

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических
процессов и производств

Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование алгоритмов управления технологическим процессом с применением методов ситуационного восприятия в интерфейсе АРМ оператора

УДК 004.584.021.658.310.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМб1	Бояринова Алёна Сергеевна		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР, доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	К. Т. Н.		
Консультант ВКР, начальник отдела АСУТП ОАО «ТомскНИПИнефть»	Зебзеев Алексей Григорьевич	К. Т. Н.		
Руководитель ООП Доцент ОИТ ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	К. Т. Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.ЭКОН.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	К. Т. Н.		

Томск – 2018г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

	экспериментальные данные и делать выводы.	
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEAN
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических
 процессов и производств
 Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Суходоев М.С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Бояриновой Алене Сергеевне

Тема работы:

Исследование алгоритмов управления технологическим процессом с применением методов ситуационного восприятия в интерфейсе АРМ оператора
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.04.2018 №2584/С
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small></p>	<p>Имитационный тренажер технологического процесса разрабатывается на базе имеющегося лабораторного стенда, который включает: демо-систему Foxboro Evo для демонстраций и обучения (в составе: ПК, ПЛК Foxboro FCP 280, лицензионно ПО для разработки). Объектом моделирования является центральный пункт сбора нефти одного из нефтегазовых месторождений РФ.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><small>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</small></p>	<p>Аналитический обзор работ, посвященных методам ситуационного восприятия информации, проведению исследований качества управления при помощи тренажеров операторов. Анализ объекта автоматизации, разработка алгоритмов управления. Разработка имитационного тренажера с двумя видами интерфейсом АРМ оператора. Проведение измерения времени квитирования аварийных</p>

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	ситуаций оператором. Оценка и анализ полученных данных исследования
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Блок-схемы алгоритмов управления объектами; Схемы стратегии управления; Чертежи форм видеокладов АРМ оператора.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>
--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В., доцент ОСГН ШБИП, к.экон.н.
Социальная ответственность	Невский Е.С., ассистент ИШХБМТ
Раздел на иностранном языке	Шепетовский Д. В., старший преподаватель ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
9. Разработка информационной модели
9.1.1. Используемые блоки
9.2.2. Организация иерархии экранов
9.2.4. Отображение аварийных ситуаций

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.09.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бояринова А.С.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение автоматизации и робототехники
Период выполнения осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.06.2018	Основная часть	60
20.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
25.05.2018	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	к. т. н		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Суходоев М. С.	к. т. н.		

Реферат

ВКР выполнена на 159 страницах, содержит 26 рисунков, 44 таблиц, 31 источник литературы, 6 приложений.

Ключевые слова: СИТУАЦИОННОЕ ВОСПРИЯТИЕ, АРМ ОПЕРАТОРА, ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС, АСУ ТП, АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ, НЕФТЕГАЗОДОБЫЧА, РСУ, SCADA.

В настоящей работе приведены решения по разработке имитационного тренажера с двумя видами интерфейса оператора. Разработке алгоритмов управления для ПЛК, проведено исследование данных времени квитирования аварийных ситуаций оператором.

Целью данной магистерской работы является исследование результатов применения ситуационного восприятия в интерфейсе АРМ оператора на повышение качества управления технологическим процессом. Проверяется гипотеза о том, что при переходе на интерфейс с ситуационным восприятием сокращается время идентификации аварийного состояния оператором.

Для выполнения работы использовались программные продукты Autodesk AutoCAD 2016, Microsoft Visio 2008, Archestra IDE, SCADA Intouch.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 компании Microsoft.

Глоссарий

Термин	Определение
Мнемосхема	Мнемосхема – это представление технологической схемы в упрощенном виде на экране АРМ.
Техническое задание на АС (ТЗ)	Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы.
Технологический процесс (ТП)	Технологический процесс – последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ. Технологический процесс состоит из рабочих операций, которые в свою очередь складываются из рабочих движений (приемов).
Архитектура АС	Архитектура автоматизированной системы – это набор значимых решений по организации системы программного обеспечения, набор структурных элементов и их интерфейсов, при помощи которых конструируется АС.
SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition –)	Под термином SCADA понимают инструментальную программу для разработки программного обеспечения систем управления технологическими процессами в реальном времени и сбора данных.
Объект управления	Объект управления – обобщающий термин кибернетики и теории автоматического управления, обозначающий устройство или динамический процесс, управление поведением которого является целью создания системы автоматического управления.
Программируемый логический контроллер (ПЛК)	Программируемый логический контроллер или терминальный контроллер – специализированное компьютеризированное устройство, используемое для автоматизации технологических процессов. В отличие от компьютеров общего назначения, ПЛК имеют развитые устройства ввода-вывода сигналов датчиков и исполнительных механизмов, приспособлены для длительной работы без серьезного обслуживания, а также для работы в неблагоприятных условиях окружающей среды. ПЛК являются устройствами реального времени.
Автоматизированное рабочее место (АРМ)	Автоматизированное рабочее место – программно-технический комплекс, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида. При разработке АРМ для управления технологическим оборудованием, как правило, используют SCADA-системы.
Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП)	Автоматизированная система управления технологическим процессом – комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях. Под АСУ ТП обычно понимается комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию основных технологических операций на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно завершенный продукт.
Распределенная система управления (РСУ)	Распределенная система управления – система управления технологическим процессом, характеризующаяся построением распределенной системы ввода вывода и децентрализацией обработки данных
ТЕГ	ТЕГ – метка как ключевое слово, в более узком применении идентификатор для категоризации, описания, поиска данных и задания внутренней структуры

Список сокращений

Аббревиатура	Краткая характеристика
АСУ ТП	Автоматизированная система управления технологическим процессом
УПН	Установка подготовки нефти
НГД	Нефтегазодобыча
МО	Математическое обеспечение
ПО	Программное обеспечение
ТО	Техническое обеспечение
ЧМИ	Человеко-машинный интерфейс
ЦПС	Центральный пункт сбора
РСУ	Распределенная система управления
ТП	Технологический процесс
ПЛК	Программируемый логический контролер
АРМ	Автоматизированное рабочее место
ИБП	Источник бесперебойного питания
НКПР	Нижний концентрационный предел распространения
ФСА	Функциональная схема автоматизации
СП	Сепаратор-пробкоуловитель
ТФС	Трехфазный сепаратор
НГСВ	Нефтегазовый сепаратор со сбросом воды
ТО	Теплообменник
П	Печь
КИПиА	Контрольно-измерительные приборы и автоматика

Содержание

Введение.....	12
1 Проблематика	15
2 Анализ литературы.....	17
3 Требования к тренажеру	19
3.1. Требования к представлению данных.....	19
3.2. Принципы построения интерфейса оператора.....	20
3.3. Структура экрана интерфейса оператора	22
3.4. Требования к интерфейсу оператора по отображению информации.....	23
3.5. Технологическая сигнализация	26
3.6. Подтверждение получения сигнала	27
3.7. Сообщения.....	27
4 Проектирование тренажера ТП.....	29
5 Модель технологического процесса.....	31
5.1. Описание технологической схемы.....	31
5.2. Автоматизируемые функции	32
5.3. Получение математической модели сепараторов ТФС-1-1, 1-2	36
5.4. Получение математической модели печей 02-П-1-1, 1-2, 1-3	39
6 Техническое обеспечение.....	43
6.1. Процессорный модуль	44
6.2. Модули ввода вывода	45
6.3. Станция управления.....	47
7 Программное обеспечение	49
7.1. Orchestra IDE.....	50
7.2. Интеграция Orchestra и Intouch.....	53
8 Математическое обеспечение	55
8.1. Сепараторы типа НГСВ 02-ТФС-1-1,2	56
8.2. Теплообменники 02-ТО-1-1,2,3	57
8.3. Печи нагрева нефти 02-П-1-1,2,3, 02-П-2-1	58

9	Разработка информационной модели.....	61
9.1.	Средний уровень	61
9.2.	Верхний уровень	70
10	Методика проведения исследования.....	78
10.1.	Описание методики.....	78
11	Анализ данных.....	81
12	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	89
12.1.	Потенциальные потребители результатов исследования	90
12.2.	Анализ конкурентных технических решений.....	91
12.3.	FAST-анализ	95
12.4.	План проекта.....	99
12.5.	Бюджет научного исследования	103
12.6.	Организационная структура проекта	108
12.7.	Матрица ответственности	109
12.8.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ...	111
13	Социальная ответственность.....	116
13.1.	Характеристика объекта исследования и области его применения	116
13.2.	Анализ возможных угроз	117
13.3.	Резервное копирование репозитория Galaxy	118
13.4.	Обеспечение корректной работы алгоритмов.....	119
	Заключение.....	127
	Список литературы	128
	Приложения	132

Введение

За последние несколько десятилетий автоматизированные системы управления технологическими процессами существенно изменились. Эти изменения обусловлены потребностью в оптимизации использования ресурсов и технических средств, управления процессом и обслуживания этих систем.

В течение ближайших десятилетий подобные изменения будут продолжаться под давлением рынка в сочетании с технологическим прогрессом. Количество единиц оборудования в современных АСУ ТП продолжает увеличиваться по мере снижения стоимости подключаемых устройств. АСУ ТП способны контролировать все больше оборудования, при этом растут надежность и пропускная способность сетей. Но в то время как развитие технологий позволяет подключать к системам все больше и больше единиц оборудования, их пользовательские интерфейсы отстают в развитии и не справляются с таким ростом.

Например, в прошлом один датчик мог генерировать только одно значение, которое и поступало в систему мониторинга. Но современные датчики также передают данные диагностики и встроенного контроля, а также множество параметров отладки. Зачастую пользовательские интерфейсы, на которые поступают эти данные, не способны отображать их оптимально для оператора, и лишь еще больше повышают нагрузку на его восприятие. При этом численность обслуживающего персонала современных АСУ ТП ниже, что также приводит к увеличению зон ответственности операторов и объему обрабатываемых им данных.

Ошибки операторов в промышленных системах вызывают до 42% аварийных ситуаций, имеющих непосредственное отношение к экономическим потерям и угрозам безопасности.

Некачественное управление ТП становится причиной почти половины всех аварий в перерабатывающих отраслях промышленности, потери от которых оцениваются в 2 млрд. долл. в год только в нефтепереработке и нефтехимии. По этой причине неслучайно стремление обеспечить снижение аварийности, повысить надежность и качество управления всеми доступными методами – от

технических средств автоматизации до учета человеческого фактора (обучение операторов, эргономика рабочих мест, пр.).

Для снижения вероятности человеческих ошибок все больше процессов переводится на автоматические режимы управления. Это несколько облегчает труд операторов, но имеет и нежелательные побочные эффекты – это ведет к чрезмерной зависимости операторов от системы. Оператор начинает действовать лишь в ответ на события с ее стороны, например, на сообщения о нарушении работы процесса. Нередко приходится слышать о том, что функции операторского персонала сводятся лишь к устранению неполадок или реагированию на аварийные сигналы. В такой среде операторы действуют лишь реактивно, т.е., неспособны предотвращать проблемы, а могут лишь реагировать на них.

Продолжающееся развитие производственных систем на фоне практической неизменности принципов дизайна пользовательских интерфейсов заставляет тратить все больше времени на подбор и обучение нового персонала. Часто на приобретение необходимых навыков операторы затрачивают не менее двух лет, поскольку им необходимо стать настоящими экспертами, способными компенсировать недостатки самих систем. Однако ситуация на рынке приводит к сокращению средней продолжительности работы сотрудников на одном месте. Средняя продолжительность работы на одном месте составляет лишь около 2 лет. Это означает, что оператор редко успевает достичь максимального уровня профессионализма. Еще одной проблемой почти во всех сегментах рынка является выход на пенсию наиболее квалифицированных сотрудников и необходимость их скорейшей замены.

Целью данной магистерской работы является исследование результатов применения ситуационного восприятия в интерфейсе АРМ оператора на повышение качества управления технологическим процессом.

Для достижения цели необходимо решить следующие основные задачи:

- 1) Разработать имитационный тренажер технологического процесса:
 - определить математическую модель, отражающую физические процессы, и имитирующую сигналы с устройств КИПиА;

– разработать имитационную модель технологического процесса с применением оборудования лабораторного стенда, которая включает в себя ПО среднего и верхнего уровней АСУ ТП;

– разработать несколько видов верхнего уровня (экранных форм) имитационной модели;

2) Разработать методику проведения исследования;

3) Получить данные о взаимодействии с тренажером (с каждым из видов интерфейсов) нескольких операторов;

4) Исследовать и проанализировать полученные данные.

Разрабатываемый тренажер применяется в качестве инструмента для исследования взаимодействия операторов со стандартным интерфейсом и интерфейсом построенным с применением ситуационного восприятия.

1 Проблематика

Безусловно, не следует отрицать множество удачных решений, уже давно применяемых в ЧМИ. Однако нужно понимать, что далеко не все они эффективно работают в современных условиях, так как имеется ряд проблем, которые необходимо учитывать при разработке интерфейса АРМ оператора:

- Проблема распределения функций между человеком и автоматикой;
- Проблема поддержки когнитивной деятельности;
- Проблема больших объемов данных;
- Проблема вторичной деятельности и навигации,
- проблема коммуникации и создания единой информационной модели,
- проблема управления вниманием.

Можно выделить следующие особенности ТП как предмета деятельности операторов:

- сложная динамика в присутствии значительной инерционности: это означает, что процесс легко «срывается» в случае непредвиденных возмущений (или ошибок оператора), а восстановление рабочего состояния требует много времени и усилий;

- психологическая сторона вышеприведенной особенности – рутинность работы в сочетании со стремительным развитием нештатных ситуаций. Иногда говорят, что операторская работа состоит из «55 минут ничегонеделания, сменяющегося пятью минутами настоящего ада». Поддержание боеготовности на рутинных участках – ключевая проблема подготовки операторов;

- огромная размерность и существенная связность процесса (многие сотни взаимосвязанных управляющих входов, контролируемых выходов, наблюдаемых и ненаблюдаемых возмущений). Выработка и совершенствование концептуальной понятийной модели процесса – актуальная инженерно-психологическая задача;

- слишком высокая скорость развития ситуаций, чтобы полностью просчитать последствия вмешательств;

- зашумленность наблюдений, «невоспроизводимость» статических и динамических состояний. Это не позволяет использовать технологические

эксперименты на объекте в задаче обучения операторов. Ничего повторить в точности на реальном объекте невозможно; ИМ остается практически единственным инструментом воспроизведения поведения процесса в реалистических условиях;

– разнообразие этапов операторской деятельности и разнородность психических процессов, обеспечивающих эти этапы.

2 Анализ литературы

Согласно модели, предложенной в работе [1], деятельность оператора по управлению сложными ТП представляет собой многостадийный процесс, включающий обнаружение отклонений от нормального режима, диагностирование причин этих отклонений, планирование и реализацию компенсирующих действий. Цикл повторяется по мере появления новой информации о развитии ситуации.

Можно выделить три основных направления усилий исследователей и разработчиков, связанные с поддержкой операторской деятельности: исследование ее специфики, определяющей риски управления ТП человеком; проверка систем управления без ущерба для производства; создание среды управления, обеспечивающей эффективную и безопасную работу оператора; обучение персонала управлению в нештатных и аварийных ситуациях.

Считалось, что человек не очень надежен, зато может действовать в трудноформализуемых ситуациях, в то время как автоматика – наоборот. Это положение легло в основу принципа распределения функций, сформулированного Полом Фиттсом в 1950-х гг. На основе данного принципа в 1960–70-х гг разными авторами были созданы таблицы [2], [3], описывающие достоинства человека и автоматики.

Указанные задачи все чаще решаются на базе высокоточных имитационных моделей ТП и высокоточного эмулирования операторской среды. Так, мировой рынок компьютерных тренажеров для промышленности углеводородов оценивается в 500 млн. долл. в год. Существенным компонентом решения этих задач являются психологические и психолого-педагогические исследования (включая экспериментальные с имитацией работы ТП). Обзор применения тренажеров в нефтегазовой отрасли представлен в [4].

Также имитационные тренажеры технологических процессов применяются в качестве инструментов исследования интерфейсов АРМ. Описание подобных исследований представлены в [1], [6] и [7]. Авторы данных работ исследуют экологичные интерфейсы АРМ, а также приводят методики проведения

подобных исследований и анализ полученных результатов. Однако в данных работах не рассматриваются вопросы разработки и реализации тренажера.

Концепция ситуационного восприятия рассматривается в работах [9], [10]. Авторы приводят конкретные формы видеокадров мнемосхем, выполненные с учетом подходов ситуационного восприятия, но не приводят данные исследования, а также не приводят реализацию среднего уровня АСУТП.

В данной ВКР рассматриваются вопросы разработки имитационный тренажера реальных технологических процессов ЦПС одного из Российских месторождений и приводится описание реализованного тренажера. Для разработки тренажера используется конкретное программное обеспечение и технические средства Foxboro Evo. Также в работе рассматриваются вопросы применения концепции ситуационного восприятия для интерфейса АРМ оператора и проводится исследование, которое сравнивает эффективность представления информации о процессе оператору через ЧМИ.

3 Требования к тренажеру

Тренажер должен представлять собой автономную систему, устанавливаемую в выделенном помещении учебного класса.

Тренажер должен состоять из интегрированных компонентов технического, программного и математического обеспечения.

Техническое обеспечение тренажера должно включать в себя рабочие станции и необходимое сетевое оборудование для обеспечения связи между ними.

Программное обеспечение тренажера должно включать в себя среду имитации АСУ ТП объекта, среду моделирования технологического процесса, среду графического интерфейса оператора.

Математическое обеспечение тренажерного комплекса должно включать в себя конфигурацию АСУ ТП объекта и алгоритмы управления, модель технологического процесса, мнемосхемы интерфейса оператора, сценарии технологического процесса. Математическое обеспечение реализуется средствами программного обеспечения тренажера.

Информационный обмен между подсистемами тренажера должен включать в себя обмен данными и передачу команд от интерфейса. Он должен осуществляться на основе внутренних протоколов внутри ПО одного производителя и протокола OPC для обмена данными между ПО разных производителей. Скорость информационного обмена должна быть достаточной для передачи данных и команд в режиме реального времени.

3.1. Требования к представлению данных

Для представления данных оператору АСУТП должен использоваться человеко-машинный интерфейс (ЧМИ).

К изображению на мнемосхемах, как к средству ЧМИ в промышленных условиях, в соответствии с [] предъявляются следующие требования:

– ЧМИ должен обеспечить отображение технологических объектов на графических экранах с актуализацией на них фактических параметров и сигналов, поступающих из I уровня управления и показателей, расчет которых выполняется программными средствами;

- ЧМИ должен обеспечить немедленное отображение предупредительных и аварийных сигналов вне зависимости от инициированной в этот момент программы и отображения на экране, а также наличие функций квитирования этих сигналов, в том числе, при поступлении серии сигналов;
- ЧМИ должен обеспечить поддержку диалога для выполнения функций телеуправления с отображением ответной информации, поступающей от управляемого объекта;
- ЧМИ должен обеспечить поддержку диалога для задания или изменения уставок;
- ЧМИ должен обеспечить протоколирование информации, идентифицирующей конкретного пользователя, при инициализации и окончании сеанса работы;
- ЧМИ должен обеспечить протоколирование всех ответственных действий оператора с указанием даты и времени события;
- должна быть предусмотрена возможность визуальной индикации ошибочных действий пользователя (попытка воздействия на заблокированный или деактивированный элемент управления, например – команды на открытие открытой задвижки или задвижки заблокированной от ручного управления) или ввода неверных значений;
- навигация по мнемосхемам должна осуществляться по принципу «от общего к частному» – от Основной мнемосхемы, которая содержит схематические обозначения всех подобъектов, к мнемосхемам этих подобъектов.

