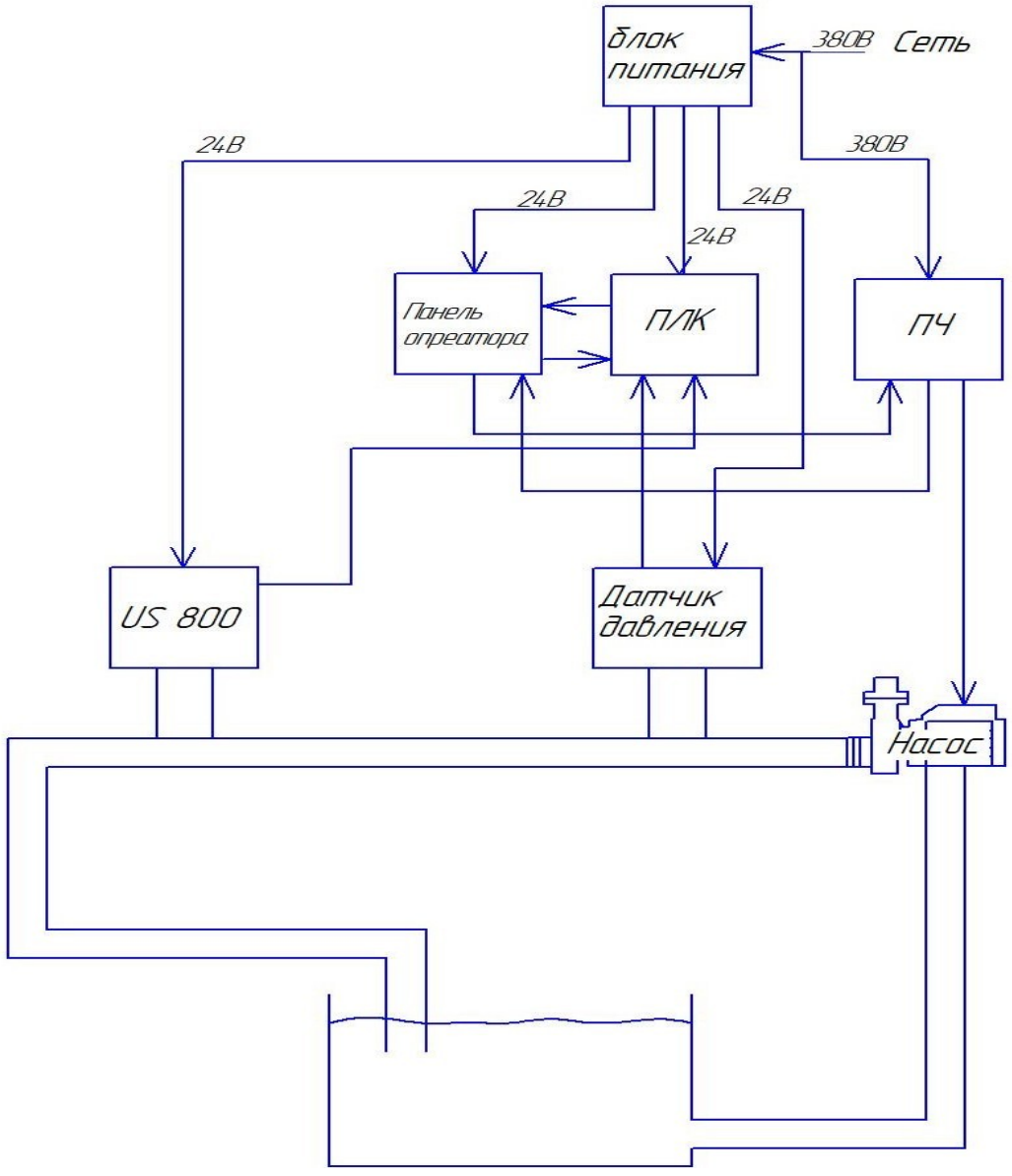


Рисунок 10.Структурная схема

В коммутационную аппаратуру входят: вводной разъединитель, автоматические выключатели и блок питания. На разъединитель подается питание 380В из промышленной сети переменного тока.

