

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматики, автоматизированное управление  
и проектирование»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Ченцов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ НАСОСНЫХ  
АГРЕГАТОВ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ**

Руководитель	_____	___06. 2020 г.	доцент, канд. техн. наук  И.Н. Пожаркова
Выпускник	_____	___06. 2020 г.	 В.О. Чернов
Нормоконтролер	_____	___06. 2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Моделирование магистральных насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции» содержит 48 страниц текстового документа, 24 иллюстраций, 17 использованных источников.

НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩАЯ СТАНЦИЯ, МАГСТРАЛЬНАЯ НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, SIMINTECH, РЕГУЛИРОВАНИЕ

Нефтеперекачивающие станции – структурные подразделения магистрального нефтепровода, которые представляют собой различный комплекс оборудования, сооружений и установок, предназначенных для транспортировки нефти по трубопроводу. Моделирование таких технологических процессов позволяет увидеть реакцию системы на различные параметры, не пользуясь реальным оборудованием, существенно обезопасить процесс, а также сэкономить время в случае проверки системы в различных режимах работы.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Моделирование автоматизированных насосных агрегатов: объект моделирования .....	5
1.1 Защитные системы.....	5
1.1.1 Загазованность .....	6
1.1.2 Пожар .....	6
1.1.3 Затопление.....	6
1.1.4 Вспомогательные системы.....	7
1.1.5 Система подачи воздуха.....	8
1.1.6 Вибрация .....	8
1.2 Управление агрегатами .....	9
1.3 Вспомогательные системы.....	9
1.4 Регулировка давления.....	12
2 Оборудование и средства автоматизации МНС.....	14
2.1 Магистральный насосный агрегат НМ 2500-230 .....	14
2.2 Электродвигатель 4АЗМО-2000-6000-2УХЛ4 .....	15
2.3 Датчик давления ЕJA-E Yokogawa .....	15
2.4 Система расширенного вибромониторинга ТИК-RVM.....	17
2.5 Термометр сопротивления ТС-1187.....	18
2.6 Газоанализатор СГОЭС .....	20
2.7 Извещатель пламени ИПЭС-ИК/УФ .....	23
3 Моделирование .....	27
3.1 Среда моделирования SimInTech.....	31
3.2 Цели и задачи .....	33
3.3 Требования к системе .....	34
3.4 Реализация.....	35
3.5 Использование результатов в лабораторном практикуме .....	43
Заключение.....	46
Список используемых источников.....	47

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основным элементом магистрального нефтепровода, выполняющим функции передачи энергии потоку нефти для его перемещения к конечному пункту трубопровода, является нефтеперекачивающая станция (НПС).

Нефтеперекачивающие станции являются структурными подразделениями магистрального нефтепровода (МН) и представляют комплекс сооружений, установок и оборудования, предназначенных для обеспечения транспорта нефти по трубопроводу.

Изменение величины подачи нефти в результате сезонных и годовых колебаний добычи, появление нестационарных процессов в нефтепроводах, связанных с различными технологическими операциями и колебаниями физических параметров перекачиваемой нефти, а также аварийные и ремонтные ситуации приводят к изменениям режимов работы станций. В некоторых случаях эти изменения могут привести к аварийной остановке НПС и другим неблагоприятным ситуациям, сопровождаемым большими экономическими потерями. Поэтому актуальным является осуществление непрерывного согласования работы станций на всех участках транспортировки, а также выполнять защиту оборудования и нефтепровода, что осуществляется посредством внедрения систем автоматизации.

# **1 Моделирование автоматизированных насосных агрегатов: объект моделирования**

Нефтеперекачивающая насосная станция – это огромный комплекс современных и сложных систем, главной задачей которого является бесперебойная поставка нефти от одной НПС до другой. Чтобы избежать опасных ситуаций, которые могут привести к повреждению оборудования, на станциях устанавливаются системы автоматической защиты.

## **1.1 Защитные системы**

В лекции Горева С.В сказано, что «автоматическая защита заключается в автоматическом выполнении операций управления основным и вспомогательным оборудованием, обеспечивающим локализацию аварийных ситуаций. По построению логические схемы защиты подразделяются на допускающие и не допускающие повторный дистанционный запуск насосных агрегатов из районного диспетчерского пункта (РДП)» [4]. Во втором случае в схеме защиты имеется модуль памяти, который не дает запустить агрегаты, пока этот модуль не будет отменен. Остальные защиты, где доступа нет доступа на дистанционный запуск, относятся к специальным параметрам аварийных ситуации на станции:

- а) Аварийная загазованность
- б) Пожар
- в) Затопление
- г) Аварийный максимальный уровень в сборнике утечек из сальников
- д) Аварийный максимальный уровень в резервуаре сброса волны
- е) Авария насосов централизованной смазки и охлаждения воды
- ж) Авария подпорных вентиляторов отделения электродвигателей
- з) Авария подпора воздушных камер беспромвальной установки.

### **1.1.1 Загазованность**

При срабатывании аварийной загазованности, с помощью защиты отключаются все МНА, а также вспомогательные системы, кроме вентиляции. «Магистральные насосные агрегаты отключаются по программе с закрытием задвижек на всасывании и нагнетании каждого агрегата. Таким образом, при срабатывании защиты прекращается доступ нефти в насосную» [4]. При срабатывании датчиков загазованности, происходит включение системы вентиляции с помощью устройств автоматики. При срабатывании защиты в помещении насосного зала начинает действовать световая и звуковая сигнализация, информируя персонал об опасности.

### **1.1.2 Пожар**

Система пожарной защиты работает по аналогии с загазованностью, отличие состоит в том, что при срабатывании защиты отключаются все вентиляционные установки. Отключение МНА, маслосистем и сборников способствует тому, что не дает горячей среде проникнуть в насосный зал, а остановка системы вентиляции препятствует раздуву пламени. Параллельно работе защите при пожаре, автоматически запускается система пожаротушения, которая при помощи пены осуществляет тушение пожара. Роль датчиков играют приборы для контроля температуры, которые устанавливаются выше предполагаемых опасных мест или под потолком.

### **1.1.3 Затопление**

Работа защиты при затоплении тоже аналогична загазованности, происходит это потому, что датчики загазованности обладают не высокой надежностью. Также, сигнализаторы могут не сработать из-за нефтяных паров, если прольется слишком много нефти. «Непосредственно над поверхностью

нефти имеется взрывоопасная концентрация, и при появлении искры могут возникнуть взрыв и пожар. В качестве датчиков затопления обычно используются поплавковые реле уровня во взрывозащищенном исполнении, устанавливаемые в нижней точке лотка для отвода стоков» [4].

В случае совсем незначительных утечках различной жидкости защита не сработает, обуславливается это тем, что вся эта жидкость стекает в специальный сборник, который также служит для отвода стоков. Для информации персонала, периодически посещающего насосную, об интенсивности поступления стоков в операторной предусматривается сигнализация об автоматическом включении насосов откачки, резервуара-сборника стоков с памятью, снимаемой вручную. Если уровень в резервуаре достигает аварийного, в этом случае все агрегаты останавливаются, а задвижки, находящиеся на всасывающих линиях, закрываются. «При аварийном максимальном уровне в резервуаре сброса волны, устанавливаемом на промежуточных станциях, работающих без емкости, защита срабатывает так же, как и при переполнении сборника утечек» [4].

#### **1.1.4 Вспомогательные системы**

Циркуляция смазочного масла и воды обеспечивается во время защиты. Она происходит во время аварии вспомогательных систем насосной. Отключение магистральных насосных агрегатов происходит, когда воздух подается в отделение электродвигателей, а также в воздушные камеры уплотнения стальных сальников. Однако при наличии в системе автоматики магистральных насосных агрегатов соответствующие защиты, то защита при авариях не предусматривается.

### **1.1.5 Система подачи воздуха**

В соответствии с правилами техники безопасности, защита при аварии систем подачи воздуха в отделение электродвигателей необходима для предотвращения проникновения в отделение электродвигателей из отделения насосов воздуха, в котором может содержаться пары нефти взрывоопасной концентрации. Такая же действия нужна и в камерах уплотнения стальных сальников беспромвальных насосных агрегатов.

### **1.1.6 Вибрация**

При повышенной вибрации дублируется защита по температуре подшипников и при механических повреждениях агрегата. По минимальному давлению на всасывании(кавитация) происходит защита насосной. Вибрация – обобщённый параметр, который характеризует механическое состояние агрегата. Там, где защита по вибрации не применяется необходимо периодически контролировать этот параметр, чтобы понимать о состоянии и необходимости ремонта при выявлении проблем. Когда происходит запуск агрегата, то неизбежна повышенная вибрация, поэтому схема защиты по вибрации будет работать только, когда агрегат полностью будет запущен. В схеме предусматривается также отключение устройств защиты по вибрации у всех магистральных насосных агрегатов насосной на время переходного процесса, связанного с отключением любого из ее магистральных насосных агрегатов, так как вовремя этого переходного процесса наблюдается повышенная вибрация всех работающих агрегатов.