3.2. Принципы построения интерфейса оператора

Интерфейс должен обеспечивать информационную поддержку операторов при реализации функций:

- отображения параметров и состояния технологического оборудования;
- дистанционного управления;
- выдачи тревожных сообщений;
- квитирования сигналов;
- маскирования сигналов;

- гипертекстового (или другого способа) просмотра эксплуатационной документации;
 - навигации по информационной модели объекта контроля и управления.
- Должны быть обеспечены следующие принципы построения интерфейса оператора:
- возможность совместного представления мультимедийной (текстовой, графической, звуковой) информации на экране АРМ от каждой из функций;
 - возможность отображения информации на экране АРМ в многооконном виде;
 - возможность обращения оператора к каждой из функций посредством манипулятора (например, манипулятора типа «мышь»);
 - возможность функционирования на любом АРМ для различных режимов работы (информационный и управление);
 - реализация всех типов интерфейса оператора с помощью одинаковой структуры экрана, что обеспечивает быструю и удобную ориентацию в поле монитора всех категорий пользователей;
 - безопасность при управлении оборудованием и изменении технологических параметров должна быть обеспечена авторизацией пользователей и определением уровня доступа для каждого пользователя таким образом, что уровень доступа пользователя определяет перечень функций управления и изменения, которые пользователю разрешено выполнять;
 - использование для всех типов интерфейсов единых способов представления информации на видеокадрах: ключи управления различными типами оборудования, параметры, сигнализация, элементы мнемосхем, цветовая кодировка, графики, таблицы, гистограммы, справка, размеры символов и т.д.;
 - реализация системы сигнализации (включая звуковую), которая должна информировать оператора о выходе технологических параметров за регламентные границы, нарушении условий безопасной эксплуатации; о завершении/начале исполнения команд управления, изменении состояния контрольно-измерительной аппаратуры;

- вызов специальных видеокадров, необходимых для контроля за «пределными параметрами состояния и условиями безопасной эксплуатации» во всех состояниях объекта контроля и управления;

- реализация обратной связи на все действия оператора путем изменения цвета или яркости выбранной клавиши, «утапливания» выбранной кнопки.

В качестве основного языка сообщений необходимо использовать русский. В сообщениях могут использоваться технологические термины из словаря предметной области системы. При недостатке места для вывода информации допускается использовать сокращения, смысл которых должен быть оговорен эксплуатационной документацией на систему.

3.3. Структура экрана интерфейса оператора

Интерфейс оператора АРМ вне зависимости от типа и вида выводимой информации должен быть организован в виде окна, состоящего из следующих основных областей:

- область главного меню;
- область видеокадра;
- область технологической сигнализации (информационных, предупредительных и аварийных сообщений);
- статусная строка.

Данное разделение областей экрана должно обеспечить выполнение основных функций, реализуемых интерфейсом АРМ.

Главное меню должно располагаться в верхней части экрана и содержать кнопки для вызова основных функций контроля и управления интерфейсом АРМ.

Статусная информация должна находиться под областью видеокадра. В правой части статусной строки должно быть выделено постоянное поле для индикации даты и времени (часы/минуты/секунды).

Область видеокадра должна занимать основную часть экрана и служить для представления вызываемых видеокадров (мнемосхем, графиков, журналов, таблиц и т.п.).

Все мнемосхемы (в рамках информационной модели объекта контроля и управления) должны быть связаны между собой переходами для обеспечения оператора средствами навигации по информационной модели.

Должна иметься возможность вызова фрагментов мнемосхемы несколькими путями:

- прямой: выбор левой клавишей манипулятора (например, типа «мышь») соответствующих кнопок в окне групповой сигнализации.

- последовательный (иерархический): вызов фрагментов информационной модели объекта контроля и управления (мнемосхем) по гиперссылкам, в качестве которых должны выступать узлы, агрегаты и конструктивные элементы;

- поточный: переход на соседний фрагмент путём нажатия на зону перехода на вызванном фрагменте.

3.4. Требования к интерфейсу оператора по отображению информации

Для информационной поддержки операторов по оценке состояния объекта контроля и управления параметры работы оборудования должны отображаться в реальном масштабе времени в виде:

- мнемосхем;
- гистограмм;
- оперативных и архивных графиков (трендов);
- оперативных отчетов;
- таблиц.

3.4.1 Мнемосхемы.

Основной подход к решению проблемы выбора количества мнемосхем и информации, отображаемой на каждой из них, должен быть основан на принципах нисходящего проектирования, т.е. для каждой информационной модели объекта контроля и управления должна разрабатываться опорная мнемосхема. Выбор количества мнемосхем и информации, отображаемой на каждой из них, должен определяться информационной моделью объекта контроля и управления.

Сложные технологические узлы и агрегаты, представленные на мнемосхеме в виде одного элемента, должны быть раскрыты – расшифрованы в виде соответствующих мнемосхем. Для этого должен быть разработан набор расшифровывающих мнемосхем, где информация по сложному узлу или агрегату объекта должна быть представлена более подробно. Допускается использование нескольких ярусов расшифровки. Расшифровка может производиться по топологическому принципу (т.е. по отдельным агрегатам и их частям) и по функциональному принципу (электрические, механические схемы, и т.д.).

При отображении на мнемосхемах информации о состоянии объекта контроля и управления и параметрах работы оборудования должны использоваться следующие цвета:

- зеленый - агрегат включен, задвижка открыта, нормальное значение параметра;
- желтый – агрегат отключен, задвижка закрыта, предупредительная сигнализация;
- оранжевый – в горячем резерве;
- коричневый – в ремонте (маскируемый параметр);
- синий – готов к работе;
- красный – неисправен, отключен по аварии, аварийная сигнализация;
- розовый – имитация параметра;
- серый – промежуточное положение.

Детальные мнемосхемы должны отображать состояния элементов, узлов и агрегатов объекта контроля и управления. Обобщенные мнемосхемы должны отображать состояния самого объекта контроля и управления.

Для создания мнемосхем необходимо использовать библиотеку унифицированных мнемосимволов объектов автоматизации.

Для изображения изменения состояния объекта контроля и управления и параметров работы оборудования следует использовать изменение цвета соответствующих мнемосимволов.

Требуемые видеокadres вызываются на экраны мониторов по запросам оператора.

При возникновении неисправностей и отклонений параметров к соответствующей мнемосхеме должно быть привлечено внимание оператора.

3.4.2 Тренды.

Интерфейс оператора должен предоставлять возможность просмотра информации о состоянии технологического процесса в виде трендов реального времени и архивных трендов.

На трендах реального времени должна отображаться информация за текущие сутки.

На исторических (архивных) трендах должна отображаться информация за прошедший временной период, длительность которого определяется частным ТЗ для конкретной системы.

При этом у оператора должны быть предусмотрены средства, позволяющие:

- осуществлять выбор диапазона границ отображения графиков для оси параметра и для оси времени;
- осуществлять выбор параметров для отображения (не менее трех).

3.4.3 Гистограммы.

Гистограммы параметров АСУТП должны отображаться на экране монитора АРМ диспетчера в соответствии со списком, определённым техническим заданием на конкретную систему. На гистограммах должны быть отображены численные значения параметров и их уставки. Недостоверные параметры отображаются специальными символами или цветом.

3.4.4 Справочная информация.

Справочная информация должна отображаться по вызову оператора и выводиться на специально выделенное место на экране монитора (рабочая область), либо в дополнительное окно, наложенное на отображаемую мнемосхему.

Должна быть предусмотрена возможность получения справочной информации по аналоговым и дискретным параметрам, объектам контроля и управления.

По аналоговым параметрам на запрос оператора должна выдаваться следующая справочная информация: идентификатор, наименование, диапазон измерения, единицы измерения, уставки.

По дискретным параметрам на запрос оператора должна выдаваться следующая справочная информация: идентификатор, наименование, уставки.

3.4.5 Таблицы.

Интерфейс оператора должен предоставлять возможность просмотра информации о состоянии технологического процесса в виде таблиц текущих значений параметров, результатов расчётов или другой информации, определённой техническим заданием на систему. Форма таблиц должна определяться на этапе проектирования конкретной АСУТП и может содержать название параметра, идентификатор, текущее значение, уставки.

3.5. Технологическая сигнализация

Технологическая сигнализация предназначена для извещения работников о возникновении нарушений в технологическом процессе, изменениях в составе работающего оборудования и обнаруженных неисправностях. Вся технологическая сигнализация автоматически должна выводиться на экраны мониторов АРМ и сигнальное печатающее устройство.

Технологическая сигнализация должна подразделяться на предупредительную и аварийную:

- предупредительная сигнализация при отклонении за установленные пределы технологических параметров;
- предупредительная сигнализация при изменении состояния подсистем автоматического управления;
- предупредительная сигнализация при обнаруженных неисправностях различных устройств;
- аварийная сигнализация при аварийных отклонениях технологических параметров;

– аварийная сигнализация при срабатывании технологических защит, противоаварийной автоматики.

Любой вид сигнализации должен вызывать включение соответствующего звукового сигнала, изменение цвета изображения или появление изображения соответствующего вида и цвета. Предупредительные и аварийные световые и звуковые сигналы должны различаться.

Предупредительные и аварийные сообщения для привлечения внимания оператора должны выделяться цветом и мигающим эффектом. В случае использования мигающих эффектов частота мерцания не должна превышать 1 раз в секунду. В случае, использования цветового выделения следует применять:

- красный цвет для отображения сообщений об ошибках;
- желтый цвет для отображения предупреждающих сообщений;
- зеленый цвет для отображения нормального функционирования всех систем;
- белый цвет для отображения информационных и подтверждающих сообщений.

3.6. Подтверждение получения сигнала

В отношении активных аварийных и предупредительных сигналов необходимо обеспечить подтверждение их получения обслуживающими работниками. В отношении сигналов, которые ранее были активными, но затем были деактивированы, также требуется обеспечить подтверждение получения изменения их состояния.

3.7. Сообщения

3.4.6 Аварийные и предупредительные сообщения

Аварийные и предупредительные сообщения, формируемые информационно-управляющими системами, должны отсылаться диспетчеру сообщений. Диспетчер должен осуществлять запись сообщений в хронологическом порядке и предоставлять оператору возможность просмотра всех сообщений за временной период, определённый в техническом задании на систему. Сообщение должно содержать:

- метку времени возникновения события с точностью до миллисекунд;

- идентификатор параметра;
- сокращённое наименование сообщения;
- признак квитирования сообщения;
- дополнительную информацию (например, значение уставки).

Должна быть обеспечена возможность фильтрации сообщений при их выводе на монитор (по типу сообщений или по определённому оборудованию).

3.4.7 Информационные сообщения

Информационные сообщения должны использоваться для уведомления пользователя о том, что произошло событие, на которое пользователь должен обратить внимание.

4 Проектирование тренажера ТП

Разработка имитационного тренажера оператора предполагает выполнение следующих требований:

- наличие математических моделей процессов;
- реализацию указанных моделей в режиме имитации;
- воссоздание рабочего места оператора, подобного (психологически и, отчасти, физически) его рабочему месту в реальном процессе, включая организацию операторского интерфейса и органов управления;
- анализ и оценка результатов исследования.

На рисунке 1 представлена структура имитационного тренажера.



Рисунок 1 – Структура тренажера

Составляющими тренажера являются:

- модель технологического процесса. Модель технологического процесса воспроизводит физические и химические преобразования, проходящие в объекте управления. В основе модели используются дифференциальные уравнения, описывающие тепловые, гидравлические, кинематические и изменения характеристик объекта.

– информационная модель. Информационная модель имитирует трехуровневую АСУ. Данная модель должна точно воспроизводить работу реальной системы. Информационная модель тренажера разрабатывается при помощи специализированного программного обеспечения и моделирующих платформ, позволяющих создать тренажер без использования реального промышленного оборудования КИПиА и эксплуатировать его в режиме симуляции. Данный подход гарантирует высокую безопасность имитационного тренажера, а также отсутствие материальных потерь от выхода из строя оборудования в случае неверных или неаккуратных действий оператора.

– методика исследования. Методика исследования определяет основные принципы и параметры исследования, по которым будет оцениваться эффективность взаимодействия оператора с ЧМИ. Предлагает программу (последовательность действий) исследования.

5 Модель технологического процесса

Для разработки математической модели технологического процесса были выбраны следующие объекты ЦПС:

- Трехфазные сепараторы, типа НГСВ;
- Печи нагрева нефти;
- Площадка теплообменников.

Полученные математические модели применяются в скриптах, которые имитирует сигналы оборудования КИПиА.

5.1. Описание технологической схемы

Пластовая эмульсия из системы сбора месторождения по трубопроводам поступает на блок входного манифольда и далее равномерно распределяется между технологическими нитками УПН 1-го и 2-го этапов строительства.

Обработанная деэмульгатором, ингибитором коррозии и ингибитором солеотложений нефтяная эмульсия разделяется на два входных сепаратора-пробкоуловителя 02-СП-1-1,2. Далее нефтяная эмульсия поступает на первую ступень сепарации с предварительным сбросом пластовой воды в трехфазные сепараторы 02-ТФС-1-1,2.

В трехфазных сепараторах 02-ТФС-1-1,2 осуществляется отстой водонефтяной эмульсии со сбросом воды через клапан-регулятор межфазного уровня на сооружения водоподготовки, а дегазированная водонефтяная эмульсия через клапан-регулятор уровня направляется в рекуперативные теплообменники 02-ТО-1-1,2,3.

Отделившийся газ от сепараторов-пробкоуловителей 02-СП-1-1,2 и трехфазных сепараторов 02-ТФС-1-1,2 поступает в газовые сепараторы 02-ГС-1-1,2 для отделения унесенной капельной жидкости.

Дегазированная на входной ступени сепарации водонефтяная эмульсия поступает на рекуперативный пластинчатый теплообменник 02-ТО-1-1,2,3 (2 раб.+1 рез.). Водонефтяная эмульсия выступает в качестве хладагента для потока товарной нефти, поступающего после электродегидраторов. В теплообменниках 02-ТО-1-1,2,3 водонефтяная эмульсия нагревается теплом товарной нефти.

После теплообменников-рекуператоров водонефтяная эмульсия поступает на блок первой ступени нагрева нефти на вход печей 02-П-1-1,2,3, работающих параллельно (2 раб.+1 резерв.). На вход печей первой ступени нагрева нефти 02-П-1-1,2,3 также возможен прием слабоминерализованной воды от отстойника и электродегидратора. В печах первой ступени нагрева нефти 02-П-1-1,2,3 нефтяная эмульсия, проходя через змеевик печей, нагревается до температуры 35 °С, температура нагрева нефти поддерживается на требуемом технологическом уровне регулированием подачи топливного газа клапаном-регулятором.

После блока печей первой ступени нагрева нефти 02-П-1-1,2,3 нагретая до температуры 35 °С нефтяная эмульсия направляется на первую ступень обезвоживания в трехфазные сепараторы 02-ТФС-1-1,2,3.

В трехфазных сепараторах 02-ТФС-2-1,2,3 осуществляется отстой водонефтяной эмульсии со сбросом воды через клапан-регулятор межфазного уровня на сооружения водоподготовки, а дегазированная водонефтяная эмульсия через клапан-регулятор уровня направляется в блок второй ступени нагрева нефти на вход печи 02-П-2 (резерв печь 02-П-1-3). Отсепарированный в трехфазных сепараторах 02-ТФС-2-1,2,3 газ через клапан-регулятор давления «до себя», поддерживающий заданное давление в аппарате, поступает на блок подготовки и распределения газа.

5.2. Автоматизируемые функции

В данном пункте приведен объем автоматизации рассматриваемых объектов.

5.2.1. Теплообменники 02-ТО-1-1,2,3

Предусмотрен следующий объем автоматизации:

1) автоматическое регулирование:

– температуры прямого потока нефти с помощью регулирующих клапанов, установленных на потоке товарной нефти;

2) дистанционное управление: регулирующими клапанами, арматурой с электроприводом;

3) дистанционное измерение:

- давления и температуры в трубопроводах прямого и обратного потока;
- перепада давления на фильтрах;
- 4) сигнализация аварийная:
 - неисправности регулирующих клапанов и электроздвижек;
- 5) сигнализация предупредительная:
 - высокой и низкой температуры в трубопроводах прямого и обратного потока;
 - высокого и низкого значения давления в трубопроводах нефти;
 - высокого перепада давления на фильтрах;
- 6) сигнализация известительная положения регулирующих клапанов и электроприводной арматуры.
- 7) предусмотрен местный контроль температуры и давления в трубопроводах нефти прямого и обратного потоках (термометры, манометры);
- 8) на площадке предусматривается автоматический контроль загазованности с установкой светозвуковой аппаратуры на площадке и сигнализацией в операторной.

5.2.2. Печи 02-П-1-1,2,3

В качестве печей подогрева предусматривается использование подогревателей блочно-комплектного исполнения. С точки зрения автоматизации подогреватели являются изделием полной заводской готовности и поставляются с микропроцессорными шкафами управления и средствами КИП.

Система автоматизации печей предусматривает:

- 1) контроль и сигнализация минимальных и максимальных значений параметров:
 - температуры продукта на выходе из печи;
 - давления топливного газа после редуцирующего устройства;
 - давления газа к запальным и основным горелкам;
 - давления воздуха, подаваемого к камерам сгорания;
 - давления нагреваемого продукта;
 - температуры уходящих дымовых газов;

- расхода нагреваемой среды;
- наличия пламени горелок;
- наличия дозрывных концентраций в теплообменной камере в блоке

подготовки топливного газа, на воздуховоде от вентилятора.

2) Системой автоматизации предусмотрены автоматические защиты печи, включающие закрытие приводной арматуры на линии подачи газа к печи, а затем, с выдержкой по времени, отключение печи по входу/выходу при следующих условиях:

- превышении температуры дымовых газов;
- аварийно-максимальной температуре продукта;
- аварийно-минимальном расходе нагреваемого продукта;
- аварийно-минимальном давлении воздуха, подаваемого к камерам

сгорания;

- срыве или погасании пламени в любой из четырех камер сгорания;
- при исчезновении напряжения в цепях управления;
- при невозможности розжига дежурных горелок;
- аварийно-минимальном и аварийно-максимальном давлении

нагреваемого продукта.

3) Кроме этого схемой автоматизации предусматривается:

- измерение расхода и давления нефти на входе печей;
- измерение давления газа к печам;
- измерение температуры нефти на входе и выходе печей;

4) автоматический останов печей путем закрытия задвижек на трубопроводах входа и выхода нефти, подачи газа при:

- падении расхода нефти в печь ниже допустимого;
- при снижении температуры нефти на выходе ниже допустимого;
- при аварийно-высоком и аварийно-низком давлении топливного газа;
- при высокой загазованности на площадке печей.

5.2.3. 02-ТФС-2/1,2

Предусмотрен следующий объём автоматизации:

1) автоматическое регулирование:

- уровня в нефтесборных отсеках сепараторов с помощью регулирующих клапанов, установленных на выходных трубопроводах нефти;
- межфазного уровня «нефть-вода» в отстойных отсеках сепараторов с помощью регулирующих клапанов, установленных на выходных трубопроводах пластовой воды;

2) автоматическое управление:

- открытие пневмоприводной арматуры на линии аварийного сброса давления на факел при максимальном давлении в аппаратах;

3) дистанционное управление:

- регулируемыми клапанами, отсечной арматурой;

4) дистанционное измерение:

- уровня жидкости в нефтесборном отсеке;
- межфазного уровня «нефть-вода» в отстойной зоне;
- давления и температуры в сепараторах;
- загазованности на площадке;

5) сигнализация аварийная:

- аварийно - высокого и низкого уровней в отсеках сепараторов;
- аварийно - высокого и низкого давления в сепараторах;
- неисправности регулирующих клапанов и электроздвижек;
- загазованности на площадке;

- сигнализация предупредительная:

- высокого и низкого уровня в отсеках сепараторов;
- низкой температуры в сепараторах;

- сигнализация известительная положения регулирующих клапанов и отсечной арматуры.