При включении соответствующих автоматических выключателей, питание должно подаваться на преобразователь частоты, панель оператора, датчик давления, ПЛК, расходомер US800 и блок питания. Между панелью оператора и ПЛК должен осуществляться непрерывный обмен данными. ПЧ может быть подключен к операторской панели при помощи интерфейса связи RS485, а ПЛК связан с операторской панелью при помощи Ethernet. С помощью панели оператора включается преобразователь частоты, устанавливается нужная скорость двигателя и запускается насос. Также на панели оператора отображается текущий ток двигателя, частота и напряжение. Забираемая насосом из резервуара жидкость, подается в напорную сеть, состоящую из участка трубопровода с расходомером, датчиком давления и дроссельной задвижкой, а потом снова возвращается в резервуар. Закрывая и открывая задвижку, изменяем давление с нуля до некоторого максимального значения. После того как по трубопроводу пошла жидкость, ПЛК постоянно считывает данные с датчика давления и расходомера, обрабатывает данные, и выводит на панель оператора напор и расход насоса. После испытания насоса на панели оператора выводятся графики с нужными характеристиками, по которым уже можно сделать выводы о тестируемом насосе. По окончании работы необходимо выключить автомат, тем самым обесточив все электрооборудование испытательного стенда.

Далее приступаем к разработке принципиальной электрической схемы, и подробно опишем её. Схема представлена в приложении А.

Трехфазная сеть переменного тока 380В поступает на вводной разъединитель QS1. После разъединителя трехфазная сеть поступает на автоматический выключатель QF1, а однофазная сеть поступает на автоматический выключательQF2. Трехфазная сеть после автоматического

выключателя QF1 поступает на вход преобразователь частоты A1, к выходу преобразователя частоты подключается двигатель M1. Однофазная сеть после автоматического выключателя QF2 поступает на блоки питания: UZ1, UZ2, UZ3. Блок питания UZ1, имеющий выходное напряжение 24 В постоянного тока, питает программируемый логический контроллер Pixel1211 A2, а также панель оператора Weintek MT5080iEA3. Блок питания UZ2, имеющий выходное напряжение 24 В постоянного тока, подключается ко входу питания расходомера US800. Блок питания UZ3,имеющий выходное напряжение 24В постоянного тока, используется для питания датчика давления и подключается через аналоговый вход программируемого контролера A2. Токовый выход расходомера US800 A4, также подключается к аналоговому входу программируемого логического контроллера A2. Программируемый логический контроллер A2 и панель оператора A3 связываются между собой по интерфейсу связи Ethernet. Панель оператора A3 и преобразователь частоты A1 связываются между собой по интерфейсу связи RS– 485.

3.2 Программное обеспечение

3.2.1 Создание программы для ПЛК Pixel 1211

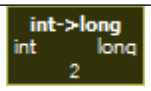
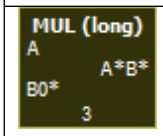
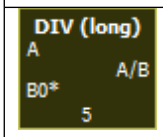
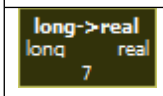
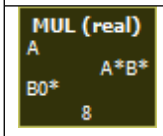
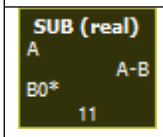
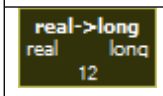
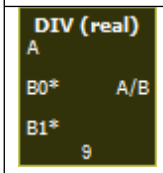
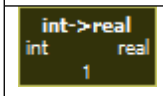
Для программирования ПЛК Pixel 1211 используется программа SMLogix. SMLogix - система программирования, которая является разработкой фирмы "Сегнетикс". Данная система позволяет быстро и удобно реализовывать схемы функционирования промышленных установок в целях повышения степени автоматизации процесса управления. В SMLogix используется язык программирования FBD, понятный и простой в освоении.

FBD - это язык, позволяющий выполнять разработку программы по аналогии с разработкой функциональной схемы устройства управления, создаваемого на основе интегральных логических элементов, счетчиков, таймеров и т.д. Логика функционирования системы представляется в виде

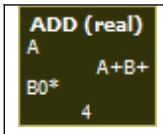
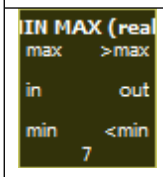
взаимодействия элементарных функциональных блоков. Каждый элементарный блок выполняет одну функцию взаимодействия между своими входами и выходами (от элементарных логических И, ИЛИ, НЕ до очень сложных).[12]

Блоки используемые в программе приведены в Таблице 8.

Таблица 8 – Блоки и программы SMLogix

Блок	Описание блока
	Преобразование типа integer в тип long
	Умножения типа long
	Деление типа long
	Преобразование типа long в тип real
	Умножения типа real
	Вычитания типа real
	Преобразование типа real в тип long
	Деление типа real
	Преобразование типа integer в тип real

Продолжение таблицы 8.

	Сложения типа real
	Ограничитель сигнала типа real. Входы max и min задают верхнюю и нижнюю границы ограничителя. Если число на входе in больше верхнего или меньше нижнего пределов, результат "обрезается" соответственно до max или min.

Создание проекта начинается с выбора нужного программируемого логического контроллера. После выбора контроллера настраиваются сетевые параметры, такие как адрес сети, скорость передачи данных, IP-адрес и др. После этого можно приступать к созданию проекта.