## 1.2 Управление агрегатами

Из местного пункта управления (МПУ) и РДП управление происходит программно-автоматически. Дистанционное включение имеет два режима, «на закрытую задвижку» и «на приоткрытую задвижку».

Программа «на закрытую задвижку»:

- а) Полное открытие задвижки на всасывании
- б) Запуск основного электродвигателя
- в) Открытие напорной задвижки.

В данной программе осуществляется легкое включения для электродвигателя, из-за потребляемой мощности. Но, в то же время, на напорную задвижку и корпус насоса действует повышенное давление, «так как при нулевом расходе центробежный магистральный насос развивает обычно наибольшее давление».

Программа включения на приоткрытую задвижку отличается в следующем:

- а) Ранее открытие напорной задвижки;
- б) Запуск двигателя агрегата, после полного открытия напорной задвижки.

## 1.3 Вспомогательные системы

В отношениях автоматизации вспомогательные системы станции разделяются на два вида. Первый, когда работаю непрерывно, а второй, когда система включается в работу при зависимостях значений каких-либо параметров. К первому виду можно отнести системы снабжения маслом и водой, системы подачи воздуха в камеры уплотнения, а также приточной вентиляции отделения электродвигателей.

Автоматизация для систем первой группы предусматривает устройство для включения их одновременно, по единственной общей команде, а отключение по другой. Подача команд управления подается из диспетчерской или операторной, или с помощью средств автоматики. Как правило вспомогательные системы предусматривают автоматическое включение резервного агрегата при

обнаружении неисправностей действующего рабочего. Работоспособность насоса или его вентилятора обычно фиксируется при помощи контроля давления на нагнетании, такой метод обусловлен тем, что большая часть возможных неисправностей приводит именно к уменьшению давления. Если при включении агрегата не было достигнуто заданного давления, то произойдет отключение и сразу же запустится другой, который заранее был выбран как резервный. МПУ и операторная одновременно включают оповещение, сигнализирующее неисправность. В операторной такой сигнал дается для каждой системы индивидуально, а в МПУ существует только один сигнал, который отправляется на все системы сразу. Если по истечении не долгого времени не будет достигнуто установленное давление, то произойдет отключение и будет отдана команда в систему защиты станции, произойдет аварийное отключение. Если остановка станции произошла, то будет подана команда отключить все вспомогательные системы первой группы. Так же существует команда, которая отключает системы маслонасосов при возникновении пожаров или сильной загазованности внутри насосной части. В первом случае, когда происходит возгорание, отключается система подпорных вентиляторов в отделении электродвигателей, а также в камерах беспромвальной установки.

Автоматизация второй группы выполнена практически таким же способом. Все отличия заключены во включении и выключении. Отключение произойдет при минимальном уровне резервуара, а включение наоборот. На приточно-вытяжную вентиляцию в отделении насосов действует загазованность и температура, что отвечает за ее включение и отключение соответственно. Компрессорная установка в зависимости от давления, которое варьируется от 0.6 до 0.8 Мпа. Разумеется, предусмотрено автоматическое подключение слива резервуара, при условии, что был зафиксирован максимальный уровень. Одновременно должен быть включен параллельный резервуар, так же, как и параллельно включенный насос. Данные действия произойдут если за указанное время не снизится максимальный уровень в сборнике нефти, время от 10 до 30

секунд. Предусмотренная защита, которая предотвращает серьезное повышение давления воздуха в помещениях, обозначенных как взрывоопасные, не допускает активацию приточных вентиляторов до того момента, пока не будут включены вытяжные. Предусмотрена так же и аварийная сигнализация, которая активируется в случаях сверх загазованности или аварийной загазованности, а также пожара, затопления и максимального и минимального уровня в сборниках утечек, резервуара сброса волны, и, минимального и максимального давления нагнетания и всасывания. В полностью автоматизированных и телемеханизированных магистральных нефтепроводах осуществлен контроль и управление станциями напрямую из РДП и МПУ. Контроль и управление в РДП и МПУ предусмотрены объемом, который требуется для всех возможных режимов работы и оперативного вызова ремонтной бригады, которая реагирует на все аварии и неисправности. Данные объемы приняты не только для упрощения или удешевления системы, а еще и для снижения загрузки на диспетчера, которому нет необходимости получать излишние детали информации. Для всей минимизации объема использованы соответствующие средства автоматики, такие как: приспособления программно-автоматического запуска и отключения магистрального насосного агрегата, вспомогательных систем, автоматического переключения задвижек в узле пуска, а также приема и пропуска скребка. Применение данных устройств обеспечивает удобство, ведь используются только 2 команды и 2 сигнала («Пуск и стоп», «включен» и «выключен»). Те же команды использованы для управления вспомогательными системами, но при контроле немного другие сигналы, которые являются общими – «включены» и «требуется ремонт». В задвижках так же использованы два сигнала «подключить», «отключить», контроль предусмотрен соответствующими двумя сигналами.

## 1.4 Регулировка давления

Обеспечение поддержки параметров давления на необходимом уровне — это задача автоматического регулирования [2]. Регулировать давление в нефтепроводе можно с помощью двух способов. Первый это дросселирование потока, второй это перепуск части потока с нагнетания на всасывание, изменение частоты вращения насосов. Первый способ предусматривает создание искусственного сопротивления из-за чего происходит увеличение потери на трении в органе дросселирования, далее происходит снижение давления. Вся потеря энергии может быть определена расходом при перекачке и потери напора. Перепуск потока можно осуществить не только у одного агрегата, но и у всех насосной установки, при соединении последовательно. Для совсем небольшого снижения давления нагнетания потребуется большой расход или же большой перепуск, потому что характеристика магистральных насосов приближается к горизонтальной. Когда происходит регулирование дросселированием, то мощность, которую потребляет насос, больше, чем, когда происходит регулировка перепуском, при условии, что перекачивается один и тот же объем нефти. Обычно метод перепуска применяется там, где невозможно дросселирование или при крутых характеристиках агрегатов насосной. Главным критерием, для выбора метода, является наименьше затраты на перекачку, непосредственно связанные с применяемым методом регулирования. Необходимость ограничения давления составит не больше чем 3 – 5 % от всего времени перекачки, а глубина будет варьироваться от 10 до 25 % дифференциального напора одного агрегата. Чаще всего используется именно метод дросселирования, но при указанных ограничениях, суммарные затраты выходят более экономичными. Орган регулирования установлен на нагнетании, это обеспечит регулировку давления нагнетания и всасывания насосной. Контроль давления на трубопроводе отслеживается с помощью установленных на нем манометров МП-П2. Выходной пневмосигнал является

пропорциональным давлению при измерениях, он подается на пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор. Настройка регулятора на нагнетании выполнена на прямую работу, сигнал является безвыходным, его появление происходит при возрастании давления выше установленного. Его рост происходит по мере увеличения рассогласования. А при всасывании регулятор настраивается наоборот, на обратную работу. Его выходной сигнал будет увеличен, если произойдет снижение давления. Оба сигнала поступят на прибор селектирования большого сигнала 4 типа ПФ4/5-1, он же в свою очередь повторит тот сигнал на входе, который будет больше.

На основании изучения МНА обоснован выбор защитных систем: загазованность, пожар, затопление, вибрация, вентиляция, определяющих ее работоспособность. Определены элементы системы управления и методы управления агрегатами, для их реализации необходима разработка системы в SimInTech, обеспечивающая:

- а) Непрерывную работу насосных агрегатов;
- б) Автоматическое регулирование давления;
- в) Индикацию основных параметров.

## 2 Оборудование и средства автоматизации МНС

### 2.1 Магистральный насосный агрегат НМ 2500-230



Рисунок 1 – НМ 2500-230

Таблица 1 – Технические характеристики НМ 2500 – 230

Параметр	Значение
Подача, м <sup>3</sup> /ч	2500
Напор, м	230
Допускаемый кавитационный запас, м	32
Частота вращения, об/мин	3000

Математическая модель насоса представляет собой зависимость напора от подачи и мощности.

## 2.2 Электродвигатель 4АЗМО-2000-6000-2УХЛ4



Рисунок 2 – 4АЗМО-2000-6000-2УХЛ4

Таблица 2 – Технические характеристики 4АЗМО-2000-6000-2УХЛ4

Параметр	Значение
Р <sub>н</sub> , кВт	2000
N, об/мин	2977
cosφ, о. е.	0.89
КПД, %	96.5
Масса, кг	7300

Математическая модель электродвигателя строится с учетом распределенной обмотки статора и клетки ротора.