б) предусмотрен местный контроль температуры и давления в сепараторах (термометры, манометры), а также визуальный контроль уровня в отстойной зоне;

7) на площадке предусматривается автоматический контроль загазованности с установкой светозвуковой аппаратуры на площадке и сигнализацией в операторной.

5.3. Получение математической модели сепараторов ТФС-1-1, 1-2

Принцип действия сепараторов типа НГСВ следующий: сырая нефть поступает в сепаратор через входной штуцер. Сразу на входе происходит первичное выделение свободного газа, который концентрируется в верхней части емкости. Перед выходом через выходной патрубок, находящийся в верхней части корпуса, попутный нефтяной газ проходит через устройство улавливания капельной жидкости.

Жидкость, прошедшая процесс дегазации, проходит отсек коалесценции с равномерным распределением потока по всему объему сепаратора. Благодаря разности веса и плотности нефть и вода разделяются. Вода при этом опускается в нижнюю часть сепаратора с последующим сбрасыванием через выходной штуцер воды.

Обезвоженная нефть проходит через переливную перегородку и скапливается в камере сбора нефти в нижней части корпуса.

В каждом отсеке имеется уровнемер, который измеряет уровень жидкости и уровень раздела фаз. Регулирующие клапаны позволяют поддерживать уровень на заданном уровне. Трехфазный сепаратор типа НГСВ представлен на рисунке, где:

- 1 – клапан сброса воды;
- 2 – задвижка на трубопроводе входа нефти в сепаратор;
- 3 – аварийный сигнализатор уровня;
- 4 – межфазный датчик уровня;
- 5 – аварийный сигнализатор уровня;
- 6 – датчик уровня;
- 7 – задвижка на трубопроводе сброса газа;
- 8 – клапан на трубопроводе отвода нефти.

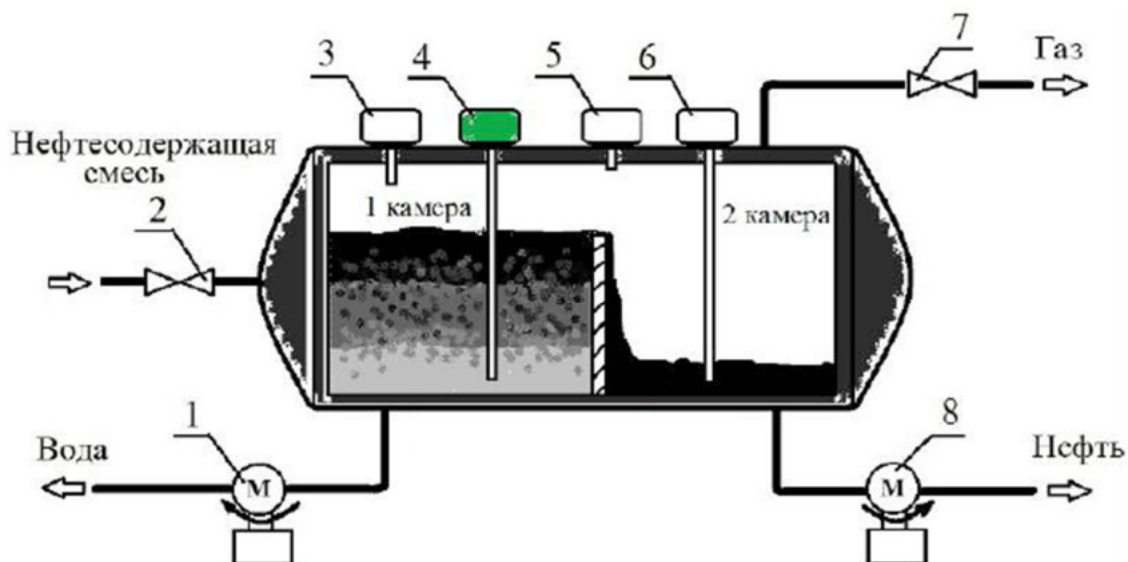


Рисунок 2 – Сепаратор НГСВ

Размеры сепаратора определены в соответствии с [15] и конструкторской документацией. Исходные данные для расчета приведены в таблице

Таблица 1 – Параметры сепаратора

Наименование	Обозначение величины	Значение
Давление в сепараторе	P	1,6 МПа
Диаметр сепаратора	D	3400 мм
Длина общая	l	21000 мм
Длина отстойного отсека	l_1	13000 мм
Длина камеры сбора нефти	l_2	8000 мм
Объем сепаратора	V_c	200 м ³
Поддерживаемый уровень нефти	L	1550 мм
Поддерживаем межфазный уровень	L_m	1300 мм
Диаметр патрубка сброса воды	d_v	318 мм
Диаметр патрубка откачки нефти	d_n	522 мм
Диаметр трубопровода входа нефти	$d_{вх}$	416 мм
Начальная обводненность нефти	$W1$	42 %
Конечная обводненность нефти	$W2$	30 %
Время нахождения нефти в сепараторе	t	25 мин
Скорость движения нефти	v	1,5 м/с

В соответствии с [16], [17] определим расход нефти поступающей на вход сепаратора НГСВ и расход сброшенной воды:

$$Q_n = S \cdot v = \frac{\pi d_{\text{вх}}^2}{4} \cdot v;$$

$$Q_B = S \cdot v = \frac{\pi d_B^2}{4} \cdot v \cdot n,$$

где n – процент открытия клапана.

Примем, что расход на входе в сепаратор постоянен.

Определим выражение, которое будет отражать изменение уровня в сепараторе, для этого рассчитываем разность объемов поступившей в сепаратор жидкости и сброшенной через клапан воды за время $t1$ (примем время 1с.):

$$\Delta V = (Q_H - Q_B) \cdot t1;$$

Определим объем заполнения отстойного отсека. Рассмотрим цилиндр в разрезе (рис.).

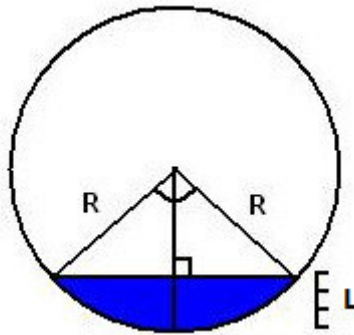


Рисунок 3 – Заполнение сепаратора

Площадь заполненной части получается из сектора после вычета верхнего треугольника. Площадь сектора находится как:

$$S_{sec} = \frac{\alpha R^2}{2};$$

где α – угол дуги в радианах.

Линия, опущенная вертикально вниз делит верхний треугольник на два прямоугольных треугольника. Гипотенуза у них равна R , а катет, прилежащий к верхнему углу, равен $R-L$. Таким образом:

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{R-L}{R};$$

$$\alpha = 2 \arccos\left(\frac{R-L}{R}\right).$$

Площадь верхнего треугольника определяем при помощи формулы Герона:

$$S_{\Delta} = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)};$$

Где:

$$p = \frac{a + b + c}{2};$$

$$a = b = R;$$

$$c = 2\sqrt{R^2 - (R - L)^2}.$$

Таким образом площадь заполненного сегмента определяется как:

$$S = S_{sec} - S_{\Delta} = R^2 \arccos\left(\frac{R - L}{R}\right) - \sqrt{p(p - a)(p - b)(p - c)}.$$

После подстановки и преобразования выражения получаем:

$$S = R^2 \arccos\left(\frac{R - L}{R}\right) - (R - L)\sqrt{(2RL - L^2)}.$$

Перейдем к объему:

$$\Delta V = S \cdot l1 = l1 \cdot \left(R^2 \arccos\left(\frac{R - L}{R}\right) - (R - L)\sqrt{(2RL - L^2)} \right);$$

То есть окончательно получаем модель изменения уровня в сепараторе:

$$(Q_H - Q_B) \cdot t1 = l1 \cdot \left(R^2 \arccos\left(\frac{R - L}{R}\right) - (R - L)\sqrt{(2RL - L^2)} \right).$$

5.4. Получение математической модели печей 02-П-1-1, 1-2, 1-3

Принимаем следующие ограничения и допущения:

1. Внутри змеевика параметры распределённые (температура зависит от координаты, меняется по длине змеевика).
2. Стационарный процесс (за малые промежутки времени параметры не изменяются в широких пределах).
3. В змеевике процесс идеального вытеснения (в любом сечении трубы температура постоянна в каждой точке этого сечения). Принимаем на основании того, что движение потока хладагента в змеевиковых и трубчатых элементах небольшого диаметра удовлетворительно соответствует гидродинамической модели идеального вытеснения.
4. Поперечное перемешивание в змеевике идеальное.
5. Тепловой поток через поверхность теплообмена устанавливается мгновенно и направлен перпендикулярно к ней в каждой точке.

6. Идеальная изоляция от внешней среды (нет потерь тепла в окружающую среду).
7. Среды, участвующие в процессе, несжимаемы.
8. Коэффициент теплопередачи от газа к сырью постоянен по площади поверхности змеевика.
9. Внутри печи сосредоточенные параметры.
10. Теплоемкость поверхности теплообмена пренебрежимо мала по сравнению с теплоемкостью веществ, участвующих в процессе теплообмена.
11. Давление постоянно.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры печи нагрева нефти

Наименование	Обозначение величины	Значение
Давление газа	P	1,6 МПа
Температура газа	T	273 К
Расход газа	F_g	0,0029 м ³ /с
Молярная масса газа	M	0,016 кг/моль
Газовая постоянная	R	8,31 Дж/кг*моль
Удельная теплота сгорания газа	q_g	41 МДж/кг
Диаметр газопровода	d	152 мм
Длина змеевика	l	70 м
Диаметр змеевика	D	400 мм
Удельная теплоемкость нефти	C	2100 Дж/кг
Плотность нефти	ρ	880 кг/м ³
Расход нефти	F_n	0,083 м ³ /с
Температура нефти на входе в печь	$T_{вх}$	10°С

Перейдем к получению математической модели. Выделим элементарный объем ΔV длиной Δx .

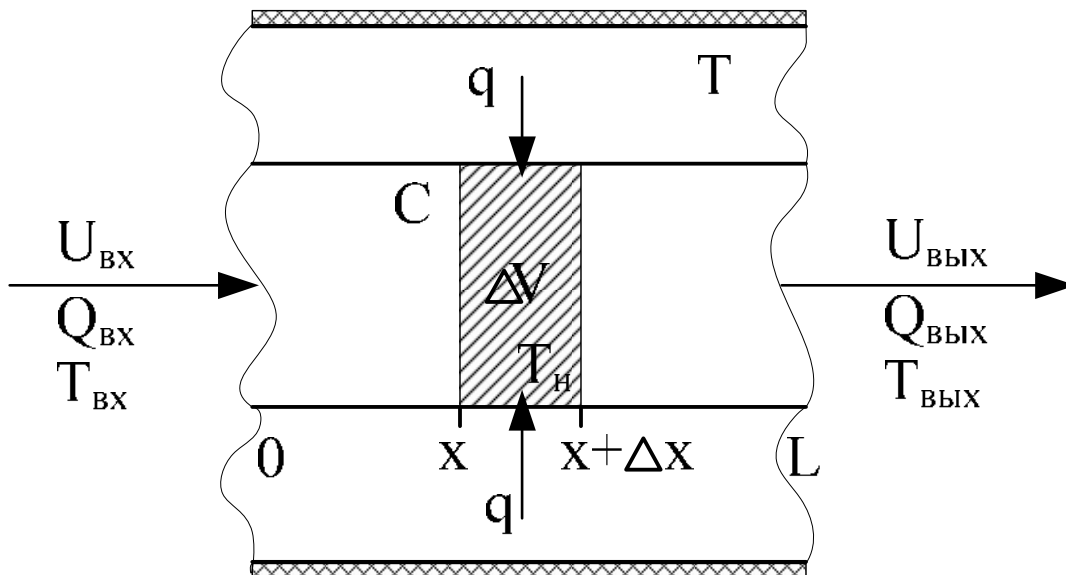


Рисунок 4 – Модель нагрева нефти

$Q_{\text{ВХ}}$ – количество тепла, поступающего с сырьем на вход.

$Q_{\text{ВЫХ}}$ – количество тепла, выходящего с сырьем.

$T_{\text{ВХ}}$ – температура сырья на входе в элементарный объем.

$T_{\text{ВЫХ}}$ – температура сырья на выходе из элементарного объема.

q – количество тепла передаваемое выделенному объему в процессе.

Объем нефти поступившей в печь определим как:

$$\Delta V_{\text{Н}} = Q_{\text{Н}} \Delta t;$$

Запишем уравнение теплового баланса для нефти в выделенном объёме змеевика:

$$Q_{\text{ВХ}} + q = Q_{\text{ВЫХ}};$$

При этом количество теплоты при горении газа определяется как:

$$q = q_{\text{Г}} m_{\text{Г}}.$$

Масса газа определяется из уравнения Менделеева-Клаперона:

$$m_{\text{Г}} = \frac{PVM}{RT};$$

Объем газа определяется из соотношения:

$$V = F_{\text{Г}} t \cdot n;$$

Где n – процент открытия клапана.

Количество теплоты нефти на входе и при нагревании на выходе определяется как:

$$Q_{\text{ВХ}} = C m_{\text{Н}} T_{\text{ВХ}};$$

$$Q_{\text{ВЫХ}} = Cm_{\text{H}}T_{\text{ВЫХ}}.$$

Таким образом уравнение теплового баланса можно представить:

$$Cm_{\text{H}}(T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}}) = q_{\Gamma}m_{\Gamma}S,$$

Где S – площадь поверхности теплообмена, определяется как:

$$S = \pi D \Delta x.$$

Разрешим уравнение теплового баланса относительно $T_{\text{ВЫХ}}$:

$$Cm_{\text{H}}T_{\text{ВЫХ}} = q_{\Gamma}m_{\Gamma}S + Cm_{\text{H}}T_{\text{ВХ}};$$

$$T_{\text{ВЫХ}} = \frac{q_{\Gamma}m_{\Gamma}S + Cm_{\text{H}}T_{\text{ВХ}}}{Cm_{\text{H}}}.$$

Подставляем ранее найденные величины:

$$T_{\text{ВЫХ}} = \frac{Sq_{\Gamma} \frac{PVM}{RT} + CV_{\text{H}}\rho T_{\text{ВХ}}}{CV_{\text{H}}\rho}.$$

Полученное выражение применяется в качестве математической модели изменения температуры нефти на выходе печи в зависимости от процента открытия клапана на газопроводе подачи топлива.

6 Техническое обеспечение

Информационная модель, применяемая в исследовании, разрабатывается на базе лабораторного стенда Schneider Electric. Структура стенда представлена на рисунке 5.

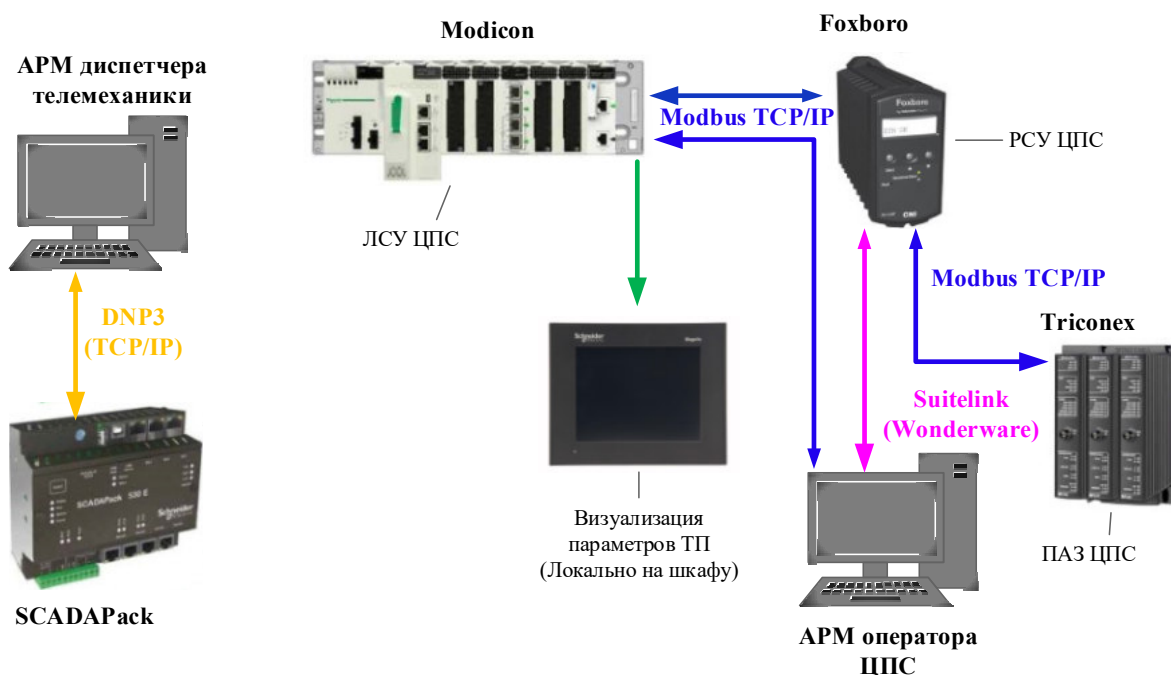


Рисунок 5 – Структурная схема КТС стенда

Для имитационной модели PCУ ЦПС применяется система I/A Series (Foxboro EVO), которая представляет собой измерительно-вычислительные комплекс, предназначенный для измерений и измерительных преобразований стандартизованных аналоговых выходных сигналов датчиков в виде силы и напряжения постоянного тока, сопротивления постоянному току, сигналов от термопар и термопреобразователей сопротивления, частоты следования импульсов, регистрации и хранения измеренных значений, приема и обработки дискретных сигналов, формирования управляющих и аварийных аналоговых и дискретных сигналов на основе измерений параметров технологических процессов.

Система I/A Series (Foxboro EVO) является проектно-компонентной, на ее основе могут быть построены многоуровневые распределенные системы большего объема.

Система включает:

- модули ввода/вывода серии FBM;

- управляющий процессор FCP280;
- терминальные панели (ТА), являющиеся модулями соединения с полевыми сигналами и обеспечивающие защиту модулей FBM;
- вспомогательное оборудование (блоки питания, адаптеры, коммутаторы и др.);
- операторскую станцию и сервера.

Для связи с компонентами, периферийными устройствами, датчиками система имеет встроенную поддержку сетевых протоколов и технологий: Ethernet, HART, Foundation Fieldbus, MESH и др.

Модули ввода/вывода и управляющие процессоры крепятся на терминальные панели, которые, в свою очередь, монтируются, как правило, в шкафах на DIN-рейках [18].

6.1. Процессорный модуль

ПЛК Foxboro 280 выполняет логические временные и последовательные функции управления, а также сбор данных, обнаружение аварийных сигналов и уведомлений. Запатентованная и отказоустойчивая конструкция данного ПЛК обеспечивает максимальную доступность и бесперебойную работу. Процессорный модуль предназначен для построения систем управления способных адресовать большое число точек ввода/вывода.