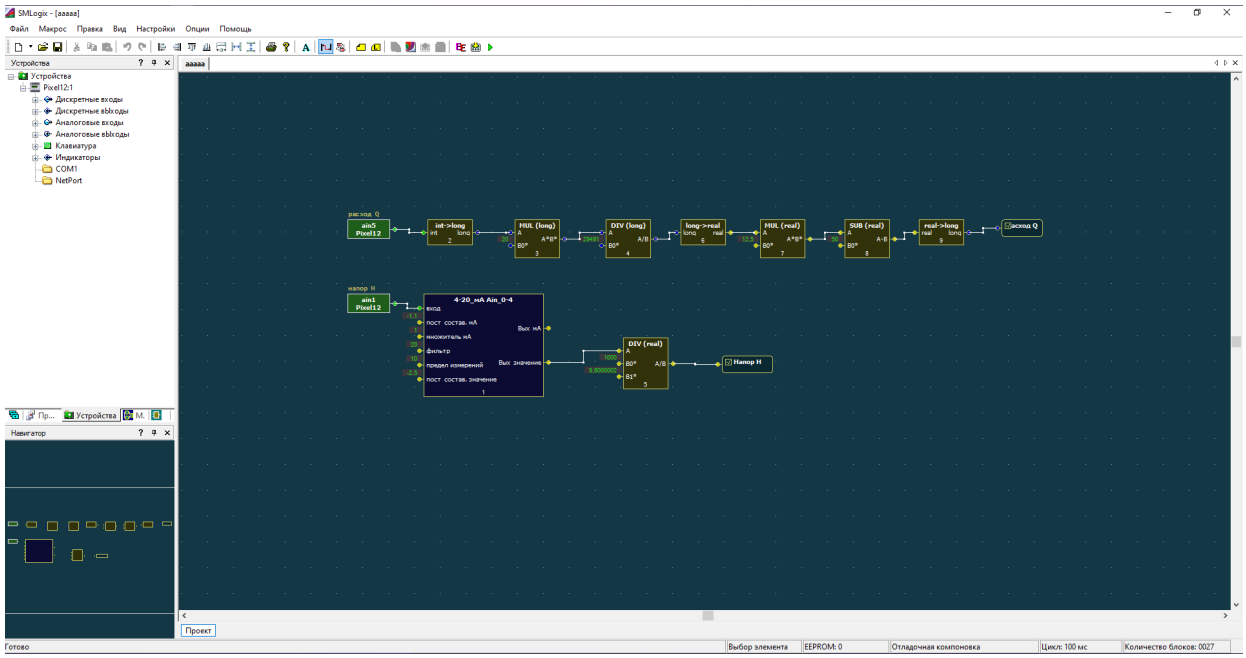


Рисунок 11. Внешний вид программы SMLogix

Границы диапазонов (разрядность типа данных):
int:-32768...32767
long:-2147483648...2147483647
real: -3.4028235E+38 ... 3.4028235E+38

Описание программы. Программа представлена в приложение Б.

К аналоговому входу ПЛК ain5 подключается расходомер. На входе ain5 появляется код который надо перевести в мА, а также для расчетов типа int будет недостаточно перевести его в тип данных long блоком 2. С помощью блока умножения 3(MUL) и блока деления 5(DIV) переводится код на входе ain5 в мА. Дальше нужно сделать расчет с дробными числами, поэтому тип данных longуже не подходит, он переводится в тип данных real блоком 7. 4 мА это минимальный расход, т.е. ноль, а 20 мА это максимальный расход 200 м³/ч. Нужно перевести мА в расход.

$$Q = a \times X + b, \tag{7}$$

a и b – неизвестные коэффициенты;

Q – расход.

Имеем прямую, проходящую через две известных точки, а именно:
Координата X=4, координата Q=0 (4 - это ток при нижнем значении расхода, 0 – расхода нет).
Координата X=20, координата Q=200 (20 - это ток при верхнем значении расхода, 200–максимальный расход).
Исходя из этих данных записывается система уравнений этой прямой в виде:

0 = a*4 + b
200 = a*20 + b
Решение такой системы состоит в выражении одного из неизвестных

коэффициентов (a или b) из одного равенства и подставленное в другое.
Выражается коэффициент b из первого равенства: b = -4a;
Подставляя его во второе равенство получим: 200 = 20a - 4a; 200 = 16a;a = 200/16=12.5;
Теперь зная численное значение коэффициента a, находится величина коэффициента b: b = -4a = -4*12.5 = -50
Получается уравнение искомой прямой: Q = 12.5*X -50.

Полученные результаты подставляются в соответствующие блоки, блок 8(MUL) и блок 11(SUB). На выходе нужно получить целое число, используя блок 12, переводится тип данных из realв long. На выходе имеем число показывающий расход.