## 2.3 Датчик давления ЕЈА-Е Yokogawa

Отличительной особенностью датчиков давления Yokogawa является принцип измерения давления- в качестве чувствительного элемента в них используется кремниевый механический резонатор в виде единого монокристалла кремния, интегрированный в силиконовую подложку размером 1/10 часть ногтевой пластины. При изготовлении чувствительных

элементов применяются самые современные технологии роста кристаллов [14].



Рисунок 3 – Датчик давления EJA-E Yokogawa

Таблица 3 – Технические характеристики EJA-E Yokogawa

Наименование показателя	Значение показателя
Погрешность измерений	От $\pm 0,04$ % шкалы
Выходной сигнал	Выходной сигнал 4...20 мА с функцией цифровой связи по HART-протоколу; Foundation Fieldbus; Profibus; Программно может быть задан линейный или выходной сигнал, аварийный сигнал или сигнал состояния.
Время отклика	90 мс; для датчиков с выносными мембранами 200 мс.



Окончание таблицы 3

Наименование показателя	Значение показателя
Температура процесса	–40...+120°C; –50 ... +310°C для EJA118E, EJA438E
Температура окружающей среды	–60...+85°C *; (–30...+80°C для моделей с ЖКИ); * - для некоторых моделей и типов исполнения температурный диапазон отличается. См. эксплуатационную и тех. документацию
Питание	10,5...42 В постоянного тока
Материалы мембраны	Hastelloy C-276 нержавеющая сталь SUS316L; монель; тантал
Конструктивное исполнение	Стандартное: IP67; искробезопасное: Exia IIC T4, Exia IIC/IB T4; взрывозащищенное: Exd IIC T6...T4
Межповерочный интервал	5 лет

Математическая модель датчика давления строится на основе физических эффектов и коэффициента преобразования.

## 2.4 Система расширенного вибромониторинга TIK-RVM

Контроль вибрации осуществляется с помощью системы вибромониторинга TIK, предназначенной для непрерывного измерения,

отображения, контроля, хранения и анализа параметров вибрации и механического состояния технологических и производственных объектов.



Рисунок 4 – Система расширенного вибромониторинга ТИК-RVM

## 2.5 Термометр сопротивления ТС-1187

Для контроля температуры используются термометры сопротивления серии ТС, назначением которых является измерение температуры жидких, твердых, газообразных и сыпучих сред, неагрессивных к материалу корпуса преобразователя.



Рисунок 5 – Термометр сопротивления ТС-1187

Таблица 4 – Технические характеристики ЕЈА-Е Yokogawa

Наименование показателя	Значение показателя
Номинальные статические характеристики (НСХ)	50П, 100П, Pt100, Pt500, Pt1000
Диапазоны измерения температуры	-50...+200°C, -50...+350°C, -200...+500°C
Специальное исполнение по спецзаказу	диапазоны от -60 °С (вибропрочное исполнение) диапазон -200...+150 °С (НСХ Pt100, вибропрочное исполнение)
Схемы подключений	2-, 3- и 4-проводные
Количество чувствительных элементов	1 или 2
Степень пылевлагозащиты	IP68
Кабельный ввод	Сальник
Присоединение к процессу	M20×1,5, M16×1,5 подключается к соединительной коробке Ex e или Ex d
Климатическое исполнение	группа исполнений Д2 (-50...+100 °С)
Варианты исполнения	общепромышленное, взрывозащищенное Exd (1ExdIICT6, 1ExdIICT5), Атомное (для АЭС), а также В (вибропрочное), ВС (вибропрочное сейсмостойкое — группа исполнений F2, F3, G2),

Окончание таблицы 4

Материалы арматуры	12X18H10T, Латунь ЛС59, Титановый сплав ВТ-1, Медь М1, М2, Фторопласт ФБ-4
Материалы клеммных головок	Алюминиевый сплав (базовое исполнение), нержавеющая сталь
Средняя наработка на отказ	15 000 часов
Средний срок службы	6 лет
Гарантийный срок эксплуатации	для $t_{max} \leq 350^{\circ}\text{C}$ — 2 года со дня ввода в эксплуатацию
	для $350^{\circ}\text{C} < t_{max} \leq 600^{\circ}\text{C}$ — 1 год со дня ввода в эксплуатацию
Межповерочный интервал	2 года

Математическая модель термометра сопротивления представляет собой зависимость сопротивления  $R$ , от температуры окружающей среды.

## 2.6 Газоанализатор СГОЭС

Чтобы контролировать уровень дозрывоопасных концентраций горючих газов и паров горючих жидкостей, паров нефтепродуктов используется газоанализатор *СГОЭС*. Сенсор СГОЭС оптически определяет количество присутствия углеводорода путём измерения поглощаемого газа с помощью ИК-излучения.



Рисунок 6 – Газоанализатор СГОЭС

Таблица 5 – Технические характеристики СГОЭС

Характеристики	Значения
Принцип действия	оптический абсорбционный
Способ отбора пробы	диффузионный
Количество исполнений газоанализатора (в зависимости от определяемого компонента)	29
Выходные сигналы СГОЭС	унифицированный аналоговый выходной сигнал (4 - 20) мА в диапазоне показаний
	цифровой сигнал, интерфейс RS- 485 с протоколом ModBus RTU
	цифровой сигнал HART с локальным разъёмом

Продолжение таблицы 5

Характеристики	Значения
Выходные сигналы СГОЭС	3 реле «сухой контакт»: «Порог 1», «Порог 2», «Неисправность»
Материал корпуса	алюминий, нержавеющая сталь 316
Маркировка взрывозащиты	1ExdIICT4Gb
Степень защиты от влаги и пыли	IP67
Напряжение питания, В	18 - 32
Максимальная электрическая мощность, потребляемая газоанализатором, В·А, не более:	
Рабочая	5,5
В режиме обогрева	7,9
Номинальное время установления выходного сигнала газоанализатора, с:	
По уровню 0,5 (T0,5), с	10
По уровню 0,9 (T0,9), с	20
Время прогрева газоанализатора, мин, не более	10
Самодиагностика	Автоматическая диагностика ошибок через выходные сигналы и оповещение
Условия эксплуатации:	
Диапазон температуры окружающей и анализируемой сред, °С	от -60 до +90

Окончание таблицы 5

Характеристики	Значения
Относительная влажность при температуре 35 °С без конденсации влаги, %, не более	100
Диапазон атмосферного давления, кПа	80 - 100
Габаритные размеры, мм, не более	191×107×303
Масса, кг, не более:	
С кронштейном (алюминий)	4,2
С кронштейном (нержавеющая сталь 316)	6,3
Межповерочный интервал, лет:	
СГОЭС	1
СГОЭС-2	2
Средняя наработка на отказ, час.	35000

Математическая модель газоанализатора представляет собой зависимость проводимости газового датчика от температуры нагрева его чувствительного слоя.

## 2.7 Извещатель пламени ИПЭС-ИК/УФ

С помощью извещателя пламени происходит обнаружение возникновения пожара в поле зрения извещателей и выдачи аварийной (предупредительной)

сигнализации на приборы приемно-контрольные пожарные и охранно-пожарные (ППКП) [15].



Рисунок 7 – ИПЭС-УК/УФ

Таблица 6 – Технические характеристики ИПЭС-УК/УФ

Название	Значение
Материал корпуса	Алюминий или нержавеющая сталь 316
Выходные сигналы	унифицированный аналоговый выходной сигнал 4-20 мА цифровой интерфейс RS-485 с протоколом ModBus RTU цифровой сигнал HART 2 реле "сухой контакт" : "Пожар", "Неисправность"
Рабочие спектральные диапазоны	инфракрасное (ИК) излучение в диапазоне 4,0 - 5,0 мкм, ультрафиолетовое (УФ) излучение в диапазоне 150 - 300 нм
Угол обзора	не менее 90 °С



Продолжение таблицы 6

Название	Значение
Время срабатывания на тестовые очаги пламени ТП-5 и ТП-6	не более 5 сек.
Дополнительные преимущества	Обогрев оптики для предотвращения образования конденсата, самодиагностика оптических элементов каждые 30 минут, защита от ложных срабатываний
Вид взрывозащиты	1Exd IIC T4 , рудничное исполнение РВ Exd I
Защита от пыли и влаги	IP66/68
Диапазон рабочих температур	от -60 до +85 °С (кратковременно в течение 1 часа до +125 °С)
Относительная влажность, %	до 95% (без конденсации) при температуре 35 °С
Напряжение питания	от 18 до 32 В
Максимальная потребляемая мощность	не более 5,8 ВА (с включенным подогревом)

Окончание таблицы 6

Название	Значение
Габаритные размеры, без кронштейна, не более	Ø98×150 мм
Масса	С кронштейном 3,5 кг (алюминий), 6 кг (нержавеющая сталь 316)
Средний срок службы, не менее	10 лет

Изучены основные элементы системы управления МНА с целью их последующего моделирования. Составлены математические модели основных элементов в системе управления МНА для их последующей реализации в среде SimInTech.