Рисунок 6 – Внешний вид процессорного модуля FCP-280

FCP280 обеспечивает вдвое большую производительность и в три раза превосходит производительность предыдущих контроллеров, обеспечивает

повышение производительности и экономичности даже в самых требовательных приложениях [19].

Основные технические характеристики процессорного модуля представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики процессорного модуля FCP280

Технические характеристики процессора	Описание
Объем памяти	128 МБ SDRAM Флэш-память 128 МБ
Коммуникация с модулями Скорость передачи	2 Мбит / с для FBM серии 200 или 268 Кбит / с для FBM серии 100
Расширяемость	До 32 портов с расширенной полевой шиной (до 128 FBM по всем четырем расширенным полевым шинам) при использовании исключительно с сериями 200 FBMs.
Максимальное количество настроенных блоков	Максимальное количество блоков управления, которые могут быть настроены для FCP280 составляет 8000. Количество выполнений блоков в секунду 16 000 блоков в секунду

6.2. Модули ввода вывода

Применяются интерфейсные модули FBM247, которые обеспечивают аналоговую и цифровую связь с полевыми устройствами, совместимыми с HART. Они также поддерживают стандартные сигналы 4-20 мА от аналоговых устройств. Каждый модуль содержит восемь каналов, которые отдельно изолированы друг от друга.

Модули FBM247 содержат 8-каналов входных/выходных HART AI/AO 4-20 мА, 0-20 мА AI/AO, 0-10V and 0-5V AI, импульсный вход, DI, DO:

Каждый канал ввода / вывода выполняет преобразование сигнала, требуемое для взаимодействия электрических сигналов ввода / вывода от полевых датчиков и исполнительных механизмов с резервной шиной Fieldbus и гальванически изолируется от других каналов и земли.

Каждый канал индивидуально настраивается, позволяя нескольким типам сигналов ввода / вывода подключаться к одному FBM247.

Каждая FBM HART может обслуживать до восьми подчиненных устройств в сетевой конфигурации с точечной точкой; многострочные сетевые конфигурации не поддерживаются. FBM работают в конфигурации «точка-точка». В этом режиме традиционный сигнал 4-20 мА используется для передачи одной основной переменной процесса. Цифровой сигнал связи HART обеспечивает доступ к вторичным переменным процессам, параметрам конфигурации и другим данным устройства, которые могут использоваться для операций, ввода в эксплуатацию, обслуживания и диагностики.

Протокол связи HART основан на стандарте телефонной связи Bell 202 и работает в соответствии с принципом частотной манипуляции (FSK). Это в дополнение к стандартным аналоговым входным или аналоговым выходным сигналам 4-20 мА (в зависимости от модели FBM). Цифровой сигнал состоит из двух частот: 1200 Гц и 2200 Гц, представляющих соответственно биты 1 и 0. Синусоидальные волны этих двух частот накладываются на постоянный ток (аналоговый) сигнал для обеспечения одновременной аналоговой и цифровой связи.

На рисунке 7 показана взаимосвязь между различными элементами оборудования в подсистеме. FBM HART и FBM247, поддерживающие HART, обеспечивают интерфейс связи между управляющей станцией Foxboro и полевыми устройствами HART I / O. Замыкающие сборки (TA) обеспечивают физическое подключение полевых устройств к FBM.

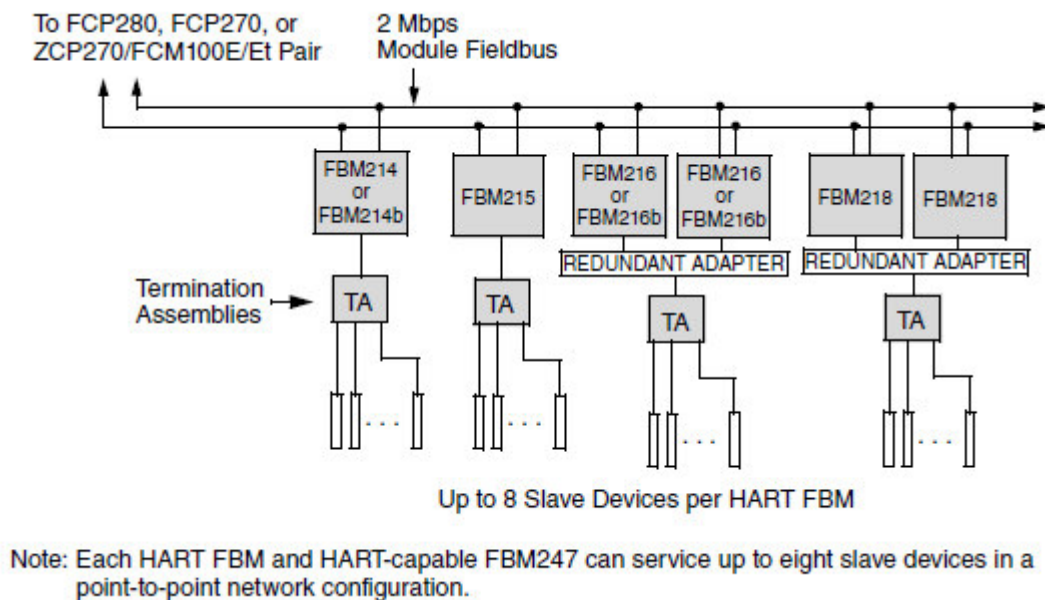


Рисунок 7 – Связь модулей и терминальных панелей

Использование ТА, основанного на базовой плате, устраняет необходимость иметь отдельный шкаф для сортировки для ввода / вывода FBM или требования к интервалу, необходимые для установки отдельного стандартного терминального узла. Эта ТА монтируется непосредственно на разъемы ввода / вывода на полевой панели 200 Series, аналогично резервируемому адаптеру. Эта ТА поддерживает два, не избыточных FBM, при условии, что эти FBM установлены в соседних слотах.

Для питания модулей, установленных в шасси ПЛК и шасси расширения, предусмотрены источники питания.

Технические характеристики источников питания:

- Номинальное входное напряжение – 120 В/220 В АС;
- Диапазон входного рабочего напряжения – 85...265 В АС;
- Диапазон входной частоты напряжения – 47...63 Гц;
- Выходная мощность источника – 75 Вт/60°C.

6.3. Станция управления

- Монитор
- Буквенно-цифровая клавиатура
- Мышь



Рисунок 8 – Станция управления

Используется однокомпьютерная архитектура, которая представлена на рисунке 9. Однокомпьютерное приложение обычно включает один компьютер, не подключенный к сети и выполняющий функции первичного интерфейса оператора. Такой компьютер связывается с технологическим процессом прямым соединением, например, последовательным кабелем.

В такой архитектуре разработка приложения InTouch ведется на одном компьютере. Можно скопировать приложение на другой компьютер, внести в него изменения и скопировать обратно.

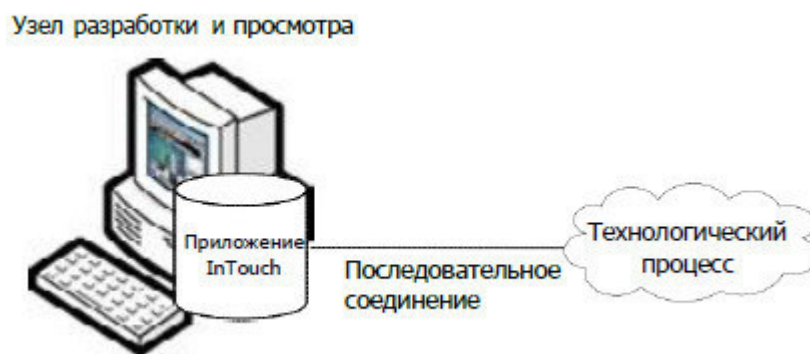


Рисунок 9 – Однокомпьютерная архитектура

7 Программное обеспечение

Программное обеспечение систем можно разделить на 2 группы – встроенное программное обеспечение (ВПО) и внешнее, устанавливаемое на персональный компьютер и/или загружаемое в контроллер FCP280.

ВПО, влияющее на метрологические характеристики, устанавливается в энергонезависимую память измерительных модулей систем в производственном цикле на заводе-изготовителе и в процессе эксплуатации изменению не подлежит (уровень защиты «средний» - по Р 50.2.077-2014).

В качестве программной платформы построения системы I/A Series (Foxboro EVO) используется внешнее программное обеспечение, основанное на интегрированном продукте, состоящем из системного программного обеспечения Foxboro I/A Series, Foxboro Control Software, Foxboro Control Core Services (v8.x и выше) и программного обеспечения для конфигурирования и разработки Foxboro Control Software (v4.x и выше) на базе системной платформы ArchestrA System Platform.

Основой системы является репозиторий баз данных Galaxy, который хранит информацию обо всех элементах системы, управляет их изменениями, правами доступа и безопасностью. Репозиторий баз данных Galaxy располагается на выделенном сервере и обеспечивает периодическое резервирование базы данных. Кроме Galaxy репозитория в стандартный набор программного обеспечения (Foxboro Control Software) входят следующие компоненты:

- среда разработки, конфигурирования и отладки – Foxboro Control Software Configuration Tools;

- системное обслуживание и мониторинг работы всех элементов системы – I/A Series (Foxboro EVOTM) System Manager;
- среда визуализации – Wonderware InTouch
- соответствующая среда разработки подсистемы визуализации;
- система аварийных сообщений – Alarm Management и/или I/A Series (Foxboro EVOTM) Alarm Managers;
- средство конфигурирования, мониторинга и документирования устройств HART, Foundation Fieldbus и Profibus – Foxboro Field Device Manager;
- система исторических данных – Wonderware Historian и/или I/A Series (Foxboro EVOTM) AIM*Historian;
- система анализа исторических данных – Wonderware Historian Client;
- Wonderware Information Server для предоставления пользователям информации в виде HTML-страниц (Web-сервер);
- терминальный сервер – Terminal Server для поддержки удаленных операторских терминалов;
- прямой доступ к хранилищу конфигураций Galaxy для выполнения скриптов и массовых изменений – Direct Access [18].

Внешнее программное обеспечение позволяет создавать новые базы данных, редактировать существующие конфигурации на месте эксплуатации объекта управления в режиме онлайн.

Разработка имитационной модели тренажера реализованы на базе интегрированной среды ArchestrA IDE. Интегрированная среда разработки ArchestrA IDE является единым инженерным инструментарием для конфигурирования архитектуры системы, алгоритмов управления, привязки функциональных блоков к физическим сигналам и интерфейсу оператора и соответствует стандартам IEC 1131-3, S88: FBD (Functional Block Diagram), SFC (Sequential Flow Chart), Ladder Logic.

В отличие от классических SCADA-решений, IAS предоставляет ряд дополнительных возможностей для сбора данных в реальном масштабе времени, управления алармами и событиями, манипулирования данными и совместного проектирования на всех уровнях предприятия. Кроме решения задач SCADA и DCS, IAS является адекватной платформой для построения систем MES-уровня и имеет в своем составе все необходимые модули для интеграции в системы уровня предприятия (ERP) [5].

Распределенная архитектура равноправных узлов сети предоставляет полную свободу в выборе топологии системы как на этапе начальной фазы разработки, так и в течение всего жизненного цикла проекта. Так как все узлы равноправны, можно построить систему «stand-alone» (все сервисы выполняются на одной машине), клиент-серверную систему (логически выделяется одна машина как сервер и на нее переносятся все сервисы сбора и обработки данных, а на клиентах остается только среда визуализации), многосерверную систему (то же, только логически выделяется несколько серверов), полностью распределенную систему (каждый узел системы локально выполняет сбор, обработку и представление информации, при этом все узлы работают в едином информационном пространстве и обмениваются информацией между собой) [20].

7.1.1. Объектно-ориентированная производственная модель.

Базовыми элементами приложения являются объекты (шаблоны объектов и экземпляры), которые могут представлять конкретное производственное оборудование (задвигка, датчик температуры, насос и т. д.), узел сбора данных (PLC-контроллер, интеллектуальный датчик и др.), участок производства (цех, производственная линия, производственный участок и т. д.). Пользователи могут сконфигурировать целые уровни предприятия, связать их с алармами и системой безопасности, элемент за элементом выстроить объектно-ориентированную модель производства и полностью перейти к терминологии бизнес-логики.

Разработка проекта ведется в единой интегрированной среде разработки (ИСП). При наличии определенных прав доступа внесение изменений в проект можно выполнять с любого узла системы, на котором установлена ИСП. Кроме того, несколько инженеров могут одновременно работать над проектом. Любой управляющий узел сети может быть продублирован на другой, специально предназначенный для этого ПК, или два управляющих узла могут дублировать друг друга.

С помощью платформы IAS можно создавать как локальные одномашинные системы, так и огромные распределенные системы с сотнями узлов сети.

Политика безопасности IAS обеспечивает контроль доступа к данным на самом низком уровне детализации. Политика безопасности базируется на группах и ролях, может интегрироваться с безопасностью Microsoft Windows.

Параметры доступа прописываются в шаблонах вплоть до уровня сбора данных с контроллера.

Изменения могут вноситься в отдельный элемент проекта без необходимости полного останова системы. ИСП предоставляет возможность удаленного внедрения и управления, благодаря чему, работая в больших распределенных сетях, можно удаленно внести изменение в любой узел системы с любого рабочего места.

Для хранения данных IAS использует реляционную базу данных реального времени Industrial SQL Server (в настоящее время переименован в Wonderware Historian). Настройки исторических функций теперь определяются в каждом шаблоне и являются неотъемлемой частью объекта. На основании этих данных IAS самостоятельно конфигурирует сервер истории.

Основные преимущества приведены ниже:

- Интеграция всех рабочих данных независимо от типа их источника;

- Гибкость, позволяющая менять любой компонент системы, чтобы отвечать новым потребностям или воспользоваться новыми возможностями;
- Расширенные возможности по наращиванию ресурсов от 250 до 1 млн. точек ввода-вывода независимо от географического местоположения;
- Простота разработки: развитая поддержка стандартизации и управления изменениями позволяют повысить качество создаваемых приложений и производительность труда разработчиков, а также значительно сократить временные и финансовые затраты на разработку и сопровождение;
- Эксплуатационная гибкость: новый подход к представлению информации обеспечивает эффективный визуальный контроль наиболее важных ситуаций. Это позволяет предотвращать отклонения параметров от нормальных величин и сокращать продолжительность нарушений работы и простоев, при этом уделяя больше внимания вопросам повышения производительности, безопасности и снижения эксплуатационных расходов;
- Контроль производительности в режиме реального времени: представление данных о производительности с помощью графических средств реального времени дает более содержательную контекстную информацию и позволяет лучше использовать текущие возможности повышения рентабельности, безопасности, качества и эффективности;
- Ретроспективный анализ: повышенная масштабируемость и расширенные возможности хранения и администрирования сигналов тревог и событий позволяют эффективнее выявлять скрытые тенденции и инциденты, грозящие дорогостоящими нарушениями работы в будущем. Более высокие гибкость и масштабируемость также позволяют экономично адаптироваться к требованиям конкретных производств [20].

7.2. Интеграция Archestra и Intouch

При разработке тренажера применялась интеграция ИСР ArchestrA и InTouch. Основными преимуществами такого подхода являются:

1. Возможность использовать редактор символов ArchestrA для создания символов ArchestrA, которые применяются в программе WindowMaker интерфейса InTouch.
2. Возможность использовать символы ArchestrA, созданные с использованием редактора символов ArchestrA в системе ИСП в приложении InTouch, управляемом через ИСП.
3. Возможность непосредственного присоединения данных к объектам ArchestrA Galaxy.
4. Использование ИСП для запуска программы WindowMaker [21].

Система ArchestrA управляет приложениями InTouch с использованием конкретного типа объекта ArchestrA, называемого объектом InTouchViewApp (дословно: приложение обзора InTouch). Шаблон InTouchViewApp даёт ссылку на одно конкретное приложение InTouch, управляемое через ИСП. Интеграция ИСП ArchestrA и InTouch представлена на рисунке 10.

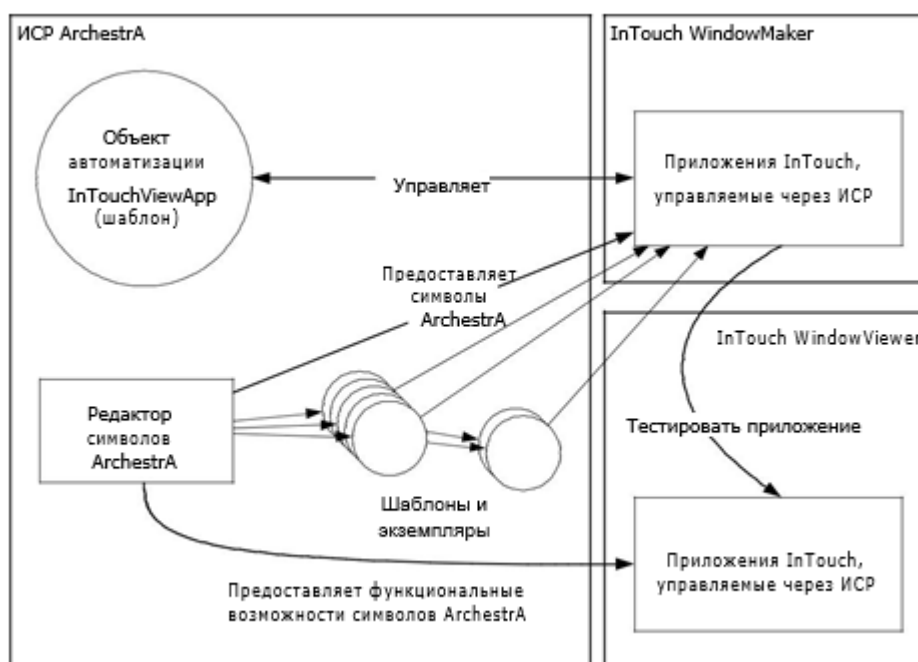


Рисунок 10 – интеграция ArchestrA и InTouch

8 Математическое обеспечение

На основе технологической схемы процесса для выбранных объектов моделирования были выделены алгоритмы технологических защит, блокировок, контроля и автоматического управления, которые должны быть реализованы в программном обеспечении среднего уровня АСУ ТП (ПО ПЛК), представленные в п.п. 8.1 – 8.3. Алгоритм выполняется циклически. Все алгоритмические модули выполняются один раз за цикл. Блок-схемы алгоритмов приведены в Приложении Б.

Приведенные алгоритмические модули в качестве входной и выходной информации могут использовать данные следующих типов:

Таблица 4 – Типы данных

Размер	Тип	Описание
1 бит	BOOL	Логическая переменная, принимающая значения 0 или 1
8 битов	BYTE	Последовательность из 8 битов
16 битов	WORD	Последовательность из 16 битов
16 битов	INT	Целое число из диапазона от -32 768 до 32 767
32 бита	DWORD	Последовательность из 32 битов
24 бита	REAL	Вещественное число

Аварийные сообщения сопровождаются звуковой сигнализацией в операторной. Команда на включение акустического элемента формируется непосредственно при возникновении аварийной ситуации и снимается при квитировании. Эта процедура считается стандартной для всех аварийных сообщений и в алгоритме не описывается.