В предоставленном контроллере имеется всего один аналоговый вход измеряющий ток/напряжение, поэтому датчик давления подключается на аналоговый вход ain1,требуется составить для него макрос, который будет рассчитывать ток на этом входе.

Значение на аналоговом входе ain1 преобразуется в другой тип данных с помощью блока 1. После этого рассчитывается минимальное значение на этом входе, это делается в блоках 2 (DIV) и 3 (MUL). Полученное число складывается с измерительным током Pixelв блоке 4 (ADD). Это значения проходит через блок 8 (Filrer), который при резком изменение сигнала сглаживает сигнал. На выходе фильтра получается нужные мА.

В блоке 7 (MINMAX) устанавливается максимальный и минимальный ток (4-20 мА). Переведем ток в давление.

$$P = a \times X + b, \tag{8}$$

a и b – неизвестные коэффициенты;

P – давление.

Координата X=4, координата P=0 (4 - это ток при нижнем значении давления, 0 –давления нет).
Координата X=20, координата P=10 (20 - это ток при верхнем значении расхода, 10–максимальное давление).
Исходя из этих данных, запишем систему уравнений этой прямой в виде:

0 = a*4 + b
10 = a*20 + b
Решение такой системы состоит в выражении одного из неизвестных коэффициентов (a или b) из одного равенства и подставленное в другое.
Выражается коэффициент b из первого равенства: b = -4a;
Подставляя его во второе равенство получим: 10 = 20a - 4a; 10 = 16a;a = 10/16=0,625
Теперь зная численное значение коэффициента a, находится величина коэффициента b: b = -4a = -4*0,625 = -2,6
Получается уравнение искомой прямой: H = 0,625*X -2,5

Из этих расчетов нам нужно только значение -2,5, а значение 0.625 рассчитывается в самом макросе. Значение -2,5 устанавливается на нужный вход макроса и теперь на его выходе получается необходимое нам давление. При помощи давления нужно найти напор, он рассчитывается по формуле (x)

$$H = \frac{p}{Pg} \tag{9}$$

Получившиеся значение на выходе макроса нужно разделить на плотность воды и на ускорение свободного падения, на выходе получается напор.

Адреса входов и выходов в SMLogix нужно устанавливать вручную. Эти адреса будут использоваться в программе EasyBuilderPro для отображения рассчитанных параметров.

3.2.2 Создание программы для Weintek MT8050iE

Среда разработки EasyBuilderPro. Программный комплекс состоит из мощного визуального редактора проектов и набора утилит, решающих различные задачи.

При разработке проекта пользователь организует взаимодействие панели оператора с периферийными устройствами, например, с ПЛК, температурными контроллерами, сканерами штрих-кодов, серво-инверторами и многими другими устройствами (более 300 видов). При этом, могут использоваться различные протоколы связи: Ethernet/IP, Modbus TCP, MQTT.

Особенности использования:

Использование ПО EasyBuilderPro полностью бесплатно, вы можете скачивать EBPro и пользоваться им без каких-либо ограничений.

EasybuilderPro полностью русифицирован. Драйвера USB для подключения панелей к ПК устанавливаются автоматически при установке EasyBuilderPro. [13]

Операторская панель в этом проекте выступает в роли master(ведущий), а ПЛК и преобразователь частоты в роли slave(ведомый). Рассмотрим пример подключения преобразователя частоты к операторской панели. В преобразователе частоты необходимо настроить параметры привода следующим образом (Таблица 9).

Таблица 9- Параметры привода

8-30 (2)	Протокол	Modbus RTU
8-31 (1...247)	Адрес	Диапазон шины Modbus: 1-247
8-32 (3)	Скорость передачи данных порта ПЧ	19200 бод, Если выбрана шина Modbus в пар. 8-30
8-33 (2)	Четность порта ПЧ	Контроль четности отсутствует (1 стоповый бит)

После настройки частотного преобразователя Danfoss VLT MicroDrive, следует приступить к настройке операторской панели weintekc помощью программы EasyBuilderPro.

Создаем новый проект и в нем выбираем название нашей панели Weintek MT8050iE. Далее нужно изменить настройки для связи с частотным преобразователем (смотри рис.12). В пункте "Тип устройсва" выбираем протокол сзязи ModbusRTU, в "интерфейс" устанавливаем RS-485 двухпроводной. Вкладку «параметры устройства» следует настроить с такими же параметрами, с которыми был настроен преобразователь частоты.После настройки связи можно приступить к созданию проекта. Расмотрим создания нескольхих элементов, все остальные делаются по тому же принципу.