### 3 Моделирование

Ускорение научно-технического прогресса и интенсификация производства невозможны без применения средств автоматизации. Широкое применение систем автоматизации привело, с одной стороны, к существенному сокращению количества работников, занятых в производстве, а с другой стороны, повысила роль персонала, занятого проектированием и сопровождением систем автоматизации, так как ввиду высокой производительности автоматизированных систем даже небольшой по времени простой системы приводит к значительным экономическим потерям.[17] Названные обстоятельства способствовали возникновению целого комплекса проблем по проектированию, диагностированию и техническому обслуживанию систем автоматизации технологических процессов. Одно из направлений решения данных вопросов основано на применении компьютерных технологий, позволяющих создавать реалистичные модели самых сложных систем автоматизации. Исследование динамики системы в виртуальной среде обеспечивает принятие корректных решений на этапах моделирования и ввода в эксплуатацию системы без риска повреждения сложных мехатронных узлов и создания нештатных ситуаций с позиций техники безопасности для персонала.

Для того чтобы эффективно управлять какой-либо системой, необходимо ее исследовать и описать, т. е. фактически построить ее модель. Наблюдение, эксперимент и прочие инструменты исследований позволяют собирать о системе самые разнородные данные, накапливать статистическую информацию. Статистические методы анализа системы позволяют выявлять зависимости между отдельными факторами и их конечное влияние на систему. Компьютерное моделирование — это один из альтернативных методов исследования системы. Моделирование сводится к построению модели объекта, которая послужила заместителем оригинала и позволяет воспринимать интересующие нас свойства и характеристики. Обычно модель представляет собой упрощённое восприятие

реальной системы с массой ограничений. Вводить эти ограничения необходимо, так как реальные процессы, протекающие в природе и обществе, настолько сложны и увязаны с таким большим количеством окружающих факторов, что построение всеобъемлющей модели — это невозможная задача. Тем не менее метод моделирования — это универсальный метод и с его помощью можно исследовать любые системы. Первый и главный этап компьютерное моделирования — собственно построение модели — очень часто опирается на некоторые имеющиеся исходные данные. При этом широко применяются вычислительные методы обработки данных: методы интерполяции, аппроксимации и др. Основная задача моделирования различного рода процессов и систем с целью исследования объектов, прогнозирования их поведения или поиска наилучших условий функционирования сводится к расчету анализируемых показателей по математической модели при тех или иных значениях (или функциях) входных величин. Большое значение при этом приобретают вычислительные алгоритмы, с помощью которых можно получить при моделировании решение конкретной математической задачи.

Моделирование дает в руки проектировщиков инструмент для изучения моделируемых объектов в их системной взаимосвязи с достаточно полным учетом действующих факторов. Однако следует помнить, что моделирование при этом остается лишь специальным количественным методом, имеющим свои границы применения. Поэтому одной из актуальных задач является развитие теории и методов математического моделирования с учетом требований системности и автоматизации проектирования, которые позволили бы не только строить модели изучаемых объектов, анализировать их динамику и возможность управления, но и судить в известной мере об адекватности создаваемых моделей исследуемых систем, их внутренних свойствах, позволяющих оценить границы применимости и правильно организовать имитационный эксперимент.

В качестве технологического процесса для моделирования автоматизированной системы была выбрана магистральная насосная станция

Кемчугской НПС. МНС служит для восполнения энергии, затраченной потоком на преодоления сил трения, с целью обеспечения дальнейшей перекачки нефти.

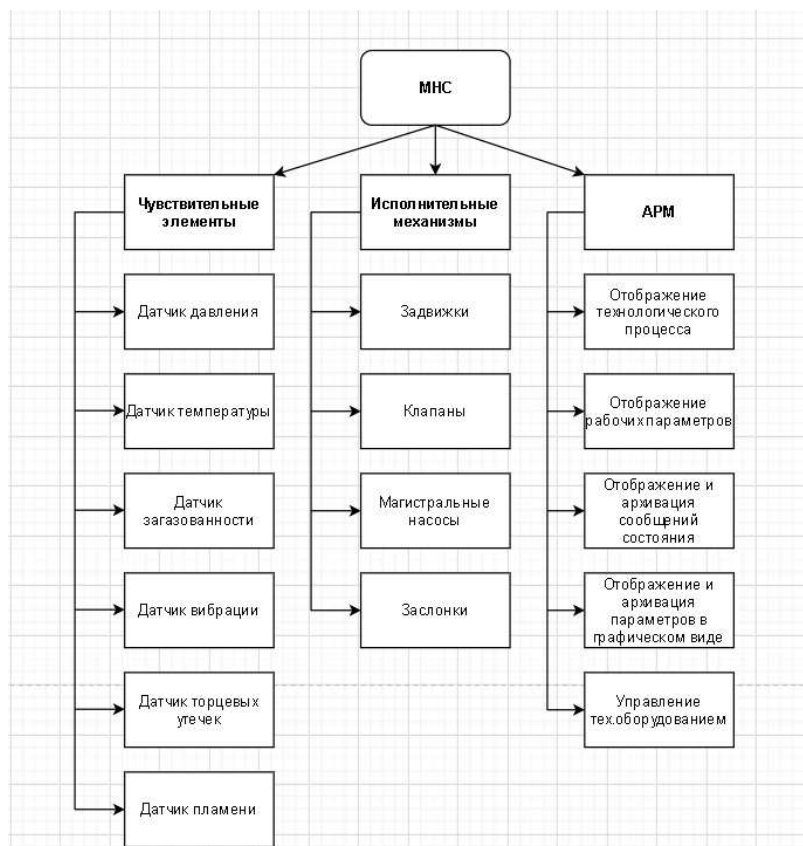


Рисунок 8 – Функциональная иерархическая схема

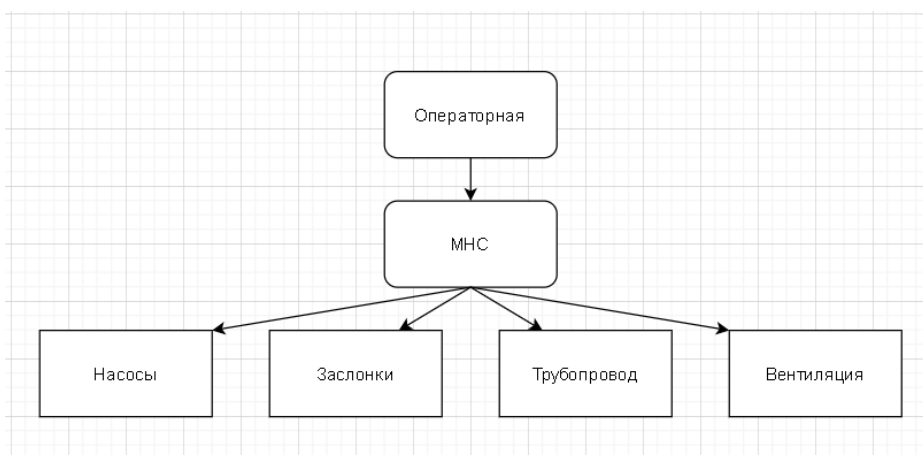


Рисунок 9 – Структурная иерархическая система

Разработанные иерархические схемы объединены в матрицу проекции.

	1. Операторная	2. МНС	2.1 Насосы	2.2 Задвижки	2.3 Трубопроводы	2.4 Вентиляция
1. Чувствительные элементы			X			
1.1 Датчик давления			X	X	X	
1.2 Датчик температуры			X		X	X
1.3 Датчик вибрации			X			
1.4 Датчик уровня			X			
1.5 Датчик загазованности			X			
1.6 Датчик пламени			X			X
2. Исполнительные механизмы						
2.1 Задвижки				X	X	
2.2 Клапаны					X	
2.3 Магистральные насосы			X			
2.4 Заслонки					X	
3. АРМ						
3.1 Отображение тех. процесса	X		X	X		
3.2 Отображение рабочих параметров	X		X			
3.3 Отображение и архив. сообщений сост.	X			X		X
3.4 Отоб. и арх. параметров в граф. виде	X					
3.5 Управление тех. борудованием	X		X	X		

Рисунок 10 – Матрица проекции

### 3.1 Среда моделирования SimInTech

SimInTech (Simulation In Technic) — среда динамического моделирования технических систем, предназначенная для расчётной проверки работы системы управления сложными техническими объектами. SimInTech осуществляет моделирование технологических процессов, протекающих в различных отраслях с одновременным моделированием системы управления, и позволяет повысить качество проектирования систем управления за счет проверки принимаемых решений на любой стадии проекта. [9]

SimInTech предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в ядерных и тепловых энергоустановках, в системах автоматического управления, в следящих приводах и роботах, и в любых технических системах, описание динамики которых может быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и/или реализовано методами структурного моделирования. Основными направлениями использования SimInTech являются создание моделей, проектирование алгоритмов управления, их отладка на модели объекта, генерация исходного кода на языке Си для программируемых контроллеров.