8.1. Сепараторы типа НГСВ 02-ТФС-1-1,2

Таблица 5 – Алгоритмы управления сепараторами

Параметры контроля и защиты	Тэг	Условие	Действия технологического оборудования и сигнализация при срабатывании защит
Загазованность на площадке сепараторов	101_102_QRSA_007 101_102_QRSA_008 101_102_QRSA_009 101_102_QRSA_010 101_102_QRSA_011 101_102_QRSA_012	≥ 20 % НКПР	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Включение световой сигнализации: – 101_102_XL_002
		≥ 50 % НКПР	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Включение световой и звуковой сигнализации: – 101_102_HA_002
Температура в сепараторе	101_102_TIRA_003 101_102_TIRA_004	≤ -7 °С	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Уровень в сепараторе	101_102_LSA_001 101_102_LSA_002	≥ 3000 мм	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
	101_102_LIRSA_005 101_102_LIRSA_008	≥ 3000 мм	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Заккрытие арматуры 02-ZV-001, 02-ZV-002: – 101_02_ZV_001_CL; – 101_52_ZV_001_CL
	101_102_LIRCA_006 101_102_LIRCA_009	≤ 1100 мм ≥ 2000 мм	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		≤ 800 мм ≥ 2200 мм	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		1550 мм *	Регулирование клапанами 02-LCV-006, 02-LCV-009: – 101_02_LCV_006_AO; – 101_02_LCV_009_AO
Уровень раздела фаз в сепараторе	101_102_LIRCA_007 101_102_LIRCA_010	≤ 600 мм ≥ 2000 мм	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		≤ 450 мм ≥ 2200 мм	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		1300 мм *	Регулирование клапанами 02-LCV-007, 02-LCV-010: – 101_02_LCV_007_AO; – 101_02_LCV_010_AO
Давление в сепараторе	101_102_PIRA_021 101_102_PIRA_022	$\leq 0,65$ МПа $\geq 1,0$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		$\leq 0,6$ МПа $\geq 1,6$ МПа	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера

8.2. Теплообменники 02-ТО-1-1,2,3

Таблица 6 – Алгоритмы управления теплообменниками

Параметры контроля и защиты	Тэг	Условие	Действия технологического оборудования и сигнализация при срабатывании защит
Загазованность на площадке сепараторов	101_102_QRSA_004 101_102_QRSA_005 101_102_QRSA_006	$\geq 20\%$ НКПР	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Включение световой сигнализации: – 101_102_XL_002
		$\geq 50\%$ НКПР	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Включение световой и звуковой сигнализации: – 101_102_HA_002
Температура на входе в теплообменник	101_102_TIRA_007 101_102_TIRA_011 101_102_TIRA_015	$\leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\geq 55\text{ }^{\circ}\text{C}$	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
	101_102_TIRA_009 101_102_TIRA_013 101_102_TIRA_017	$\leq -7\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Температура на выходе из теплообменника	101_102_TIRA_008 101_102_TIRA_012 101_102_TIRA_016	$\leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
	101_102_TIRA_010 101_102_TIRA_014 101_102_TIRA_018	$\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Температура в коллекторе	101_102_TIRCA_019	$\leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		$\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		$15\text{ }^{\circ}\text{C}^*$	Регулирование клапаном 102-TCV-019: – 101_102_TCV_019_AO
Давление на входе в теплообменник	101_102_PIRA_007 101_102_PIRA_011 101_102_PIRA_015	$\leq 0,83$ МПа $\geq 1,0$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
	101_102_PIRA_009 101_102_PIRA_013 101_102_PIRA_017	$\leq 0,74$ МПа $\geq 1,54$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Давление на выходе из теплообменника	101_102_PIRA_008 101_102_PIRA_012 101_102_PIRA_016	$\leq 0,81$ МПа $\geq 1,0$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
	101_102_PIRA_010 101_102_PIRA_014 101_102_PIRA_018	$\leq 0,64$ МПа $\geq 1,54$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера

8.3. Печи нагрева нефти 02-П-1-1,2,3, 02-П-2-1

Таблица 7 – Алгоритмы управления печами

Параметры контроля и защиты	Тэг	Условие	Действия технологического оборудования и сигнализация при срабатывании защит
Загазованность на площадке печей	101_103_QRSA_001 101_103_QRSA_002 101_103_QRSA_003 101_103_QRSA_004 101_103_QRSA_005 101_103_QRSA_006 101_103_QRSA_007	$\geq 20\%$ НКПР	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Включение световой сигнализации: – 101_103_XL_001
	101_103_QRSA_008 101_103_QRSA_009 101_103_QRSA_010 101_103_QRSA_011 101_103_QRSA_012	$\geq 50\%$ НКПР	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Включение световой и звуковой сигнализации: – 101_103_HA_001
Давление в трубопроводе топливного газа	101_103_PIRA_007 101_103_PIRA_008 101_103_PIRA_009 101_103_PIRA_012	$\geq 0,6$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Давление в трубопроводе входа нефти в печь	101_103_PIRA_001 101_103_PIRA_002 101_103_PIRA_003*	$\leq 0,48$ МПа $\geq 1,0$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Давление в трубопроводе выхода нефти из печи	101_103_PIRA_004 101_103_PIRA_005 101_103_PIRA_006 101_103_PIRA_011	$\geq 1,0$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Давление перед смесителем	101_103_PIRA_015 101_103_PIRA_017 101_103_PIRA_019 101_103_PIRA_027 101_103_PIRA_029	$\geq 0,03$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Давление после смесителя	101_103_PIRA_016 101_103_PIRA_018 101_103_PIRA_020 101_103_PIRA_028 101_103_PIRA_030	$\geq 0,03$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Перепад давления на смесителе (разность давления перед и после смесителя)	101_103_PIRA_015 101_103_PIRA_016 101_103_PIRA_017 101_103_PIRA_018 101_103_PIRA_019 101_103_PIRA_020 101_103_PIRA_027 101_103_PIRA_028 101_103_PIRA_029 101_103_PIRA_030	$\geq 0,02$ МПа	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера

Параметры контроля и защиты	Тэг	Условие	Действия технологического оборудования и сигнализация при срабатывании защит
Давление до змеевика	101_103_PIRA_021 101_103_PIRA_023 101_103_PIRA_025 101_103_PIRA_031	$\geq 0,15$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Давление после змеевика	101_103_PIRA_022 101_103_PIRA_024 101_103_PIRA_026 101_103_PIRA_032	$\geq 0,15$ МПа	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Перепад давления на змеевике (разность давления до и после змеевика)	101_103_PIRSA_021 101_103_PIRSA_022 101_103_PIRSA_022 101_103_PIRSA_024 101_103_PIRSA_025 101_103_PIRSA_026 101_103_PIRSA_031 101_103_PIRSA_032	$\geq 0,1$ МПа	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера Открытие арматуры 02-ZV-005, -008(010), -012, , 02-XV-029, -030, -034, -035, -039, -040: – 101_02_ZV_005_CL; – 101_02_ZV_008_CL (101_02_ZV_010_CL); – 101_02_ZV_012_CL; – 101_02_XV_029_CL; – 101_02_XV_030_CL; – 101_02_XV_034_CL; – 101_02_XV_035_CL; – 101_02_XV_039_CL; – 101_02_XV_040_CL Закрытие арматуры 02-ZV-006, -007(009), -011, , 02-XV-026...028, -031...033, -036...038, -074, -076: – 101_02_ZV_006_CL; – 101_02_ZV_007_CL; – 101_02_ZV_009_CL; – 101_02_ZV_011_CL; – 101_02_XV_026_CL; – 101_02_XV_027_CL; – 101_02_XV_028_CL; – 101_02_XV_031_CL; – 101_02_XV_032_CL; – 101_02_XV_033_CL; – 101_02_XV_036_CL; – 101_02_XV_037_CL; – 101_02_XV_038_CL; – 101_02_XV_074_CL; – 101_02_XV_076_CL
Давление в трубопроводе нефти	101_103_PIRA_013	$\leq 0,35$ МПа $\geq 1,6$ МПа	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Температура в трубопроводе входа нефти в печь	101_103_TIRA_001 101_103_TIRA_002 101_103_TIRA_003	≥ 15	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
	101_103_TIRA_001 101_103_TIRA_002 101_103_TIRA_003	≥ 50 °C	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
Температура в трубопроводе выхода нефти из печи	101_103_TIRCA_004 101_103_TIRCA_005 101_103_TIRCA_006 *	≤ 25 °C ≥ 45 °C	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		30 °C ***	Управление клапанами ГРПШ: – 101_103_KI_701_AO; – 101_103_KI_702_AO; – 101_103_KI_703_AO;

Параметры контроля и защиты	Тэг	Условие	Действия технологического оборудования и сигнализация при срабатывании защит
Расход нефтяной эмульсии на трубопроводе входа нефтяной эмульсии в печь	101_103_FIRCA_004 101_103_FIRCA_005 101_103_FIRCA_006	$\leq 236,5$ м ³ /ч	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		$\geq 354,84$ м ³ /ч	Аварийная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера
		295,67 м ³ /ч	Регулирование клапаном 103-FCV-001: – 101_103_FCV_001_AO
Расход пресной воды на трубопроводе входа пресной воды в смеситель	101_103_FIRC_007 101_103_FIRC_009	$<15,75$ м ³ /ч	Предупредительная дистанционная сигнализация на АРМ диспетчера

Дополнительно предусмотреть следующие автоматические блокировки и управляющие воздействия:

– при пожаре на площадке печей:

1) автоматическое закрытие арматуры:

а) 02-ZV-006, -007(009), -011;

б) на входе нефти в печи 02-XV-026, -031, -036, -068, -076;

в) на выходе нефти из печи 02-XV-027, -032, -037, -069, -074;

г) на трубопроводе подачи топливного газа 02-XV-028, -033, -038, -070;

2) автоматическое открытие арматуры:

а) 02-ZV-005, -008(010), -012;

б) на линиях дренажа продуктового змеевика 02-XV-029, -034, -039, -071;

в) на линиях подачи азота в змеевик печей 02-XV-030, -035, -040, -072.

9 Разработка информационной модели

Система АСУ ТП ЦПС строится по трехуровневому иерархическому принципу:

К нулевому уровню относятся:

- местные показывающие приборы;
- первичные средства измерения и датчики технологических параметров;
- исполнительные механизмы;

Первый уровень проектируемой системы АСУ ТП объекта представлен распределённой системой управления (PCY).

ПЛК обеспечивают сбор информации, поступающей с датчиков технологических параметров и формирование команд управления на исполнительные механизмы.

Второй уровень системы АСУ ТП представлен автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора ЦПС. АРМ выполняют функции предоставления оператору необходимой информации и приёма от него команд управления автоматизируемыми объектами.

АРМ оператора предоставляет персонализированный доступ к данным по любым функциональным задачам как в мнемографическом представлении (мнемосхемы, тренды, гистограммы и пр.), так и в табличном виде (сводки, рапорты, отчёты и т.д.).

9.1. Средний уровень

Управление технологическим процессом основан на концепциях компаундов и блоков. Блок представляет собой набор алгоритмов, который выполняет определенную задачу управления внутри структуры компаунда. Компаунд – это логическая совокупность блоков, которые выполняют стратегию управления. На рисунке 11 показана взаимосвязь между компаундами и блоками.

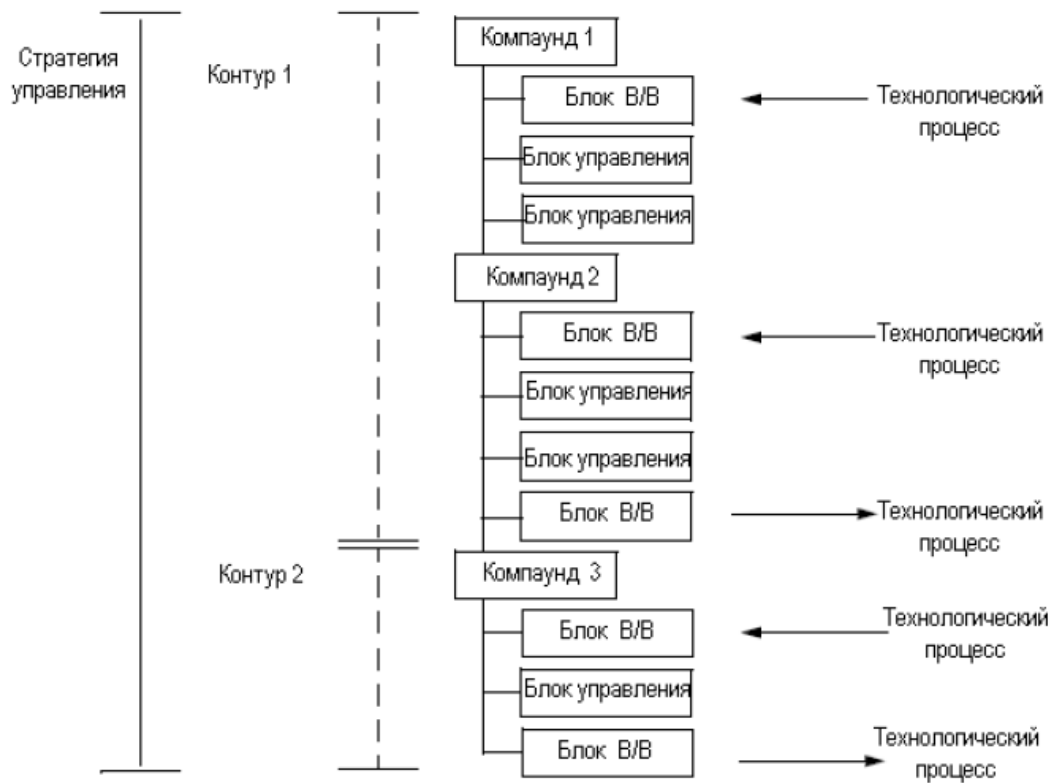


Рисунок 11 – Стратегия управления

Компаунд обеспечивает базу для интеграции:

- непрерывного управления, такого как управление давлением, температурой, уровнем и расходом, или управление клапаном или электродвигателем, включая блокировку устройств;
- последовательного управления, такого как фаза смешивания в реакторе периодического действия.

Внутри такой структуры, любой блок в любом компаунде может быть соединен с любым другим блоком в любом другом компаунде в этой системе. Каждый компаунд может содержать один или несколько контуров управления, или индивидуальные блоки управления для еще одного контура управления.

Свойства компаунда:

- Компаунд – совокупность блоков
- Имя компаунда состоит из 12 символов верхнего регистра, должно быть уникально в системе
- Один компаунд принадлежит только одному процессору

– Если компаунд включается/выключается, тогда все его блоки включаются/выключаются

Свойства блока:

- Блок – элементарная единица логики базы данных контроллера
 - В библиотеке I/A Series существует более 100 типов блоков
 - Блок имеет входные и выходные параметры
 - Тип блока определяет алгоритм обработки входных параметров
 - Имя блока состоит из 12 символов, оно должно быть уникально в компаунде
- Входной параметр блока можно соединить с параметрами любого блока в системе [22].

9.1.1. Используемые блоки

В приложении В представлены разработанные стратегии управления для выбранных объектов автоматизации.

Далее приведен перечень блоков и параметров, используемых при разработке стратегий управления тренажера.

Блок аналогового ввода (AIN) принимает входной сигнал от одной точки (объекта управления), который может быть аналоговым, частотно-импульсным или от интеллектуального типа полевого устройства, или от другого блока, и преобразует его в подходящую форму для применения в стратегии управления.

После выполнения проверки на достоверность, блок AIN преобразует необработанные данные канала в число с плавающей запятой в физических единицах измерений, в соответствии со сконфигурированным индексом преобразования сигнала (SCI), верхним и нижним значениями шкалы диапазона физических единиц измерений и любым указанным преобразованием единиц измерений или опцией фильтрации. Данный выходной сигнал представляет собой параметр Point (PNT) в стратегии управления. Последовательность обработки сигнала: преобразование по

индексу SCI или кусочно-линейная аппроксимация сигнала, масштабирование в физических единицах, ограничение и фильтрация [22].

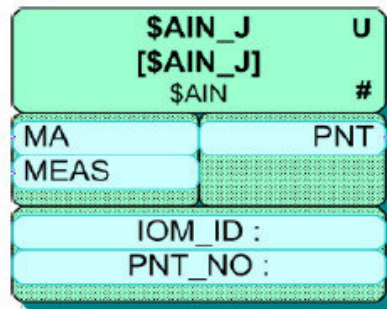


Таблица 8 – Параметры блока AIN

Имя	Описание	Тип
MA (вход)	Ручной/автоматический режим	логический
MEAS (вход)	Факультативный вход	действительный
HAL	Верхняя предупредительная граница	действительный
LAL	Нижняя предупредительная граница	действительный
HHALIM	Верхняя аварийная граница	действительный
LLALIM	Нижняя аварийная граница	действительный
PNT (выход)	Выход точки	действительный

Блок аналогового вывода (AOUT) обеспечивает возможность вывода одного аналогового значения, направленного в любой модуль FBM или модуль FBC, способный управлять аналоговыми выходными сигналами, для применения в стратегии управления системы. Данный блок поддерживает автоматический и ручной режимы работы, преобразование (нормирование) сигнала, смещение диапазона и балансировку выходного сигнала.

На блок AOUT подается входной сигнал из параметра MEAS (Измерительный сигнал). Данный входной сигнал факультативно масштабируется и смещается с помощью параметров MSCALE (Масштабный коэффициент) и BIAS (Коэффициент смещения шкалы).

Затем масштабированный и смещенный сигнал модифицируется путем добавления терма сброса балансировки выходного сигнала, который инициализируется при переходе из состояния сохранения последнего достоверного значения параметра MEAS или BIAS или при замыкании

каскада. После инициализации данный терм балансировки передается в каждый последующий цикл обработки блока, так что он затухает с откликом, характеризуемым задержкой первого порядка.

После того как результирующий сигнал будет ограничен рабочими пределами параметров HOLIM (Верхний предел выходного сигнала) и LOLIM (Нижний предел выходного сигнала), он становится доступным для применения в стратегии управления в виде параметра OUT (Выходной сигнал).

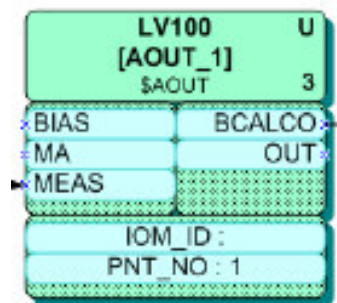


Таблица 9 – Параметры блока AOUT

Имя	Описание	Тип
BIAS	Смещение	Действительный
MA (вход)	Ручной/автоматический режим	логический
MEAS (вход)	Факультативный вход	действительный
BCALCO	Обратно вычисленный выход	действительный
OUT	Выход	действительный

Блок дискретного ввода (BIN) является блоком интерфейса распределенного управления (DCI). Блок BIN обеспечивает стратегию управления с возможностью считывания одного двоичного значения, имеющего два состояния: ON (ВКЛ) и OFF (ВЫКЛ) или START (ПУСК) и STOP (ОСТАНОВ), из адреса в соответствующем модуле (FBM). Блок BIN не обладает возможностями обнаружения или протоколирования аварийных сигналов.

Блок дискретного вывода (BOUT) является блоком интерфейса распределенного управления (DCI). Блоки DCI поддерживают возможность осуществления связи станций управления системы I/A Series с различными

устройствами, расположенными на шине, через интерфейс общего назначения). Блок VOUT передает одно двоичное значение в адрес внешнего устройства. Он также непрерывно сообщает системе I/A Series о любых изменениях, внесенных данным устройством в значение этого адреса.

Контроллер PIDA выполняет функции контроллера ПИД-регулирования, а также дополнительные функции. Контроллер PIDA может быть сконфигурирован с помощью следующих значений параметра режимов управления, чтобы выполнять различные алгоритмы регулирования:

- P (пропорциональное регулирование);
- I (интегральное регулирование);
- PI (пропорционально-интегральное регулирование);
- PD (пропорционально-дифференциальное регулирование);
- PID (ПИД-регулирование);
- NIPID (независимое ПИД-регулирование);
- PITAУ (пропорциональное, интегральное регулирование с запаздыванием);
- PIDTAУ (автономное ПИД-регулирование с запаздыванием).