Создание кнопки запуска "Пуск" (смотри рис.13). Нужно выбрать в программе элемент "Байтовая кнопка" и ввести следующие параметры: Имя ПЛК: ПЧ; во вкладке адрес выбрать 4x; значение 50000 - регистр командного слова. Во вкладке атрибуты – установить значение 1148, что является адресом регистра частотного преобразователя команды Пуск.

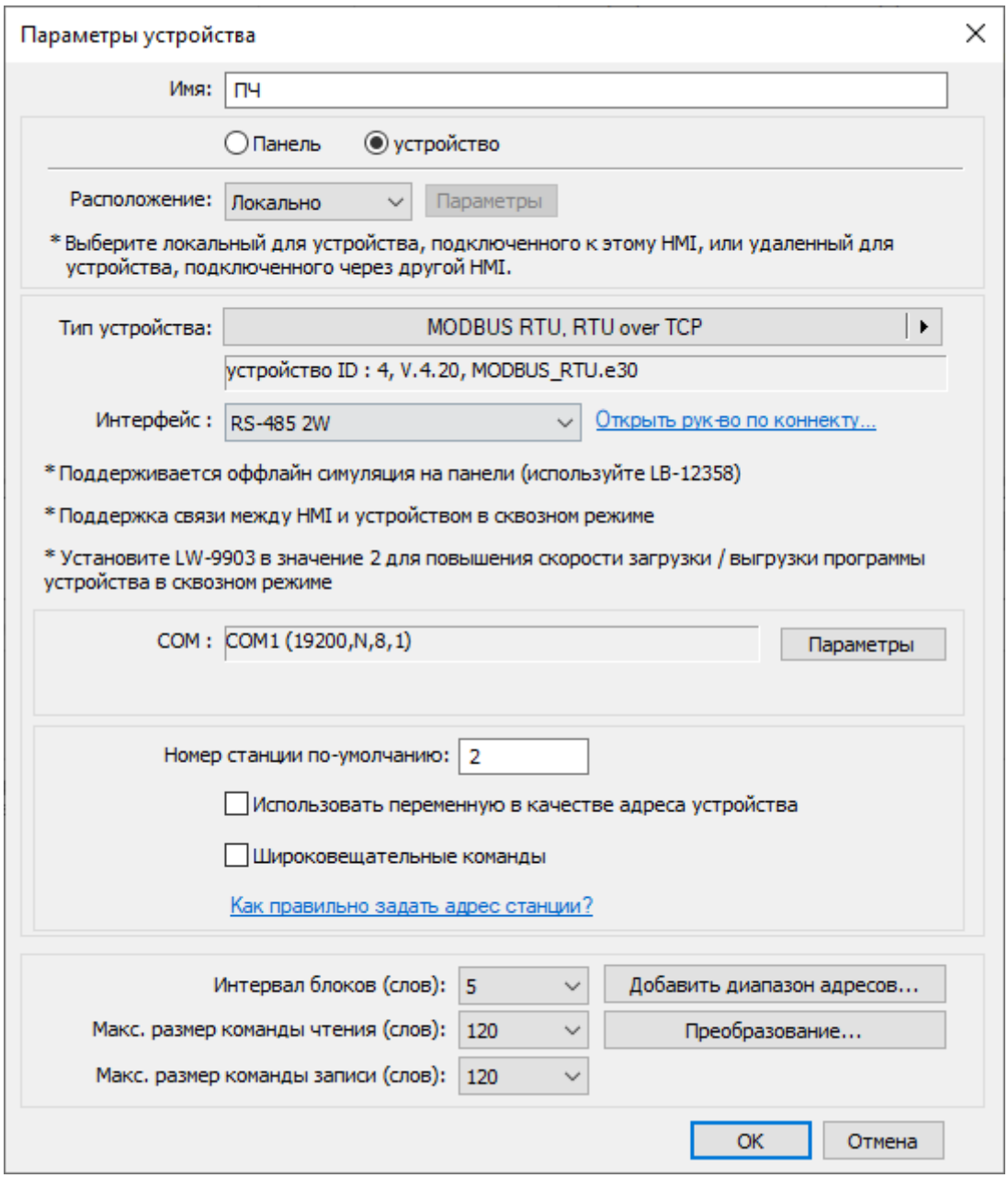


Рисунок 12. Настройки параметров устройства

Для отображения параметров двигателя и частотного преобразователя нужно добавить объект "Числа"(смотри рис.14). Имя ПЛК: ПЧ; во вкладке адрес выбрать: 4x, значение 16130 – считывание частоты; во вкладке формат чисел выбрать - 32-bit Unsigned.