Для SimInTech созданы и разрабатываются модули расширения, позволяющие создавать модели на базе специализированных расчетных кодов и интегрировать их в комплексные модели и проекты.

Может:

— использоваться для моделирования нестационарных процессов в физике, в электротехнике, в динамике машин и механизмов, в астрономии и т. д., а также для решения нестационарных краевых задач (теплопроводность, гидродинамика и др.);

— функционировать в многокомпьютерных моделирующих комплексах, в том числе и в системах удаленного доступа к технологическим и информационным ресурсам;

— функционировать как САПР при групповой разработке и сопровождении жизненного цикла изделия (проекта) при модельно-ориентированном подходе к проектированию.

SimInTech содержит библиотеки типовых блоков для моделирования:

- теплогидравлики/пневматики;
- электроцепей, в действующих и мгновенных значениях;
- силовых машин гидравлических/пневматических;
- механических взаимодействий;
- точечной кинетики нейтронов;
- баллистики космических аппаратов;
- динамики полета летательных аппаратов в атмосфере;
- электрических приводов;

Для разработки алгоритмов управления в SimInTech есть общетехнические библиотеки блоков автоматики, включающие более 300 блоков. Среди них библиотеки:

- конечных автоматов;
- релейной автоматики;
- нечеткой логики.

Кроме этого, SimInTech обладает:

- инструментами для создания интерфейсов управления;
- библиотекой цифровой обработки сигналов;
- библиотекой статистики;
- функционалом оптимизации/подбора параметров;
- протоколами обмена (OPC, UDP, TCP/IP, MODBUS, RS, FMI и т.д.);



- функционалом распараллеливания расчетов на разных вычислительных узлах;
- возможностями организации проекта через единый «шаблон» проекта;
- модулем для верификации кода ПЛИС;
- модулем анализа надежности, безопасности и живучести системы на принципиальной схеме.

### **3.2 Цели и задачи**

Разработать и реализовать в среде SimInTech систему автоматизации магистральных насосных агрегатов.

Для достижения цели необходимо реализовать

- а) Непрерывную работу процесса от момента включения до остановки;
- б) Автоматическое регулирование давления;
- в) Индикацию основных параметров.

### 3.3 Требования к системе

Состав модели АСУ:

- а) База данных сигналов;
- б) Регулировки давления;
- в) Режим «Авария»;
- г) Блок визуализации;

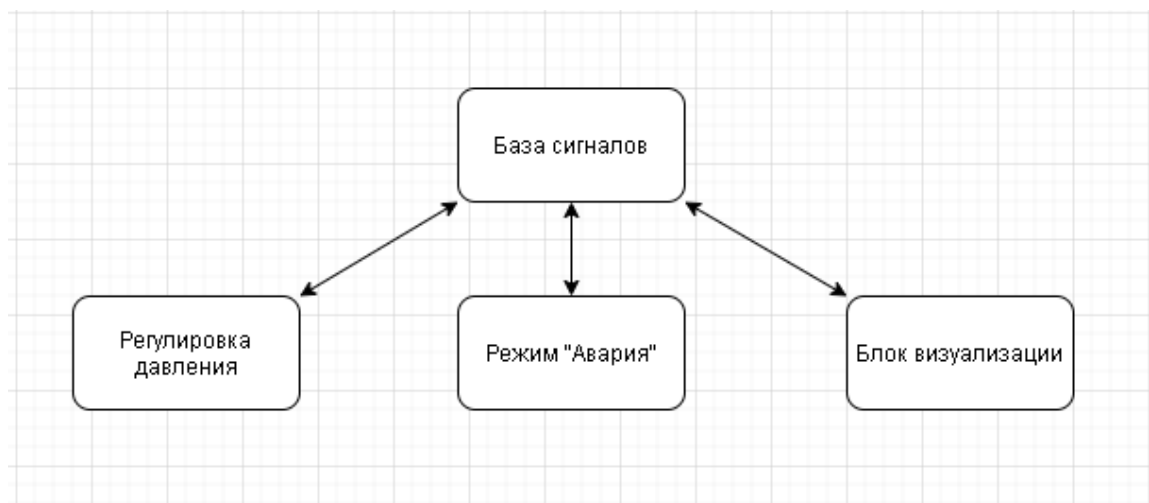


Рисунок 11 – Состав модели АСУ

Основные используемые средства SimInTech:

- База данных сигналов
- Блок Анимации
- Блок констант
- Ключи
- Субмодели
- Сигналы
- Блок Язык программирования
- Вывод данных

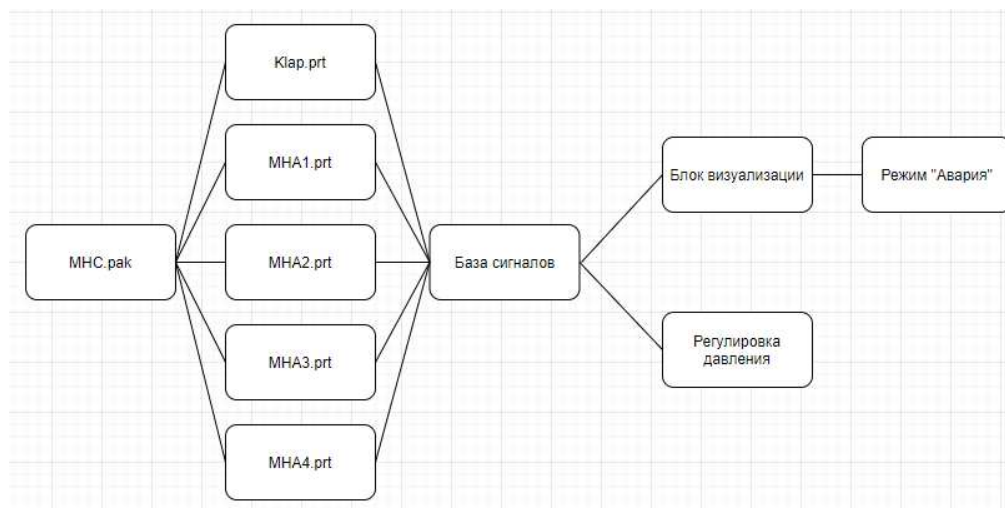


Рисунок 12 – Реализация модели в SimInTech

Данный проект должен соответствовать следующим требованиям:

- а) Поддержание давление давления не выше 15 усл. ед.
- б) Снижение давления МНА до значений 10 ед. входного давления в режиме «Авария»
- в) Визуализация

### 3.4 Реализация

В данном проекте предоставлена модель магистральной насосной станции в которой происходит автоматическая регулировка давления. Система состоит из 4 насосных агрегатов, давление на входном трубопроводе составляет 10 условных единиц, на выходе нужно поддерживать давление не больше 15 и не меньше 14 условных единиц. Есть режим «Авария», при котором насосы останавливаются, открывается обратный клапан и нефть идет по нефтепроводу транзитом, давление при этом опускается до входного как на выходе, так и в насосах.