Следующие параметры контроллера устанавливаются вручную в настройках блока или адаптивно настраиваются блоком FBTUNE.



В ручном режиме ($MA = 0$), контроллер не выполняет ПИД-регулирование, и выход контроллера является устанавливаемым параметром. В ручном режиме контроллер не настраивает OUT2, обратно вычисленной

индикации внутреннего выходного сигнала контроллера, выраженного в процентах.

В режиме Auto ($MA = 1$), контроллер выполняет соответствующий режим регулирования. В данном состоянии контроллер вычисляет сигнал выходной команды в ответ на уставку (r) и измерение (c_f), в соответствии со сконфигурированным режимом контроллера. Контроллер генерирует интегральное регулирующее действие, используя интегральный сигнал обратной связи (f_b), который обратно вычисляется (f_{br}) и передается через запаздывание первого порядка в схеме с положительной обратной связью. Соединение обратной связи (ФВК) позволяет избежать интегрального срыва регулирования и позволяет выполнять регулирование, устойчивое к динамическим изменениям процесса. Интегральная уставка (INT) определяет постоянную времени запаздывания, если параметры ФВК и BCALCI не связаны.

Параметр Back Calculation (Обратное вычисление) – это действительный входной параметр, обеспечивающий начальное значение выхода, перед тем как блок перейдет в состояние автоматического регулирования, так что возврат в режим регулирования происходит плавно. Источником данного входа является выход обратного вычисления (BCALCO) блока, расположенного вниз по потоку.

Параметр Back Calculation Output (выход обратного вычисления) – это действительный выходной параметр, который обычно равен входному измерительному сигналу (Measurement). Параметр BCALCO – это значение, которое, если связано с параметром BCALCI расположенного вверх по потоку блока, обеспечивает начальное значение выхода блока, расположенного вверх по потоку, необходимое для плавной инициализации.

Таблица 10 – Параметры блока PIDA

Имя	Описание	Тип
BCALCI	Обратно вычисленный вход	действительный
MA (вход)	Ручной/автоматический режим	логический

MEAS (вход)	Факультативный вход	действительный
RSP	Дистанционная уставка	действительный
BCALCO	Обратно вычисленный выход	действительный
OUT	Выход	действительный

Блок General Device (GDEV) обеспечивает двухпозиционное управление (Открыть/Заккрыть) электрическими и пневматическими клапанами, а также двухпозиционное управление (Пуск/ Останов) электродвигателями.

Блок поддерживает двухпроводную конфигурацию, используя один постоянный (sustained) выход.

В качестве контроллера открытия/закрытия клапана, блок поддерживает двухпозиционное управление (Открыть/Заккрыть) в ручном или автоматическом режимах в зависимости от состояния параметра МА. В ручном режиме принимаются запросы оператора на открытие/закрытие клапана. В автоматическом режиме принимаются запросы на открытие/закрытие клапана от другого блока или задачи.

Положение клапана контролируется концевыми выключателями в полностью открытом и полностью закрытом положениях.

Состояние электродвигателя контролируется концевыми выключателями в полностью работающем и полностью остановленном состояниях [22].

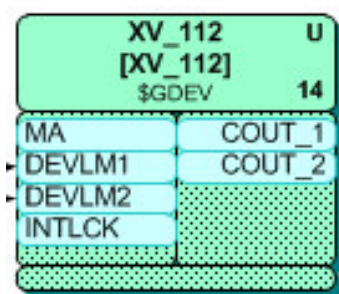


Таблица 11 – Параметры блока GDEV

Имя	Описание	Тип
МА (вход)	Ручной/автоматический режим	логический
DEVLM1 (вход)	Концевой выключатель 1	логический
DEVLM2 (вход)	Концевой выключатель 2	логический

INTLCK (вход)	Переход в режим блокировки	логический
COU1	Дискретный контактный выход 1	логический
COU2	Дискретный контактный выход 2	логический

Для разработки скриптов используются специализированные блоки IND. Блок Independent Sequence (IND) обеспечивает последовательный контроль над приложениями с обратной связью на уровне управления оборудованием. Блок IND может использоваться для выполнения ряда запрограммированных действий. Также этот блок интегрируется в стратегию управления и позволяет имитировать сигналы от датчиков. При помощи скриптов имитационные сигналы меняются в диапазоне значений, определенных технологическими решениями.

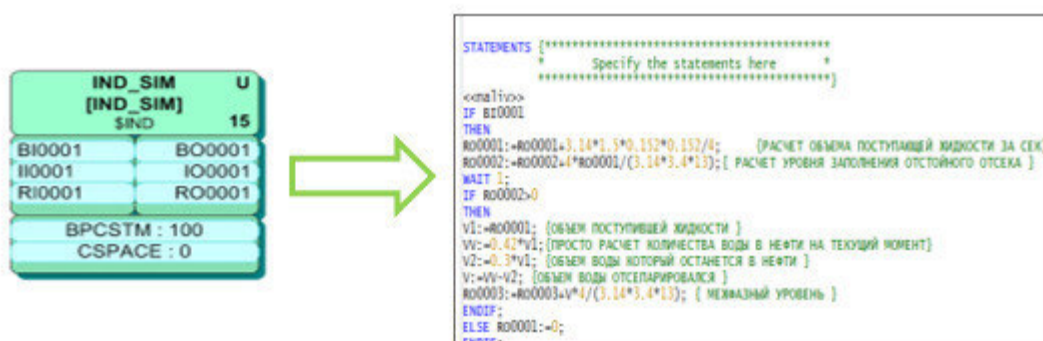


Рисунок 12 – Блок IND

9.1.2. Контуры управления клапанами

Для клапанов в стратегии управления предусмотрены контура с применением ПИД-регулирования. Выделены следующие контура:

- Регулирование уровня в нефтесборных отсеках сепараторов;
- Регулирование межфазного уровня «нефть-вода» в отстойных отсеках сепараторов;
- Регулирование температуры прямого потока товарной нефти на площадке теплообменников;
- Регулирование температуры нефти на выходе их печи.

Пример схемы регулирования клапаном на газопроводе печи представлен на рисунке 13.

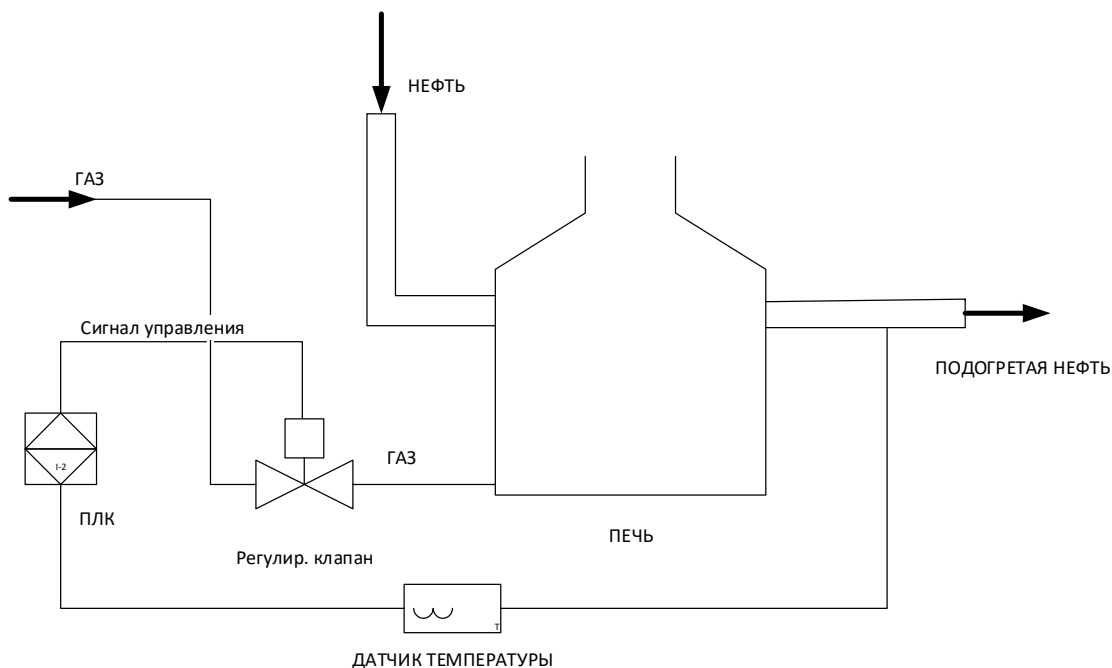


Рисунок 13 – Структурная схема регулирования температуры нефти на выходе из печи

Датчик измеряет текущее значение температуры нефти на выходе печи. Измеренное значение поступает на блок ПИД-регулирования, где вычисляется сигнал рассогласования (ошибки) заданного значения температуры и измеренного. Далее формируется сигнал управления, который поступает на двигатель клапана. Степень открытия клапана увеличивает или уменьшает объем сжигаемого газа, за счет которого нагревается нефть. Тем самым контролируется температура нефти на выходе.

9.2. Верхний уровень

9.2.1. Интерфейс с использованием ситуационного восприятия

Видеокадры разработанных мнемосхем с традиционным интерфейсом и с учетом принципов ситуационного восприятия приведены в приложении Г

Основные принципы, используемые при разработке современной ЧМИ:

- Рациональное использование цветов
- Представление Информации посредством размещения данных в контексте
- Использование визуализации для снижения мозговой загрузки
- Стандартизация

- Интеграция с системой аварийных сообщений
- Увеличение интенсивности информации
- Представление Обзорных экранов в дизайне, ориентированном на пользователя (процесс)

Ограниченное использование цвета позволяет привлекать внимание оператора именно к тем точкам, где наблюдается отклонение процесса от нормального или ожидаемого состояния.

Когда состояние системы полностью соответствует норме, графика процесса не должна это подчеркивать и привлекать внимание оператора, так как это лишь перегружало бы его зрительное восприятие. Анимация также должна применяться только в той мере, в какой это необходимо для привлечения внимания оператора, а не просто для эффектной визуализации. При этом цвет никогда не должен служить единственным способом индикации значения или состояния, он должен использоваться именно для привлечения внимания. Кроме того, для создания оптимального дизайна НМІ очень важно установить стандарты применения цвета и строго следовать им.

При разработке стандартов цвета для приложения НМІ очень важно исключить его неоднозначное использование. Если один цвет будет иметь несколько значений, то оператор не сможет однозначно воспринять и оценить информацию. Одним из вариантов является использование исключительно серого цвета для отображения процесса в нормальном состоянии и использование других цветов только для индикации отклонений [9].

9.2.2. Организация иерархии экранов

Наилучшим вариантом является представление системы в виде 4-уровневой иерархической модели, как показано на рисунке. Окна в этой структуре позволят эффективно ориентировать оператора в оценке состояния процесса, выполнении действий или получении детальной информации – в зависимости от уровня наблюдаемого окна.

Окна уровня 1 не воспроизводят структуру реального процесса, а напоминают, скорее, информационные панели. Основной их задачей является привлечение внимания оператора и обеспечение принятия им решений о необходимости каких-либо действий или дальнейшего определения ситуации, а также предоставление доступа к окнам уровня 2.

Окна уровня 2 являются основными рабочими окнами. При их создании следует основное внимание уделять предполагаемым действиям оператора. Окна уровня 2 могут содержать элементы процесса, но при этом могут не отражать все подробности. Например, если оператор выполняет процедуру запуска, то необходимо создать специальное окно уровня 2, в котором были бы объединены все необходимые элементы управления и параметры, необходимые для такого запуска. Для каждого окна уровня 1 может существовать несколько экранов уровня 2.

Окна уровня 3 напоминают интерфейсы большинства существующих систем. Окна этого уровня обеспечивают доступ к информации о статусе всего оборудования, охватываемого соответствующим экраном уровня 2. Для каждого экрана уровня 2 может существовать несколько экранов уровня 3.

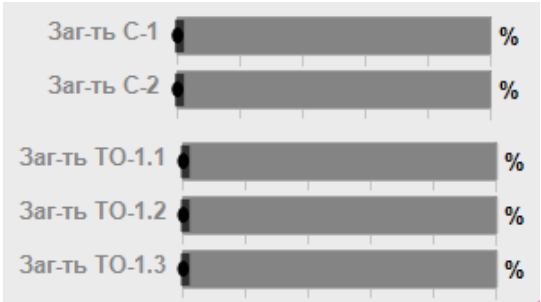
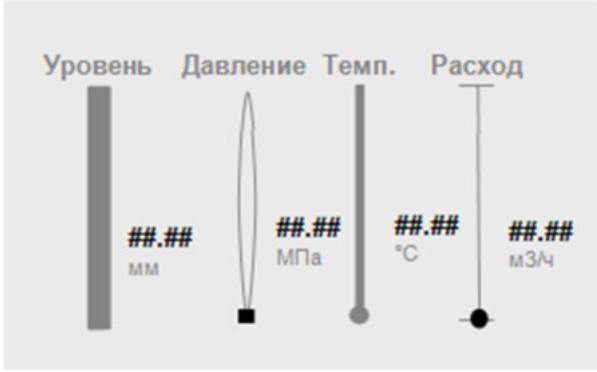
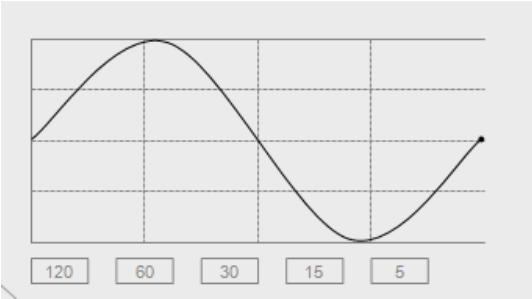
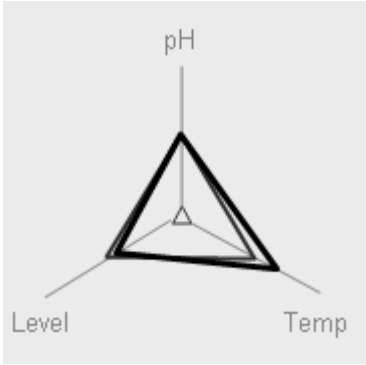
Окна, содержащие вспомогательную информацию, располагаются на уровне 4. Эти окна отображают тренды, события, аварийные сообщения, справочную/процедурную информацию и прочее.

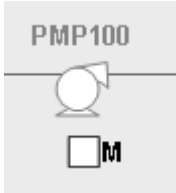
Такая организация структуры экранов направлена на упрощение решения задач операторами и на уменьшение количества переходов между экранами [10].

9.2.3. Элементы ситуационного восприятия

Основные компоненты мнемосхем с ситуационным восприятием, которые использовались при разработке, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Основные элементы мнемосхем в концепции ситуационного восприятия

Элемент экранной формы	Описание
	<p>Шкалы. Такое представление информации (значение параметра в контексте уставки, аварийных пределов и рабочего диапазона) является намного более наглядным.</p>
	<p>Аналоговый параметр. Уникальное представление формы шкалы для каждого из основных параметров позволяет с первого взгляда идентифицировать физику сигнала. Наглядность текущего значения параметра обеспечивается заполнением шкалы.</p>
	<p>Тренды. В комбинации с элементом «тренд» оператору можно сообщить не только текущее значение, но и тенденцию и скорость его изменения, что позволит оператору спрогнозировать будущее значение параметра.</p>
	<p>Отклонение от заданного значения. Позволяет визуально определить состояние параметров интегральных характеристик процесса (например, потребление энергии).</p>

	Примитивы для отображения технологического оборудования и объектов автоматизации.
---	---

9.2.4. Отображение аварийных ситуаций

Алармы уведомляют оператора процесса о состояниях процесса, которые потенциально могут привести к проблемам. Как правило, алармы настраиваются на срабатывание в случае, если некоторая характеристика процесса выйдет за заданный предел. Обычно от оператора требуется подтверждение аларма. Основные состояния алармов представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Состояния алармов

Состояние	Описание
АСК	Аларм подтвержден
ALM	Аларм возник
RTN	Тег вернулся из состояния аларма в нормальное состояние

События представляют собой сообщения о нормальных состояниях системы. Типичный пример события - наступление некоторого состояния системы, например, подключение оператора к приложению InTouch. Подтверждение событий оператором не требуется.

Приоритеты алармов и их цветовое кодирование, а также требуемое время квитирования представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Приоритеты алармов

Традиционный интерфейс	Ситуационное восприятие	Приоритет	Время квитирования
356.72		1 - Критичный	<5 мин
454.09		2 - Высокий	<30 мин
-		3 - Средний	<60 мин
-		4 - Низкий	<120 мин

В таблице 15 представлены примеры отображения технологической сигнализации для ЧМИ с традиционным интерфейсом и ЧМИ с ситуационным восприятием.

Таблица 15 – Отображение алармов

	Традиционный интерфейс	Интерфейс с ситуационным восприятием
<p>Аварийная сигнализация</p>		
<p>Предупредительная сигнализация</p>		

9.2.5. Квитирование алармов

Подтверждения технологической сигнализации реализуется кнопкой «квитирование» (АСК). После подтверждения технологической сигнализации кнопкой «квитирование» мигающий световой сигнал загорается ровным светом с сохранением соответствующего цвета. Окончательный световой сигнал должен сниматься автоматически только после устранения неисправности (аварии).

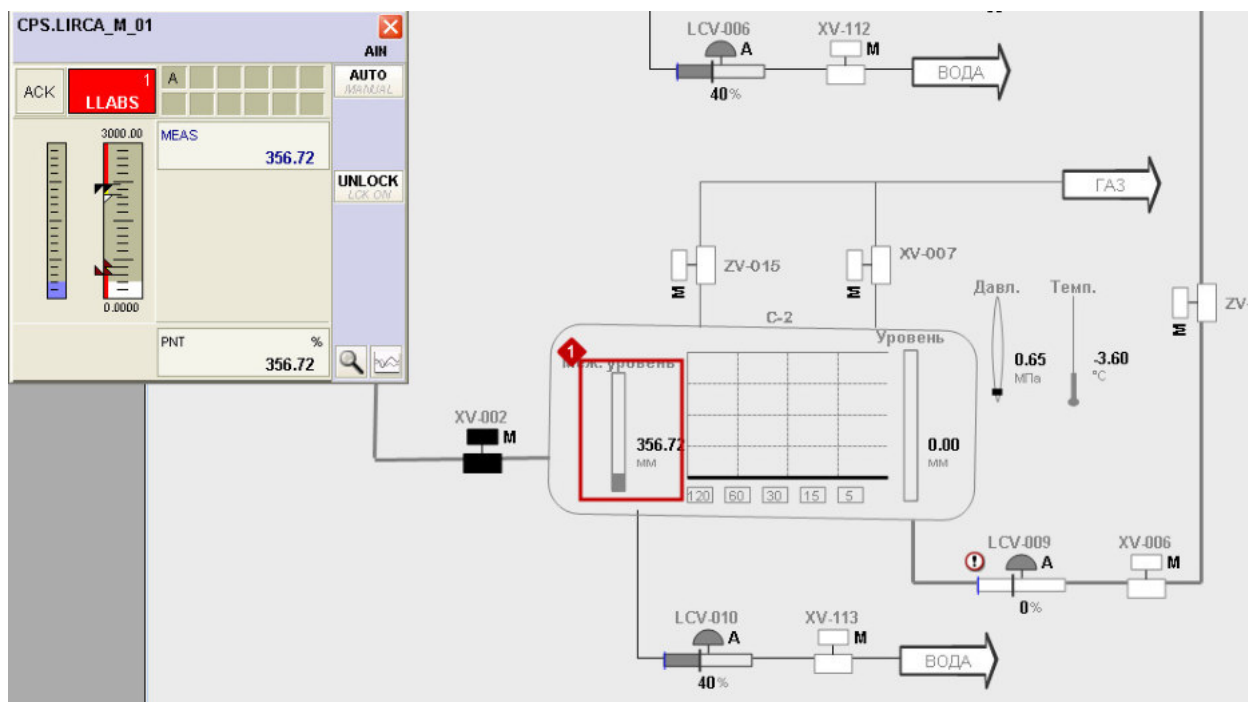


Рисунок 14 – Квитирование аларма

Все данные о событиях и алармах заносятся в специализированную базу данных AlarmHistorian

10 Методика проведения исследования

Для проведения исследования эффективности представления информации ЧМИ применяется методика, базирующаяся на анализе реакции операторов на аварийные и предаварийные ситуации процесса управления.