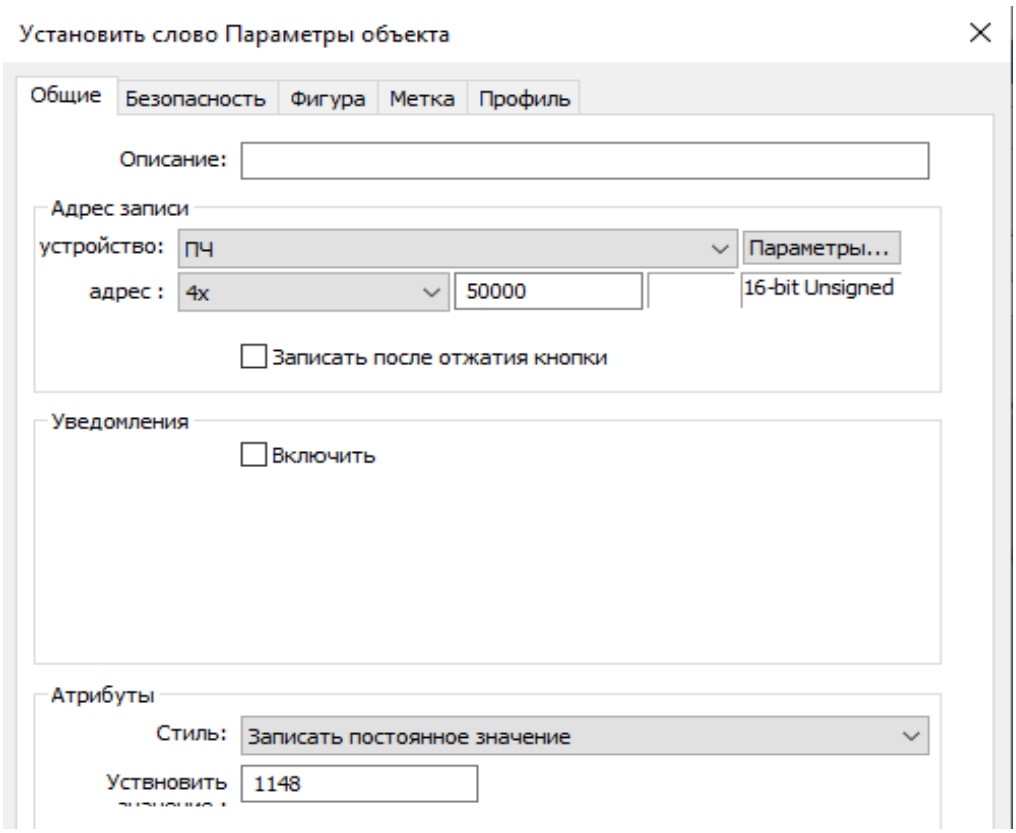


Рисунок 13. Параметры байтовой кнопки "Пуск"