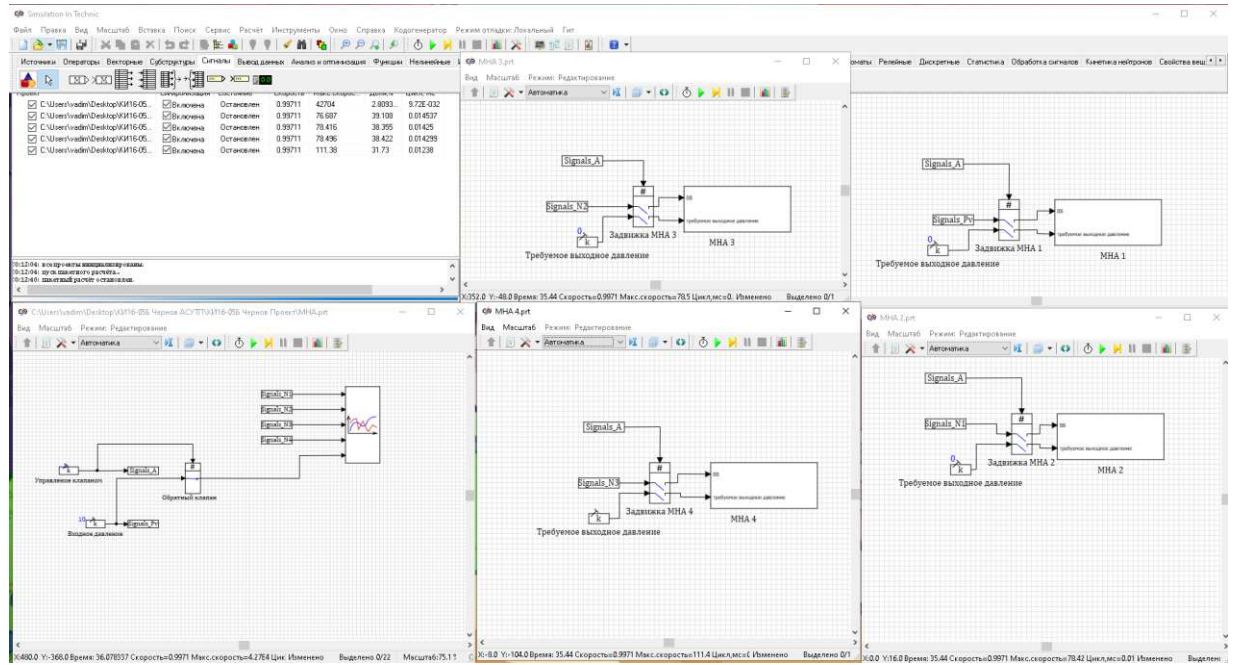


Рисунок 13 – Схема МНС.

№	Имя	Название	Тип данных	Формула	Значение	Способ расчёта
1	Pv	Входное давление	Веществен...		10	Переменная
2	Treqb	Требуемое давление	Веществен...		15	Переменная
3	Z	Регулятор давления( Заслонка)	Веществен...		1	Переменная
4	Pege	Перепад	Веществен...		14.5	Переменная
5	A	Управление обратным клапаном	Веществен...		0	Переменная
6	N1	МНА 1	Веществен...		0	Переменная
7	N2	МНА 2	Веществен...		0	Переменная
8	N3	МНА 3	Веществен...		0	Переменная
9	N4	МНА 4	Веществен...		0	Переменная

Рисунок 14 – База данных.

Регулировка давления происходит в субмоделях МНА, с помощью регулирующей задвижки.

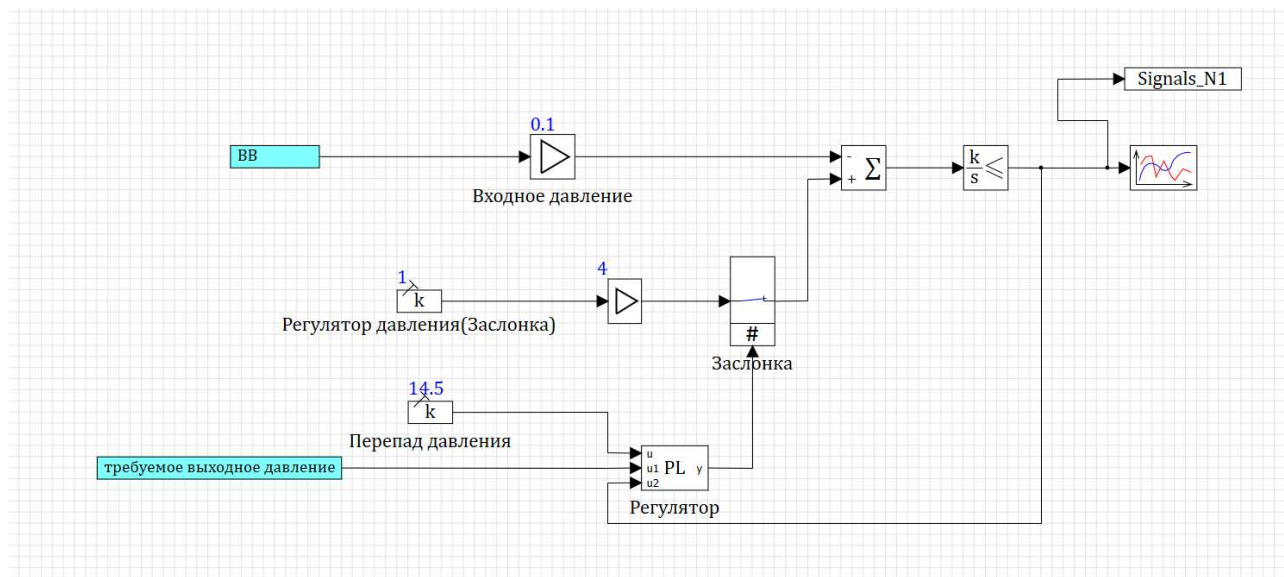
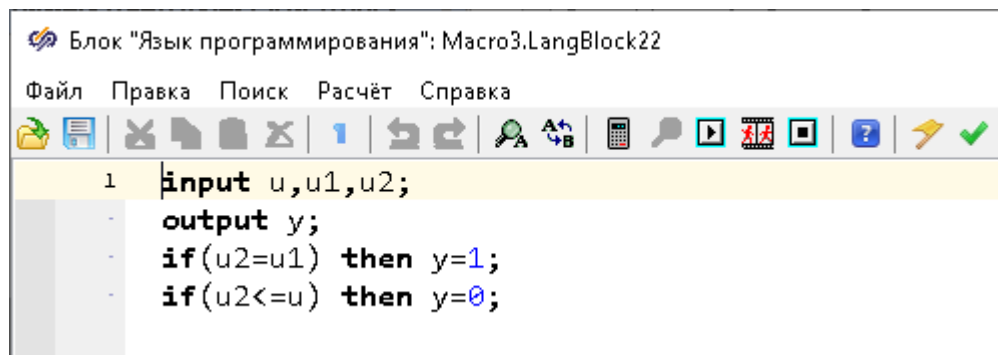


Рисунок 15 – Субмодель «МНА 1».

Если значение перепада давления равно нижнему допустимому значению, то регулирующая заслонка открывается и давление повышается, если значение равно допустимо предельному, задвижка закрывается.



The image shows a screenshot of a programming block editor window. The title bar reads "Блок 'Язык программирования': Macro3.LangBlock22". Below the title bar is a menu bar with "Файл", "Правка", "Поиск", "Расчёт", and "Справка". A toolbar contains various icons for file operations, editing, and execution. The main area displays the following code:

```
1 input u,u1,u2;  
- output y;  
- if(u2=u1) then y=1;  
- if(u2<=u) then y=0;
```

Рисунок 16 – Код блока программирования

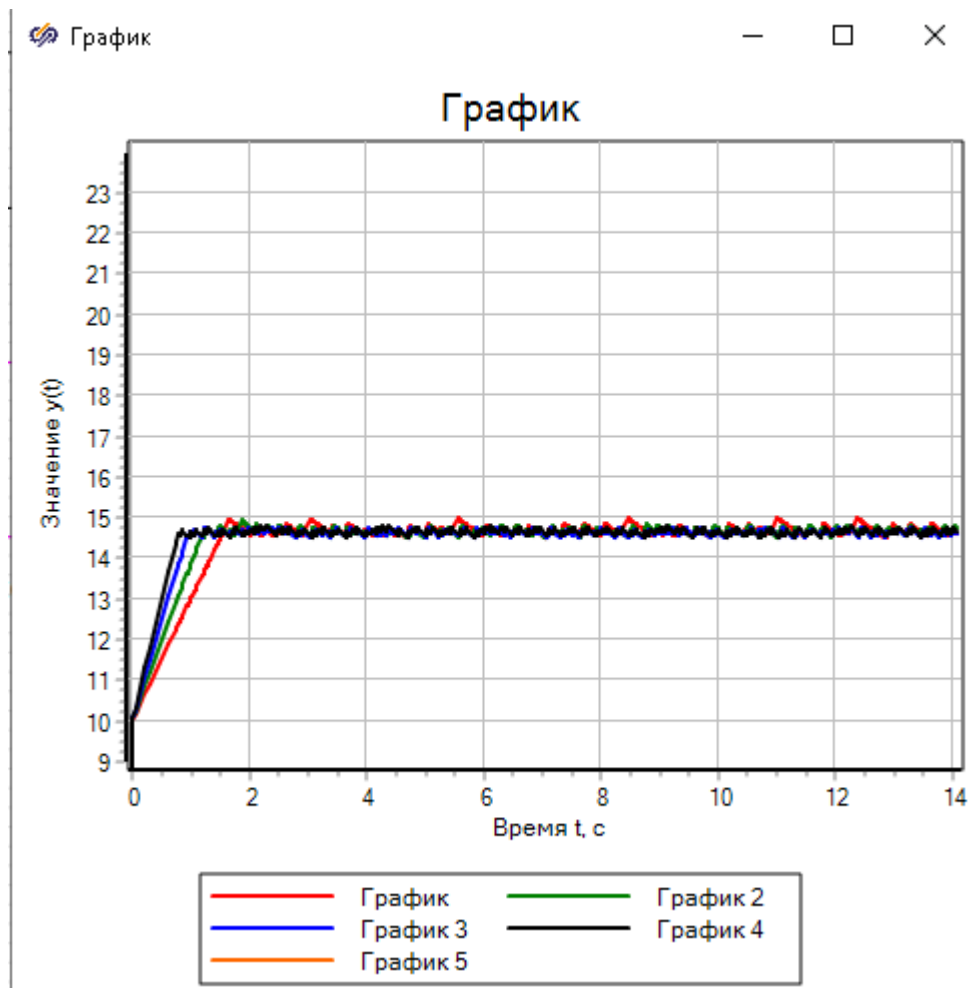


Рисунок 17 – Регулировка давления

При включении режима «Авария» происходит остановка всех магистральных агрегатов, закрываются насосные задвижки, открывается обратный клапан и нефть начинает идти транзитом, давление в агрегатах и на выходе трубопровода становится равно входному.