Исследование строится на измерении времени реакции оператора на аварийные и предупредительные сообщения системы. Время рассчитывается как разница между временем появления аларма и временем его квитирования оператором (время длительности аларма).

Данные заносятся в специализированную базу хранения алармов и событий системы. Максимальный период просмотра базы данных составляет 90 дней.

10.1. Описание методики

Деятельность оператора по управлению ТП представляет собой многостадийный процесс, включающий в себя:

- обнаружение отклонений от нормального режима;
- диагностирование причин этих отклонений;
- планирование и реализацию компенсирующих действий.

Работа оператора характеризуется также разнообразием задействованных психических механизмов – от восприятия, внимания и памяти до когнитивных (мыслительных) процессов принятия решений.

Таким образом, основные факторы, которые могут влиять на достоверность данных исследования, в тренажерных экспериментах таковы:

- факторы выборки (неэквивалентность групп, экспериментальный отсев);
- побочные переменные (инструментальная погрешность фиксации действий оператора, эффект истории, взаимодействие факторов).

Так как исследование строится на измерении времени реакции оператора на аварийные и предупредительные сообщения системы необходима точная фиксация времени длительности аларма, до того, как он был квитирован оператором. Избавление от погрешности измерений времени и сохранность

данных обеспечивается записью данных в специализированную базу, содержащую алармы и события. Максимальный период просмотра базы данных составляет 90 дней. Измерения времени фиксируются с точностью 0,01 сек.

Для проведения исследования были приглашены 4 человека в возрасте от 24 до 25 лет, имеющих техническое образование, но при этом не имеющих опыта работы оператором АСУ ТП.

Перед началом исследования с группой был проведен вводный инструктаж, который объясняет способы взаимодействия оператора с ЧМИ, а также определяет действия, который должен выполнить оператор. Далее группе был предложен тестовый вариант ЧМИ, который не участвует в проведении исследования, однако дает визуальное представление с чем оператор будет взаимодействовать при проведении исследования. Введение тестового ЧМИ перед исследованием позволяет снизить психологическое напряжения человека перед выполнением новой для него задачи.

Зоны ответственности операторов определяются в соответствии с таблицей 16. Такое распределение зон гарантирует отсутствие влияния на результаты исследования фактора научения оператора, так как каждый оператор работает с разными объектами ЧМИ.

Таблица 16 – Распределение зон ответственности между операторами

	Площадка сепараторов		Площадка подогревателей		Обзорная мнемосхеме	
	ЧМИ 1	ЧМИ 2	ЧМИ 1	ЧМИ 2	ЧМИ 1	ЧМИ 2
Оператор 1	X			X		
Оператор 2		X	X			
Оператор 3	X		X		X	
Оператор 4		X		X		X

Валидность исследования, определяющая возможность переноса результатов эксперимента на другое время, место, условия и группы людей, является высокой, если уровень дополнительных переменных в эксперименте соответствует их уровню в реальной деятельности. Указанный перенос возможен, если соблюдаются два условия:

1) собственно эксперимент репрезентативен, т. е. соответствует реальной ситуации;

2) реальная ситуация типична.

Как правило, в тренажере имитируются нештатные и аварийные ситуации, либо имеющие практические прецеденты, либо «придуманные» опытными экспертами, чьи оценки, будучи субъективными, все же отражают технологическую реальность и теоретические представления об устройстве моделируемого объекта [1].

Представительность тренажерного эксперимента обеспечивается достигаемым в современных КТ подобием модели и среды управления реальному ТП. Репрезентативность экспериментальной ситуации ограничивается «фантазией» исследователя, отбирающего для эксперимента те или иные смоделированные события.

Однако, с точки зрения воспроизведения собственно предмета деятельности, эксперимент на тренажере приближается к так называемому эксперименту полного соответствия.

Основные факторы, нарушающие внутреннюю валидность, в тренажерных экспериментах таковы:

- факторы выборки (неэквивалентность групп, экспериментальный отсев);
- побочные переменные (инструментальная погрешность фиксации действий испытуемого, эффект истории, взаимодействие факторов).

Для каждого интерфейса измерялось среднее время диагностики нарушений хода ТП по 20 смоделированным нештатным ситуациям. Проверялась гипотеза снижения среднего времени диагностики при переходе на интерфейс с ситуационным восприятием. Матрицы распределения алармов для исследуемых площадок представлены в приложении Д.

11 Анализ данных

При проведении исследования были получены значения времени, представленные в таблице 17. Данные полученные от операторов, которые работали с одним и тем же вариантом интерфейса объединялись в одну выборку, что позволяет сократить влияние фактора неэквивалентности групп.

При этом подразумеваются следующие обозначения:

НГСВ1 – мнемосхема площадки сепараторов и теплообменников с традиционным интерфейсом;

НГСВ2 – мнемосхема площадки сепараторов и теплообменников с применением в интерфейсе ситуационного восприятия;

Печи1 – мнемосхема площадки подогрева нефти с традиционным интерфейсом;

НГСВ2 – мнемосхема площадки подогрева нефти с применением в интерфейсе ситуационного восприятия.

Таблица 17 – Значения времени квитиования, полученные при исследовании

Аварийные сообщения				Предупредительные сообщения			
НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2	НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2
7,693	4,157	12,832	8,662	10,773	4,049	9,206	9,206
8,214	4,182	10,714	8,675	10,026	6,715	11,011	8,994
7,760	4,295	12,342	8,749	10,713	6,337	8,442	8,953
8,972	3,605	11,821	8,909	9,212	5,755	10,312	8,806
7,259	3,822	12,020	9,076	8,354	6,567	10,271	9,453
8,486	6,393	11,839	9,472	11,283	4,936	9,470	9,700
8,779	4,321	12,396	9,355	8,904	4,389	10,479	9,652
8,984	3,923	10,889	9,150	8,759	6,775	10,736	9,572
7,962	5,077	11,969	8,593	9,722	5,262	11,443	9,036
8,879	4,098	12,276	8,405	8,189	4,930	10,819	9,043
8,431	6,930	12,204	8,908	9,336	7,015	10,924	10,592
9,838	4,892	10,650	9,212	9,481	7,533	12,874	11,240
8,568	5,012	12,473	9,909	8,983	6,605	11,435	10,744
8,879	4,906	11,282	8,658	12,554	7,709	13,714	10,697
10,262	5,782	11,472	8,689	9,199	7,453	10,057	10,837

10,481	4,484	12,322	9,328	10,893	6,443	13,614	11,286
8,887	6,026	12,707	10,318	11,445	5,969	10,531	11,228
8,258	5,225	11,327	10,622	12,065	6,396	10,741	10,761
8,807	4,739	12,585	8,883	11,077	8,033	12,649	10,951
8,689	6,777	10,546	10,800	12,597	6,593	12,322	10,544

Таким образом было получено 8 выборок, состоящих из значений $x_1, x_2 \dots x_{25}$, и имеющих функцию распределения $F(x)$.

Числовые характеристики выборки называются выборочными (эмпирическими) числовыми характеристиками [23]. Рассчитаем основные числовые характеристики полученных выборок:

Среднее арифметическое (оценка математического ожидания):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

Выборочная (эмпирическая) дисперсия:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2;$$

Стандартное (среднее квадратическое) отклонения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2};$$

Коэффициент вариации:

$$V = \frac{S}{\bar{x}};$$

Оценка эксцесса (меры островершинной распределения по сравнению с нормальным распределением):

$$\widehat{E}_x = \frac{\beta_4}{\beta_2^2} - 3;$$

Оценка коэффициента асимметрии (характеризует симметричность распределения относительно среднего):

$$\widehat{S}_x = \frac{\beta_3}{(\beta_2)^{3/2}},$$

Где:

$$\beta_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^l.$$

Результаты расчета представлены в таблице.

Таблица 18 – Результаты расчета численных характеристик выборки

	Аварийные сообщения				Предупредительные сообщения			
	НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2	НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2
\bar{x}	8,704	4,932	11,833	9,219	9,624	6,273	11,053	9,658
S	0,803	0,986	0,719	0,690	1,367	1,099	1,399	0,894
V	0,092	0,200	0,061	0,075	0,134	0,175	0,127	0,089
$\bar{x} \pm S$	9,508	5,918	12,553	9,909	7,640	12,152	11,463	0,894
$\bar{x} \pm 2S$	10,311	6,903	13,272	10,599	9,007	13,251	12,862	1,788
$\bar{x} \pm 3S$	11,115	7,889	13,991	11,290	10,374	14,350	14,261	2,682
\widehat{E}_x	0,048	-0,102	-0,113	-0,021	-0,162	-0,114	-0,131	-0,080
\widehat{S}_x	0,043	0,089	-0,089	0,080	0,023	-0,134	0,139	-0,038

С помощью вычисленных числовых характеристик можно определить, является ли выборочное распределение близким к нормальному. Если выборочное распределение близко к **нормальному** (или является таковым), то:

- В интервалы $\bar{x} \pm S, \bar{x} \pm 2S, \bar{x} \pm 3S$ должны попадать соответственно приблизительно 68%, 95% и 100% выборочных значений;
- Не в слишком маленькой выборке величина коэффициента вариации V должна быть не более 33%, т.е. $V < 0,33$.
- Оценка эксцесса и коэффициента асимметрии должны быть близки к нулю.

Наиболее распространенными способами графического представления эмпирических данных (выборки) являются гистограмма, полигон частот и эмпирическая функция распределения (накопленные относительные частоты).

Пусть $\min x$ и $\max x$ – соответственно наименьшее и наибольшее значения вариант выборки. Величина $R = \max x - \min x$ называется размахом выборки. Значения размахов выборок приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Значения размахов выборок

	Аварийные сообщения				Предупредительные сообщения			
	НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2	НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2
R	3,222	3,325	2,286	2,395	2,325	3,984	5,272	2,570

Размах делится на число интервалов K (интервальная группировка), которое можно вычислить по формуле:

$$K \approx \sqrt{n} = \sqrt{20} \approx 5.$$

Обычно предполагают, что количество интервалов должно удовлетворять условию $5 \leq K \leq 20$. Ширина каждого интервала d вычисляется по формуле:

$$d = \frac{R}{K}.$$

Ширина интервалов приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Ширина интервалов

	Аварийные сообщения				Предупредительные сообщения			
	НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2	НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2
d	0,644	0,665	0,457	0,479	0,550	0,797	1,054	0,514

После разбиения на интервалы определим:

1. Абсолютные частоты m_i , $i = 1 \dots K$, где m_i – количество элементов выборки, попавших в i – й интервал (элемент, попавший на границу интервала, относят к какому-нибудь выбранному интервалу, например, левому, или

правому; если на границу интервала попадает много элементов выборки, то их делят пополам между левым и правым интервалами);

2. Относительные частоты $h_i = m_i/n$.

Полученные значение абсолютных и относительных частот представлены в таблицах 21-24.

Таблица 21 – Абсолютные и относительные частоты времени квитирования аварийных алармов (площадка сепараторов)

К	интервал	m_i	h_i		К	интервал	m_i	h_i
1	7,259 – 7,903	3	0,15		1	3,605 – 4,27	6	0,30
2	7,903 – 8,547	5	0,25		2	4,27 – 4,935	6	0,30
3	8,547 – 9,191	9	0,45		3	4,935 – 5,6	3	0,15
4	9,191 – 9,835	0	0,00		4	5,6 – 6,265	2	0,10
5	9,835 – 10,479	3	0,15		5	6,265 – 6,93	2	0,10

Таблица 22 – Абсолютные и относительные частоты времени квитирования аварийных алармов (площадка подогревателей)

К	интервал	m_i	h_i		К	интервал	m_i	h_i
1	10,546 – 11,003	4	0,20		1	8,405 – 8,884	8	0,40
2	11,003 – 11,460	2	0,10		2	8,884 – 9,363	7	0,35
3	11,460 – 11,918	3	0,15		3	9,363 – 9,842	1	0,05
4	11,918 – 12,375	6	0,30		4	9,842 – 10,321	2	0,10
5	12,375 – 12,832	4	0,20		5	10,321 – 10,800	1	0,05

Таблица 23 – Абсолютные и относительные частоты времени квитирования предупредительных алармов (площадка сепараторов)

К	интервал	m_i	h_i		К	интервал	m_i	h_i
1	8,364 – 8,900	4	0,20		1	4,049 – 4,846	2	0,10
2	8,900 – 9,436	3	0,15		2	4,846 – 5,642	3	0,15
3	9,436 – 9,973	6	0,30		3	5,642 – 6,439	4	0,20

4	9,973 – 10,509	3	0,15	4	6,439 – 7,236	7	0,35
5	10,509 – 11,045	3	0,15	5	7,236 – 8,033	4	0,20

Таблица 24 – Абсолютные и относительные частоты времени квитирования предупредительных алармов (площадка подогревателей)

К	интервал	mi	hi	К	интервал	mi	hi
1	8,442 – 9,496	3	0,15	1	8,620 – 9,134	3	0,15
2	9,496 – 10,551	5	0,25	2	9,134 – 9,648	7	0,35
3	10,551 – 11,605	7	0,35	3	9,648 – 10,162	6	0,30
4	11,605 – 12,660	2	0,10	4	10,162 – 10,676	3	0,15
5	12,660 – 13,714	3	0,15	5	10,676 – 11,614	1	0,05

Графическое представление полученных данных приведено в приложении Е.

Определим интервалы времени квитирования, в которых относительные и абсолютные частоты были наибольшими, для каждого из интерфейсов. Данные представлены в таблицах 25-26.

Таблица 25 – Сводная таблица наибольших частот (аварийные сообщения)

Аварийные сообщения			
НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2
8,547 – 9,191	3,605 – 4,27 и 4,27 – 4,935	11,918 – 12,375	8,405 – 8,884

Таблица 26 – Сводная таблица наибольших частот (предупредительные сообщения)

Предупредительные сообщения			
НГСВ1	НГСВ2	Печи1	Печи2
9,436 – 9,973	6,439 – 7,236	10,551 – 11,605	9,134 – 9,648

Далее полученные интервалы времени сравнивались между собой. Было выяснено что во всех случаях интерфейс с ситуационным восприятием позволяет снизить время квитирования алармов. Процентные соотношения времени квитирования представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Процентное сокращение времени квитирования при переходе на интерфейс с ситуационным восприятием

	Аварийные сообщения		Предупредительные сообщения	
	НГСВ	Печи	НГСВ	Печи
% сокращения времени на квитирование	52%	29%	30 %	16%

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Бояринова Алёна Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования 	<p>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, нормативно-правовых документах.</p> <p>Работа с оборудованием и программным обеспечением лабораторного стенда. Работа с технической и эксплуатационной документацией на используемое оборудование.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований 3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования 	<p>Оценочная карта конкурентных технических решений</p> <p>Иерархическая структура работ</p> <p>Календарный план-график реализации проекта</p> <p>Определение ресурсоэффективности проекта</p>
---	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценочная карта конкурентных технических решений 2. Иерархическая структура работ 3. Календарный план проекта 4. Бюджет проекта 5. Определение ресурсоэффективности проекта 	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	К.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бояринова Алёна Сергеевна		

12 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Целью данной диссертационной работы является исследование применения ситуационного восприятия в интерфейсе АРМ оператора.

Управление сложными технологическими процессами – опасная и ответственная деятельность, требующая от оператора высокого уровня умений, знаний и навыков. Однако большинство пользовательских интерфейсов, которые разрабатываются в данный момент, отстают в развитии и не справляются с эффективным отображением большого объема данных поступающих с современного оборудования АСУ ТП.

Некачественное управление ТП становится причиной почти половины всех аварий в перерабатывающих отраслях промышленности. Поэтому стремление обеспечить снижение аварийности и повышение надежности и качества управления всеми доступными методами (от технических средств

автоматизации до учета человеческого фактора) является актуальной задачей на сегодняшний день.

В данной работе рассматриваются методы разработки интерфейсов АРМ оператора, позволяющие повысить качество управления ТП и снизить число аварийных ситуаций, связанных с человеческим фактором.

Инструментом для проведения исследования является имитационный тренажер технологического процесса, разработка которого также рассматривается в данной работе.

Полученные результаты исследований будут применяться при проектировании рабочей документации верхнего уровня АСУ ТП на объектах ПАО НК «Роснефть». Имитационный тренажер будет применяться в учебной и научно-исследовательской деятельности студентов ТПУ, обучающихся по направлению «Автоматизация технологических процессов и производств».

12.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Целевым рынком данного исследования будут являться нефтегазовые компании РФ.

Сегментирование рынка услуг выполнялось по 2 критериям: отрасль промышленности и класс развитости АСУ ТП*. Результаты сегментирования представлены на рисунке 1.

		Отрасль промышленности		
		Нефтегазовая	Химическая	Атомная
Класс развитости АСУ ТП	Класс 3			
	Класс 2			
	Класс 1			

Рисунок 15 – Результаты сегментирования рынка

Таким образом целесообразно предлагать результаты исследований и разработки нефтегазовым и химическим компаниям, использующим 2 класс развитости АСУ ТП.

Также результаты исследований могут быть предложены для перспективного развития существующих АСУ ТП и тренажерных систем крупным компаниям, использующим 3 класс развитости АСУ ТП.

Примечание* –АСУ ТП и входящие в их состав другие системы (подсистемы) автоматизации подразделяются в зависимости от степени соответствия их функциональных и других возможностей нормативным требованиям и современным достижениям на три следующих класса автоматизации:

– класс 1 («минимальный») – системы обладают лишь теми средствами автоматизации и соответствующими функциональными возможностями, которые позволяют осуществлять безопасное управление технологическим процессом в соответствии с действующими нормативными требованиями государственных органов.

– класс 2 («базовый») – системы, обладающие улучшенными (по сравнению с системами «минимального» класса) средствами и возможностями, позволяющими использовать дополнительные источники эффективности автоматизации и соответствующими сложившейся мировой практике автоматизации технологических объектов НГД.

– класс 3 («перспективный») – системы, реализующие (сверх возможностей систем «базового» класса) новейшие достижения в развитии автоматизации технологических процессов и требования, предъявляемые вышестоящим уровнем интегрированной АСУ.

12.2. Анализ конкурентных технических решений

К основным конкурентам можно отнести компании, занимающиеся разработкой и проектированием АСУ ТП. Например, в Томской области можно

выделить, следующие компании: ЗАО «Элеси», ООО НПП «ТЭК», ООО «ТомскАСУпроект».

Основными конкурентными преимуществами данного исследования являются:

1. Минимизация затрат времени на разработку программного обеспечения тренажера;
2. Наличие всего необходимого оборудования и лицензий на ПО;
3. Наличие специализированного ПО, которое позволяет:
 - использовать объектно-ориентированный подход при разработке;
 - использовать имеющиеся библиотеки с элементами ситуационного восприятия информации.