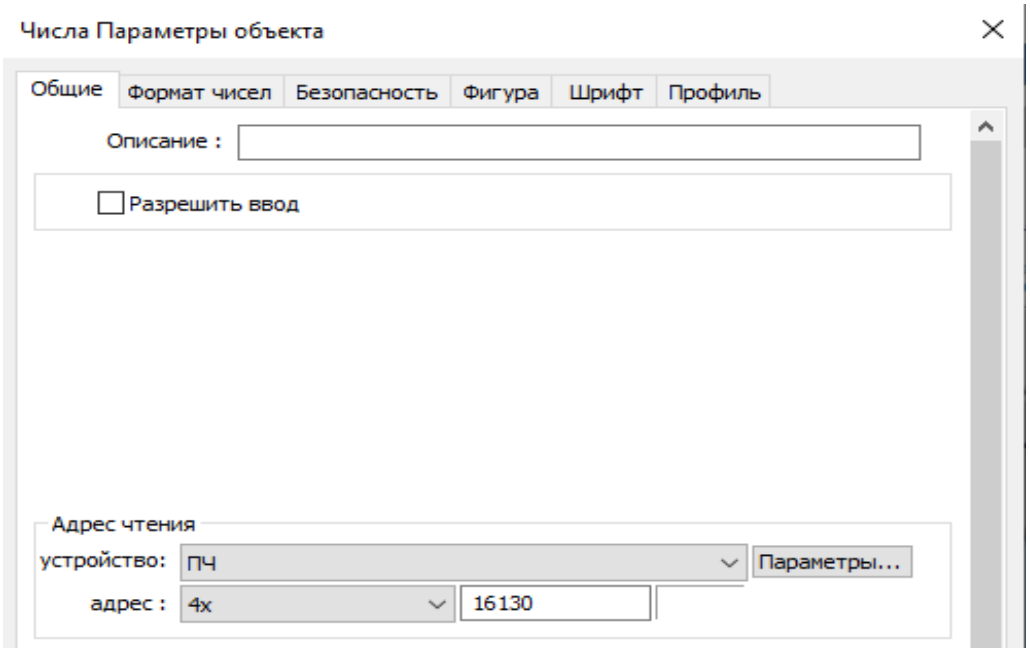


Рисунок 14.Параметры объекта числа

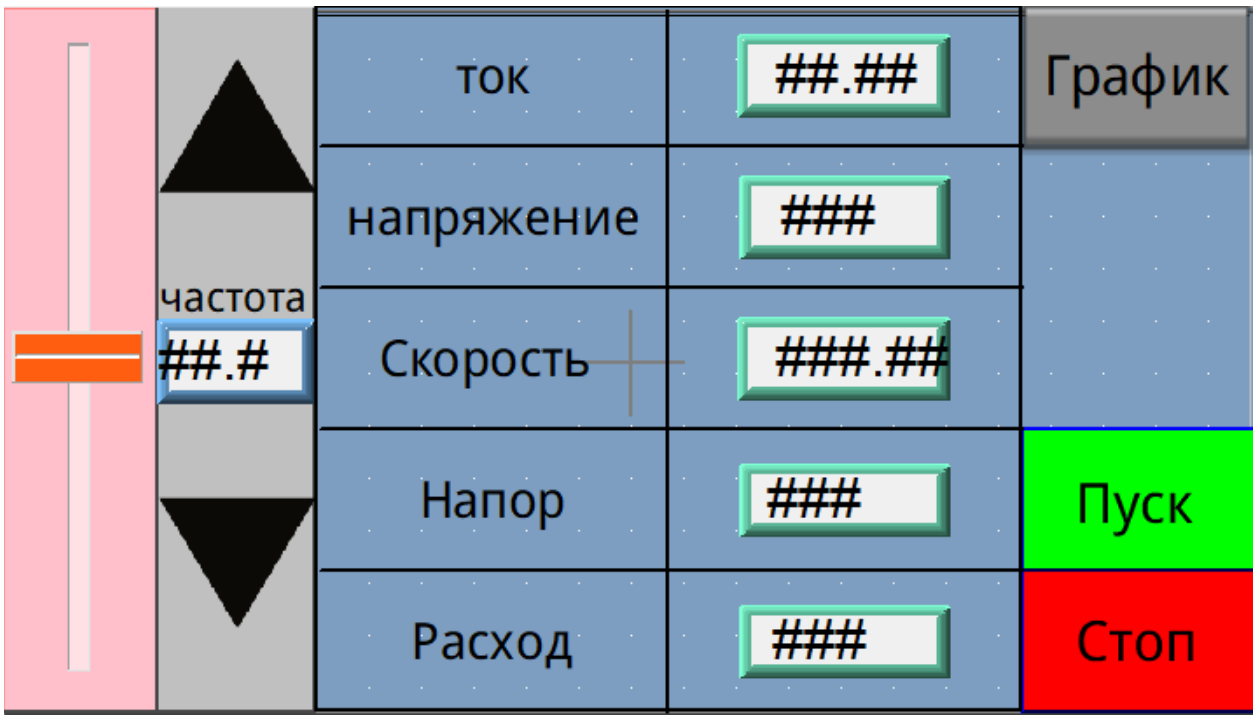


Рисунок 15.Главный экран операторской панели

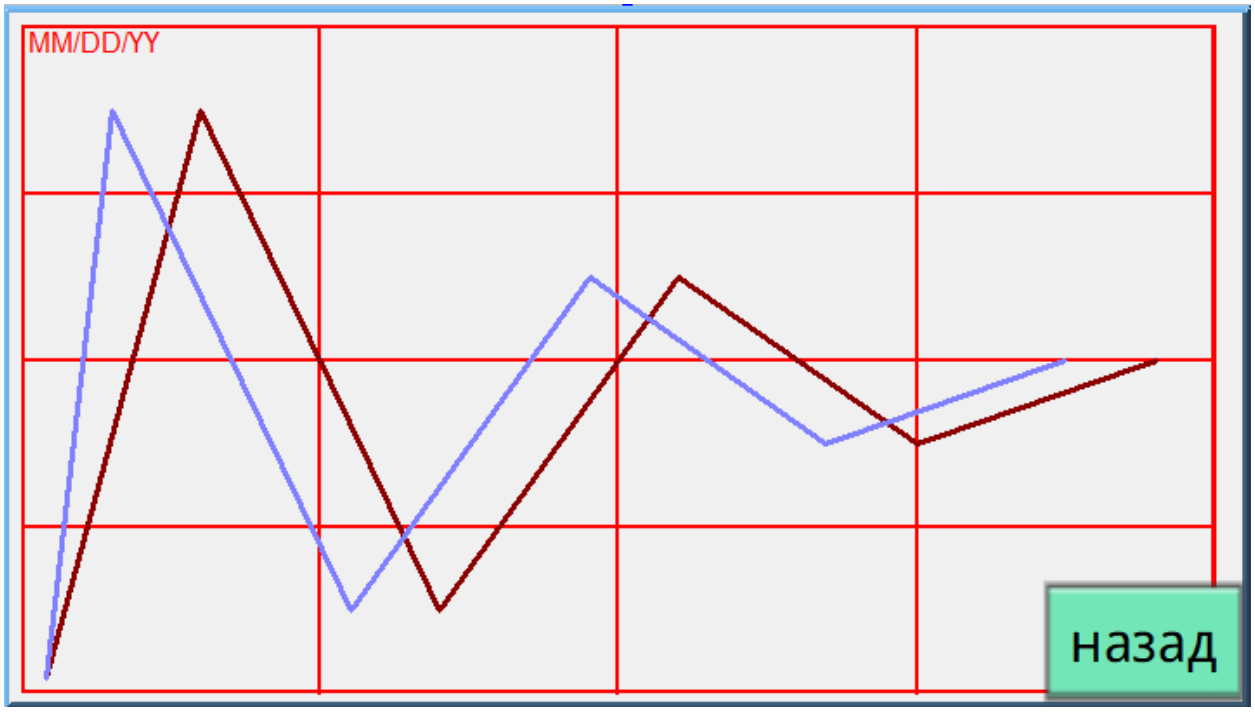


Рисунок 16. График рабочей характеристика насоса

На главном экране (рисунок 15) можно запускать и останавливать преобразователь частоты, с помощью ползунка задавать частоту, стрелочки служат для точной установки частоты. Так же на экране отображаются показатели: тока, напряжения, скорости, напора и расхода. В окне график строится рабочая характеристика насоса (рисунок 16).

Заключение

Испытания насосов проводятся с целью определения их фактических характеристик, т.е. зависимости развиваемого напора, потребляемой мощности и коэффициента полезного действия (КПД) насоса и насосного агрегата от объемной подачи воды в эксплуатационных условиях.

В ходе выполнения работы было изучено: принцип действия испытательной станции, определены основные параметры характеризующие основную работу оборудования. Для создания испытательного стенда было рассмотрено несколько вариантов основного оборудования и выбрано наиболее подходящее.

С выбранным оборудованием были разработаны: структурная схема испытательного стенда и электрическая принципиальная схема. Разработана программа для программируемого логического контроллера и операторской панели.

Список используемых источников

1. Испытательный стенд: [Электронный ресурс].- URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Испытательный_стенд (дата обращения 01.05.2020).

2. Основные параметры работы центробежного насоса [Электронный ресурс].- URL: https://mylektsii-ru.turbopages.org/s/mylektsii.ru/11-53539.html (дата обращения 01.05.2020).