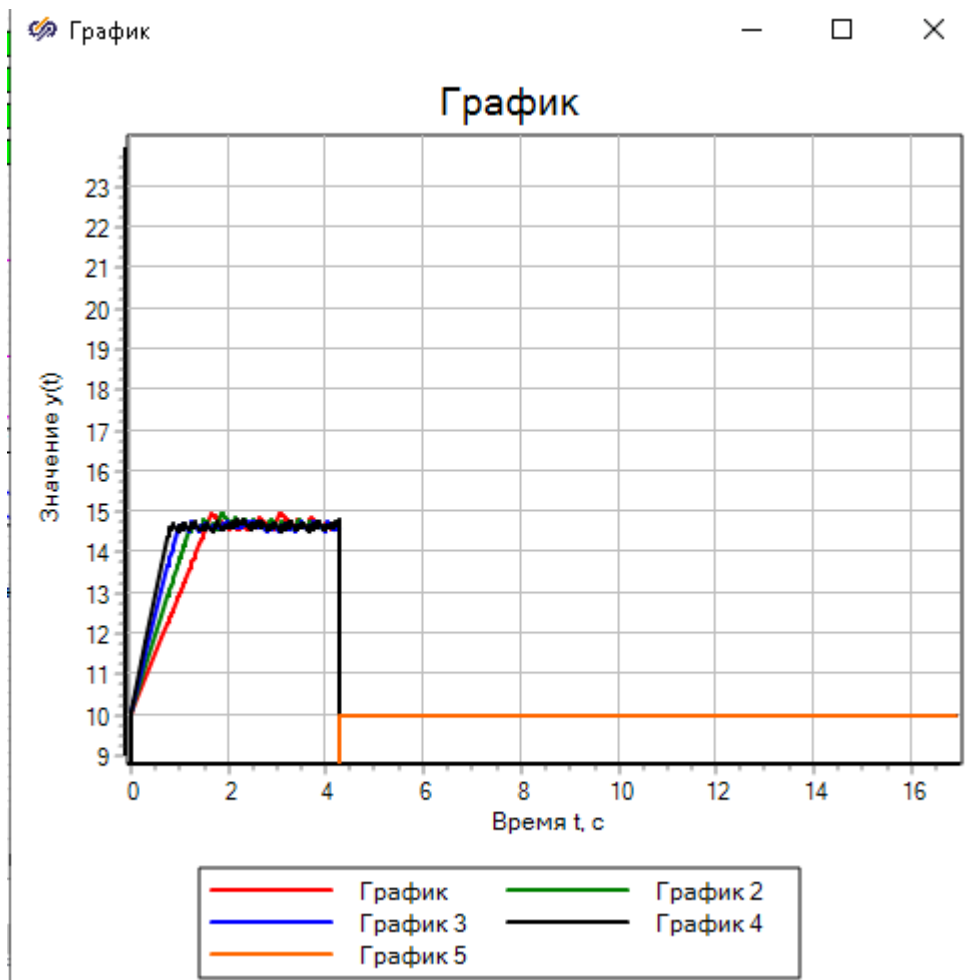


Рисунок 18 – Режим «Авария»



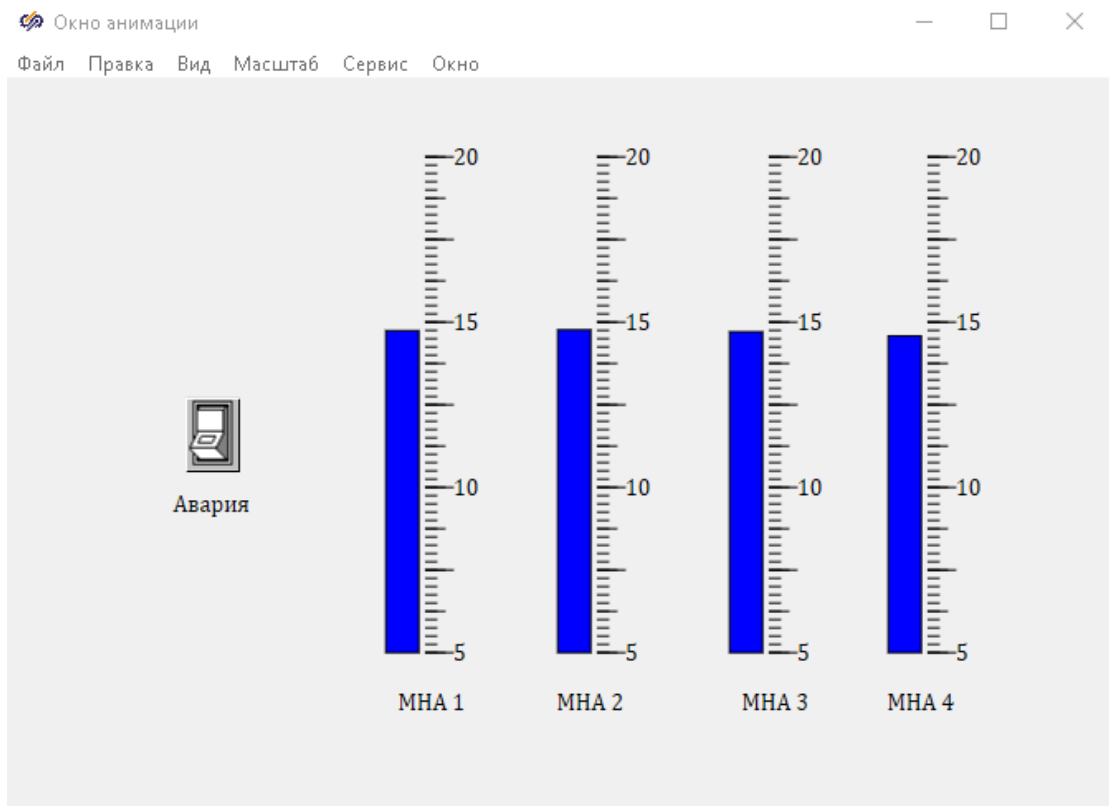


Рисунок 19 – Окно анимации

При нажатии кнопки «Авария» константа управления клапаном становится равной 1, открывается обратный клапан, требуемое давление сбрасывается, при отжатии кнопки обратный клапан закрывается и насосы работают в стандартном режиме.

```
1  if(Button.down=true)then
-  begin
-  Signals_A=1
-  Signals_Treb=0
-  end
-  else
-  begin
-  Signals_A=0
-  Signals_treb=15
10 end
```

Рисунок 20 – Скрипт режима «Авария»

### 3.5 Использование результатов в лабораторном практикуме

Цель – изучение объекта автоматизации и приобретение навыков его моделирование в среде SimInTech на примере модели насосного агрегата.

Задание на лабораторный практикум:

- а) Собрать схему по методическим указаниям и запустить проект;
- б) Оценить результаты моделирования на графиках;
- в) Изменить значения требуемого давления и его перепада;
- г) Оценить возникшие изменения при помощи графиков;
- д) Добавить систему управления команду отключения агрегатов при достижении максимального\минимального давления;
- е) Добавить 2 аналогичных насоса и объединить проекты в пакет.

Методические указания к работе:

- Создать схему модели общего вида и вставить в 2 блока «Константа» и блок «Субмодель».