3. Характеристика насоса: напорная, гидравлическая, рабочая точка [Электронный ресурс]. - URL: https://nektonnasos-ru.turbopages.org/s/nektonnasos.ru/article/harakteristiki/harakteristika-nasosa/ (дата обращения 03.05.2020).

4. Методы испытаний насоса [Электронный ресурс].- URL: https://studbooks.net/2384382/tehnika/vibratsionnyy_metod_ispytaniy (дата обращения 03.05.2020).

5. Основные показатели и характеристики насосов [Электронный ресурс].- URL: https://lektsii.org/16-16520.html (дата обращения 04.05.2020).

6. СП3хх сенсорные панели оператора [Электронный ресурс].- URL: https://owen.ru/product/sp3xx/specifications (дата обращения 04.05.2020).

7. Контроллеры для малых систем [Электронный ресурс].- URL: https://owen.ru/product/plk100_150_154 (дата обращения 04.05.2020).

8. Ультразвуковой расходомер US-800. Исполнения 1X,2X,3X. Технические характеристики. [Электронный ресурс].- URL: http://www.us800.ru/tech_har_us800_123.htm (дата обращения 05.05.2020).

9. VLT Micro Drive FC 51 [Электронный ресурс].- URL: https://www.danfoss.com/ru-ru/products/ac-drives/dds/vlt-micro-drive-fc-51/ (дата обращения 04.05.2020).

10. Технические характеристики DR-120-24 [Электронный ресурс].- URL: http://www.mean-well.ru/store/DR-120-24/ (дата обращения 07.05.2020).

11. Датчик давления ПД-Р [Электронный ресурс].- URL: https://pd.packo.ru/ (дата обращения 07.05.2020).

12. SMLogix [Электронный ресурс].- URL: https://segnetics.com/smlogix (дата обращения 10.05.2020).

13. Easybuilderpro [Электронный ресурс].- URL: https://www.weintek.net/easybuilderpro.html (дата обращения 10.05.2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ПРИЛОЖЕНИЕ В