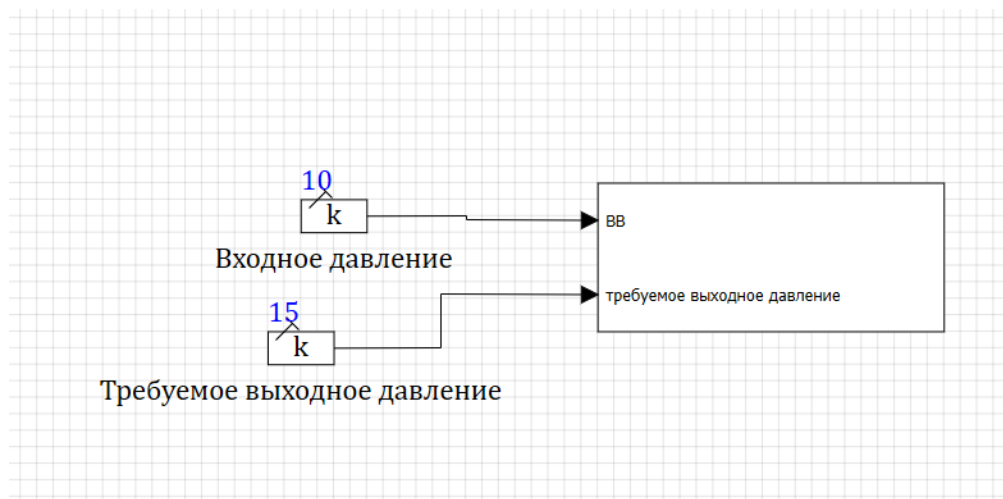


Рисунок 21 – Схема модели

Внутри субмодели построить схему, показанную на рисунке 22.

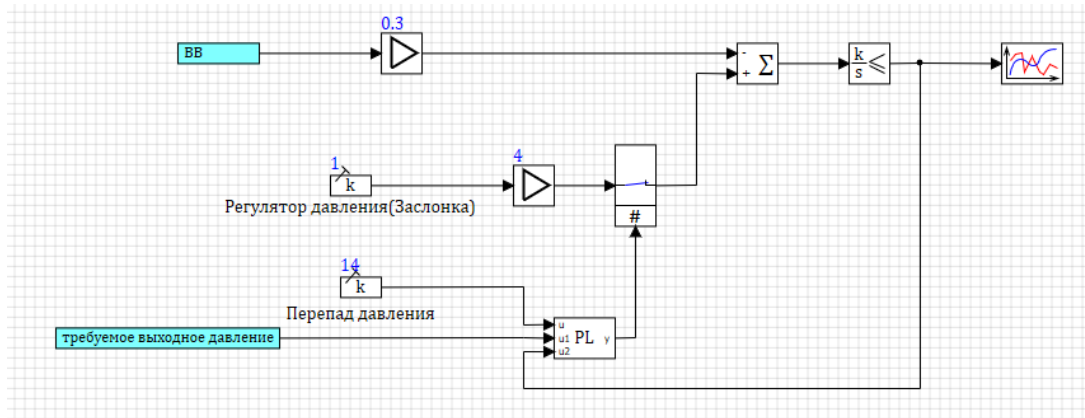


Рисунок 22 – Блок «Субмодель»

— Создать базу данных сигналов.

Редактор базы данных сигналов SDB

Редактор    Настройки    Состояние сети

№	Категори	№	Группы сигналов	Группа	Сводная	Имя	Название	Тип данных	Формула	Значение	Способ расчёта
0	Новая категория	1	Signals	1	Pv	Входное давление	Веществен...			10	Переменная
				2	Treb	Требуемое давление	Веществен...			15	Переменная
				3	Z	Регулятор давления(Заслонка)	Веществен...			1	Переменная
				4	Pere	Перепад	Веществен...			14.5	Переменная

Рисунок 23 – База данных

Записать созданные переменные в следующие блоки:

- Константа «Входное давление» – Signals\_Pv;
- Константа «Требуемое давление» – Signals\_Treb;
- Константа «Регулятор давления (Заслонка)» – Signals\_Z
- Константа «Перепад» – Signals\_Pere;
- Блок «Интегратор с ограничением» – Signals\_Treb.
- Записать код в блок программирования.

```
1 input u,u1,u2;
output y;
if(u2=u1) then y=1;
if(u2<=u) then y=0;
```

Рисунок 24 – Блок программирования

Реализована в среде SimInTech модель системы управления МНА, обеспечивающая:

- а) Непрерывную работу насосных агрегатов;
- б) Автоматическое регулирование давления;
- в) Индикацию основных параметров.

Модель состоит из 5 проектов связанных через базу сигналов в единый пакет с возможностью их улучшения и дополнения. Разработаны методические указания по применению модели МНА в учебном процессе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над ВКР была реализована в среде SimInTech модель системы автоматизации магистральных насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции, состоящая из 5 взаимосвязанных через общую базу сигналов проектов, обладающая возможностями:

- Регулировка давления по средствам управления заслонками
- Аварийное отключение агрегатов, при возникновении неисправности
- Визуальное отображения текущего состояния агрегатов

Полученные результаты могут быть использованы при отработке алгоритмов управления нового оборудования в условиях воздействия внешних факторов в заданных условиях эксплуатации, для обучения персонала.

На основании полученных результатов разработаны методические указания для использования в качестве лабораторного практикума при изучении дисциплин в области автоматизации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Автоматизированный учет нефти и нефтепродуктов при добыче, транспорте и переработке / А.Ш. Фатхутдинов, М.А. Слепян, Н.И. Ханов и др. – Москва.: Недра, 2002. – 417 с.
- 2 Антропов, А.Т. Программно–технический комплекс для автоматизации нефтеперекачивающих станций /А.Т. Антропов. – Нефтяное хозяйство, 2001. – № 10. – С. 17 – 21.
- 3 Баймульдин, М. К. Актуальность использования виртуальных лабораторных работ для дисциплины «Основы компьютерного моделирования» / М. К. Баймульдин, Э. К. Сейпишева, Б. О. Мухаметжанова, Д. Е. Сагатбекова. – 128 с.
- 4 Горев, С.М. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности. Курс лекций. Ч. 1. / С.М. Горев. – Петропавловск – Камчатский: КамчатГТУ, 2003. – 121 с.
- 5 Мастобаев, Б. Н. Эксплуатация насосных станций: Учеб. Пособие. / Б.Н. Мастобаев. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2000. – 135 с.
- 6 Основы моделирования в SimInTech. Методическое пособие / ФГБОУ ВО Российский химико–технологический университет им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал), Сост.: Ляшенко А.И., Вент Д.П., Маслова Н.В. – Новомосковск, 2018. – 42 с.
- 7 Певзнер, В.Б. Основы автоматизации нефтегазопроводов и нефтебаз. / В.Б. Певзнер. – Москва.: Недра, 1975, – 240 с.
- 8 Построение распределенных моделей в системе SimInTech: методические указания /сост.: С.П. Хабаров, М.Л. Шилкина. – Санкт-Петербург.: СПбГЛТУ, 2018. – 122 с.
- 9 Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]: Официальный сайт SimInTech. – Режим доступа: [https://help.simintech.ru/#o\\_simintech/o\\_simintech.html](https://help.simintech.ru/#o_simintech/o_simintech.html)


- 10 СГОЭС, СГОЭС-2 датчик-газоанализатор горючих газов оптический стационарный взрывозащищённый [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.gazoanalizators.ru/SGOES.html>
- 11 Термометры сопротивления ТС-1187-Exd взрывозащищенные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.рф/catalog/ts-1187-exd-termometry-soprotivleniya/>
- 12 Двигатели НПО «ЭЛСИБ» для привода насосов, компрессоров и других механизмов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electrodvigatel.com/assets/upload/proizvoditeli/elsib/Презентация%20электродвигатели%20Элсиб.pdf>
- 13 Насос НМ 2500-230-2.1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.hms.ru/pumps\\_catalog/detail.php?ELEMENT\\_ID=4977](https://www.hms.ru/pumps_catalog/detail.php?ELEMENT_ID=4977)
- 14 Датчики давления ЕЈА-Е [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.yokogawa.ru/products/kip/pressure\\_measurement/datchiki-serii-eja-e-tablitsa-datchikov/](http://www.yokogawa.ru/products/kip/pressure_measurement/datchiki-serii-eja-e-tablitsa-datchikov/)
- 15 Извещатель пламени ИПЭС-ИК/УФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electronstandart-pribor.com/ru/produktsiya/izveshchatel-plameni-ipes-ik-uf>
- 16 Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/defaultx.asp>
- 17 Актуальность моделирования: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsii.org/3-13711.html>



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматики, автоматизированное управление  
и проектирование»

УТВЕРЖДАЮ

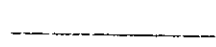
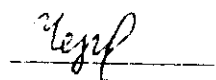

Заведующий кафедрой  
 С.В. Ченцов

« 26 » 06 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

**Моделирование магистральных насосных агрегатов  
нефтеперекачивающей станции**

Руководитель		<u>26</u> .06.2020 г.	доцент, канд. техн. наук И.Н. Пожаркова
Выпускник		<u>26</u> .06.2020 г.	В.О. Чернов
Нормоконтролер		<u>26</u> .06.2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020