Экономия времени и ресурсов происходит за счет использования при разработке ПО объектно-ориентированного подхода.

Возьмем пример, чтобы показать минимизацию затрат при использовании объектно-ориентированной компонентной технологии, которая применяется в данной работе по сравнению с традиционной методикой разработки интерфейса в SCADA, которая применяется в ЗАО «Элеси», ООО НПП «ТЭК».

Допустим имеется 27 клапанов, каждый из которых имеет 6 точек ввода/вывода, за которыми необходимо непрерывно наблюдать оператору. В традиционной системе SCADA необходимо создать 162 тега (27 клапанов х 6 точек ввода/вывода на клапан). В компонентной объектно-ориентированной системе автоматизации, создается шаблон для одинаковых объектов типа «клапан» и компоненты, которые представляют каждый клапан в отдельности, т.е. дублируют шаблон. Используя традиционную SCADA систему, основанную на тегах, для создания приложения необходимо потратить 0,4 часа на каждый тег. Чтобы разработать шаблон объекта «клапан» необходимо затратить 2 часа и еще 20% (или 0,4 часа) на каждый компонент для создания конкретного клапана в приложении.

Таким образом для традиционной SCADA получаем:

162 тега*0,4 часа на тег =64,8 часов;

Для используемой объектно-ориентированной технологии:

(2 часа на создание шаблона объекта*1 шаблон) + (27 экземпляров клапанов*0,4 часа на один экземпляр) = 12,8 часов.

Экономия времени составила: 52 часа, или 80% – значительный результат экономии времени, даже если вы возьмете половину этого значения или 40%.

Оценочная карта анализа конкурентов представлена в таблице 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В оценочной карте используются следующие показатели:

- Повышение производительности труда – критерий, характеризующей эффективность системы при выполнении основной задачи;
- Удобство в эксплуатации – критерий, характеризующий комфортность работы с системой и ее обслуживание.
- Безопасность – критерий, характеризующий вероятность возникновения чрезвычайной ситуации во время эксплуатации системы.
- Надежность – критерий, характеризующий свойство системы, сохранять работоспособность в течение времени;
- Потребность в материальных ресурсах – критерий характеризует потребность в ресурсах на основную разработку и поддержание ее работоспособности.
- Модифицируемость – критерий, который характеризует возможность внесения различных изменений и доработок;

- Конкуренентоспособность – критерий, характеризующий свойство разработки выдерживать конкуренцию;
- Стоимость разработки – критерий, характеризующий стоимость внедрения системы;
- Время разработки – критерий, который отражает затраты времени на разработку, тестирование и внедрение.
- Финансирование – критерий, характеризующий обеспечение требуемыми финансовыми ресурсами для исполнения работы.

Таблица 28 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение эффективности управления	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Надежность	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
4. Безопасность	0,2	5	4	3	1	0,8	1
5. Потребность в материальных ресурсах	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
6. Модифицируемость	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкуренентоспособность метода	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
2. Стоимость разработки	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
3. Время разработки	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
4. Финансирование разработанного метода	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Итого	1				4,55	3,2	3,9

Оценочная карта показывает, что разработка, рассматриваемая в данной работе, является наиболее эффективной по сравнению с подобными ей разработками.

12.3. FAST-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Объектом исследования выступает интерфейс АРМ оператора и имитационный тренажер технологического процесса. В таблице 30 определены главная, основная и вспомогательная функции, которые выполняются объектом.

Таблица 29 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узле	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Персональный компьютер	1	Предоставляет доступ оператору к тренажеру		X	
Контроллер (ПЛК)	1	Хранит и выполняет стратегию управления АСУ ТП		X	
Лабораторный стенд с дин-рейкой	1	На него монтируется ПЛК			X
Линии связи (провода)	2	Организуют связь между ПЛК и ПК			X
Человеко-машинный интерфейс	-	Предоставляет оператору доступ к информации о	X		

		процессе и к управлению им			
Стратегия управления АСУ ТП	-	Реализует алгоритмы управление процессом		X	
Программное обеспечение для разработки	-	С его помощью разрабатывается и работает тренажер		X	

Для оценки значимости функций воспользуемся методом расстановки приоритетов, при котором составляется матрица смежности функций. Матрица смежности для исследуемого объекта представлена в таблице 31.

Таблица 30 – Матрица смежности функций

	Фун. 1	Фун. 2	Фун. 3	Фун. 4	Фун. 5	Фун. 6	Фун. 7
Фун. 1	=	>	>	>	>	>	>
Фун. 2	<	=	>	>	<	<	<
Фун. 3	<	<	=	<	<	<	<
Фун. 4	<	<	>	=	<	<	<
Фун. 5	<	>	>	>	=	>	<
Фун. 6	<	>	>	>	<	=	<
Фун. 7	<	>	>	>	>	>	=

Далее необходимо преобразовать матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций. Матрица количественных соотношений представлена в таблице 32

Таблица 31 – Матрица количественных соотношений функций

	Фун. 1	Фун. 2	Фун. 3	Фун. 4	Фун. 5	Фун. 6	Фун. 7	
Фун. 1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	10
Фун. 2	0.5	1	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	6
Фун. 3	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	4

Фун. 4	0.5	0.5	1.5	1	0.5	0.5	0.5	5
Фун. 5	0.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	0.5	8
Фун. 6	0.5	1.5	1.5	1.5	0.5	1	0.5	7
Фун. 7	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	9
								$\Sigma = 49$

Далее необходимо определить стоимость функций, выполняемых объектом. Стоимость функций представлена в таблице 33.

Таблица 32 – Стоимость функций объекта

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узле	Выполняемая функция	Норма расхода	Трудоемкость, нормо-ч	Стоимость материала	Зарботная плата, руб.	Себестоимость
Персональный компьютер	1	Предоставляет доступ оператору к тренажеру	-	-	31500	-	31500
Контроллер (ПЛК)	1	Хранит и выполняет стратегию управления АСУ ТП	-	-	214209	-	214209
Лабораторный стенд с дин-рейкой	1	На него монтируется ПЛК	-	2	2300	2000	4300
Линии связи (провода)	2	Организуют связь между ПЛК и ПК	-	-	245	-	245
Человеко-машинный интерфейс	-	Предоставляет оператору доступ к информации о процессе и	-	320	-	24780	24780

		к управлению им					
Стратегия управления АСУ ТП	-	Реализует алгоритмы управление процессом	-	240	-	18585	18585
Программное обеспечение для разработки	-	С его помощью разрабатывается и работает тренажер	-	-	77000	-	77000
							$\Sigma = 370619$

По данным из таблиц 32-33 строится функционально-стоимостная диаграмма (ФСД), которая представлена на рисунке 17.

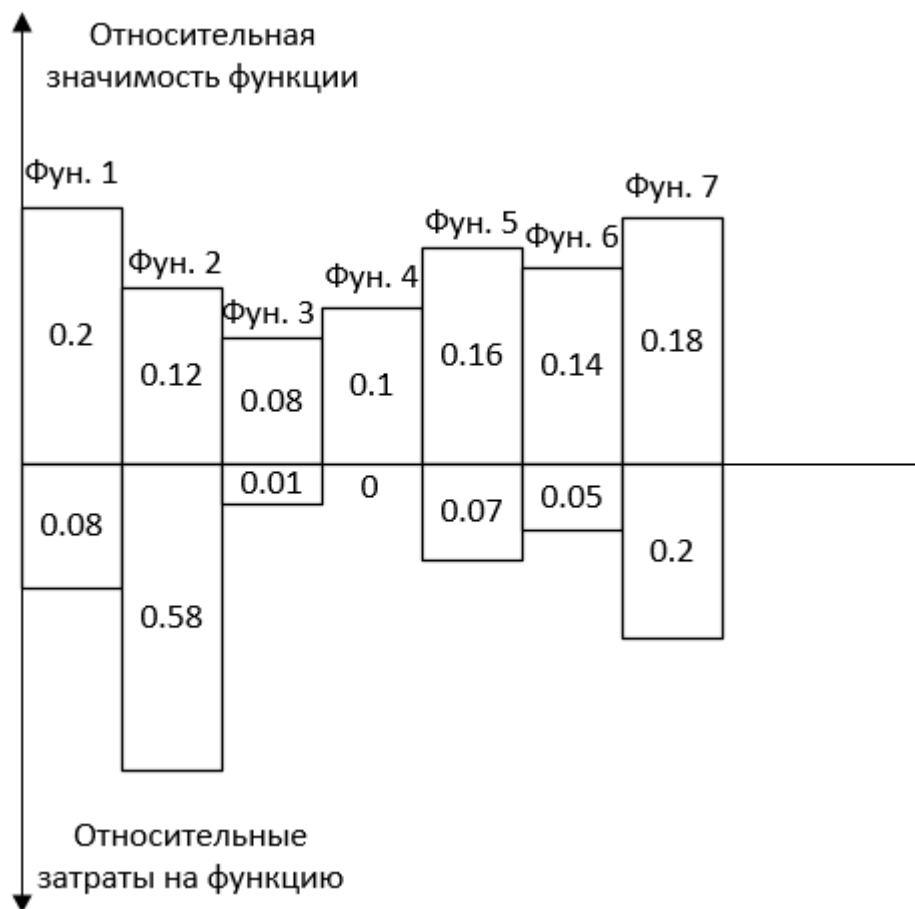


Рисунок 16 – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ ФСД показывает, что присутствует явное рассогласование у функции 2, из-за высокой стоимости ПЛК.

12.4. План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен календарный план проекта и линейный график Ганта, так как данная работа имеет малый штат исполнителей (руководитель и инженер), целесообразно применить систему линейного планирования с построением диаграммы Ганта.

Успех проведения работы зависит от рационального распределения нагрузки по времени этапов, что позволяет более эффективно распределять и использовать ресурсы ее исполнителей и предварительно определить затраты на проведение НИР.

Таблица 33– Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Выбор направления исследования	2	21.08.2017	23.08.2017	Руководитель, инженер
2	Анализ предметной области	1	23.08.2017	24.08.2017	Руководитель
3	Подбор материалов по теме	2	24.08.2017	26.08.2017	Руководитель
4	Составление и утверждение технического задания	1	27.08.2017	28.08.2017	Руководитель
5	Календарное планирование работ	1	28.08.2017	29.08.2017	Инженер
6	Подбор и изучение материалов по теме	14	29.08.2017	12.09.2017	Инженер
7	Изучение программного обеспечения стенда	61	12.09.2017	12.11.2017	Инженер
8	Выполнение демо-проекта имитационного тренажера	24	12.11.2017	06.12.2017	Инженер
9	Анализ проектной документации для разработки моделей тренажера	25	06.12.2017	31.12.2017	Инженер
10	Отпуск	32	31.12.2017	08.02.2018	Инженер

11	Разработка тренажера (модели ТП, интерфейса АРМ, алгоритмов управления)	89	08.02.2018	08.05.2018	Инженер
12	Устранение ошибок и доработка тренажера	5	08.05.2018	12.05.2018	Инженер
13	Планирование методики проведения исследования	1	12.05.2018	13.05.2018	Руководитель, инженер
14	Проведение исследования и сбор статистики (измерение времени реакции операторов на аварийные события в Системе)	1	13.05.2018	14.05.2018	Инженер
15	Обработка результатов исследования, выполнение расчетов	2	14.05.2018	16.05.2018	Инженер
16	Подготовка пояснительной записки	15	16.05.2018	31.05.2018	Инженер
17	Подготовка к защите	7	31.05.2018	06.06.2018	Инженер

Таблица 34-Линейный график работ

№	Вид работ	Исполнители	Т, кал. дней	Продолжительность выполнения работ														
				Авг.	Сен.	Окт.	Ноя.	Дек.	Янв.	Фев.	Мар.	Апр.	Май.					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Выбор направления исследования	Руководитель Инженер	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	Анализ предметной области	Руководитель	1	1														
3	Подбор материалов по теме	Руководитель	2	1	2													
4	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1														
5	Календарное планирование работ	Инженер	1	1														
6	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	14	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7	Изучение программного обеспечения стенда	Инженер	61		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
8	Выполнение демо-проекта имитационного тренажера	Инженер	24															
9	Анализ проектной документации для	Инженер	25															

12.5. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

12.5.1. Расчёт материальных затрат

Для выполнения работы используется дорогостоящее оборудование – демо-система Foxboro Evo для демонстраций и обучения, которое было предоставлено ТПУ компанией SchneiderElectric на основании договора пожертвования № SE-I-16/32 от 15.08.2016.

Так как работа с оборудованием ведётся менее 1 года нет необходимости рассчитывать амортизационные отчисления.

Основными материальными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию, оплату пользования интернетом. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 36.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,8 \cdot 0,22 \cdot 1520 = 1939,52,$$

где: $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 1939,52 рублей.

Таблица 35 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Печать на листе А4	–	110	2	200
Доступ в интернет	–	10 месяцев	450	4500
Ноутбук				18000
Демо-система Foxboro Evo для демонстраций и обучения (в составе: ПК, ПЛК Foxboro FCP 280, лицензионно ПО для разработки)				382339
Всего за материалы				4700
Электроэнергия				1939
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье С _м				6639

12.5.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = (Z_{м} \cdot M) / F_{д},$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 37).

Таблица 36 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	190

Оклад инженера 3 категории, равный 9489руб/месяц. Районный коэффициент по Томску равен 1,3. Месячная заработная плата инженера составляет:

$$Z_m = 9489 \cdot 1,3 = 12335,7 \text{руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера составляет:

$$Z_{\text{дн}} = (12,336 \cdot 11,2) / 223 = 619,5 \text{руб/день.}$$

С учетом того, что продолжительность работ инженера составляет 190 дней, основной заработок инженера составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 727,1 \cdot 190 = 117705 \text{руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
- иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью доцент. Оклад доцента составляет 33664 рубля. Районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя составляет:

$$Z_m = 33664 \cdot 1,3 = 43763,2 \text{ руб/месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (43763,2 \cdot 10,4) / 251 = 1813,3 \text{ руб/день.}$$

С учетом того, что продолжительность работ научного руководителя составляет 8 рабочих дней, основной заработок научного руководителя составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 1813,3 \cdot 8 = 14506,4 \text{ руб.}$$

12.5.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 38.

Таблица 37 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Инженер
------------------------	--------------	---------

Основная зарплата	14506,4	117705
Дополнительная зарплата	2175,96	11770,5
Зарплата исполнителя	16682,36	129475,5
Итого по статье $C_{зп}$	146157,86	

12.5.4. Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{внеб} = 0,271 \cdot 146157,86 = 39608,8 \text{ руб.}$$

12.5.5. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп} + C_{соц}),$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{накл} = 30 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (146157,86 + 39608,8) = 55730 \text{ руб.}$$

12.5.6. Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 39.

Таблица 38 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	6639
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	132211,4
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13946,46
4. Отчисления во внебюджетные фонды	39608,8
5. Накладные расходы	55730
Бюджет затрат исследования	248135,66

12.6. Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 18.



Рисунок 17– Организационная структура научного проекта

12.7. Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 40.

Таблица 39 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соцответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Выбор направления исследования	О				
Анализ предметной области	О				
Подбор материалов по теме	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Календарное планирование работ	С				И
Подбор и изучение материалов по теме					И

Изучение программного обеспечения стенда					И
Выполнение демо-проекта имитационного тренажера					И
Анализ проектной документации для разработки моделей тренажера					И
Разработка тренажера (модели ТП, интерфейса АРМ, алгоритмов управления)					И
Устранение ошибок и доработка тренажера	С				И
Планирование методики проведения исследования	С				И
Проведение исследования и сбор статистики (измерение времени реакции операторов на аварийные события в Системе)					И
Обработка результатов исследования, выполнение расчетов					И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Составление пояснительной записки	О				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

- Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:
- ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);

– согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

12.8. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}},$$

где: I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

При расчете в максимальной стоимости учтем затраты на оборудование (в том случае, если бы была необходимость в его приобретении).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{248135,66}{320546} = 0,77.$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\max}} = \frac{300894}{320546} = 0,94; \quad I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\max}} = \frac{320546}{320546} = 1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

$$I_m^a = \sum a_i \cdot b_i^a, I_m^p = \sum a_i \cdot b_i^p$$

где:

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 41.

Таблица 40 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Материалоемкость	0,05	4	4	4
Надежность	0,1	5	3	4
Производительность	0,25	5	3	4
Удобство в эксплуатации	0,15	4	3	4
Энергосбережение	0,25	4	4	5
Безопасность	0,2	5	4	3
ИТОГО	1			

$$I_{\text{ТП}} = 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 = 4,55;$$

$$I_{a1} = 4 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 = 3,5;$$

$$I_{a2} = 4 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финаi}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p}, \quad I_{финаi}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{финаi}^{ai}};$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{4,55}{0,77} = 5,9;$$

$$I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{3,5}{0,94} = 3,72;$$

$$I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}}$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 42.

Таблица 41 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	1	0,77
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,5	4,05	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	3,72	4,05	5,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,59	1,46	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Бояринова Алёна Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>4. <i>Характеристика объекта исследования и области его применения</i></p>	<p>Объектом исследования является ЧМИ АРМ оператора, разработанный на базе оборудования и ПО лабораторного стенда. ЧМИ применяется для управления ТП, отображения технологической информации, поддержки операторов по оценке состояния объекта контроля и управления параметры работы оборудования.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>4. <i>Анализ возможных угроз</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Проанализировать угрозы, которые могут негативно влиять на данные исследования; – Определить перечень мер по предотвращению выявленных угроз
<p>5. <i>Обеспечение достоверности данных</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обеспечение корректной работы алгоритмов; – Обеспечение корректной работы ЧМИ; – Обеспечение сохранности данных; – Применение объективной методики исследования; – Обеспечение валидности результатов исследования; – Обеспечение информационной безопасности.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бояринова Алёна Сергеевна		

13 Социальная ответственность

Недостоверность данных исследования может привести к некорректным решениям при проектировании верхнего уровня АСУ ТП и как следствие ухудшению эффективности операторского управления технологическим процессом. В данном разделе проводится анализ угроз, которые могут оказывать негативное влияние на результаты исследования, а также рассматриваются используемые меры предотвращения выявленных факторов или сведения их негативного влияния к минимуму.

13.1. Характеристика объекта исследования и области его применения

Целью диссертационной работы является исследование применения ситуационного восприятия в интерфейсе АРМ оператора.

Управление сложными технологическими процессами – опасная и ответственная деятельность, требующая от оператора высокого уровня умений, знаний и навыков. Однако большинство пользовательских интерфейсов, которые разрабатываются в данный момент, отстают в развитии и не справляются с эффективным отображением большого объема данных поступающих с современного оборудования АСУ ТП.

Некачественное управление ТП становится причиной почти половины всех аварий в перерабатывающих отраслях промышленности. Поэтому стремление обеспечить снижение аварийности и повышение надежности и качества управления всеми доступными методами (от технических средств автоматизации до учета человеческого фактора) является актуальной задачей на сегодняшний день.

В данной магистерской диссертации рассматриваются методы разработки интерфейсов АРМ оператора, позволяющие повысить качество управления ТП и снизить число аварийных ситуаций, связанных с человеческим фактором.

Инструментом для проведения исследования является имитационный тренажер технологического процесса, разработка которого также рассматривается в данной работе.

Полученные результаты исследований будут применяться при проектировании рабочей документации верхнего уровня АСУ ТП на объектах ПАО НК «Роснефть».

13.2. Анализ возможных угроз

В процессе работы были выделены основные угрозы, которые могут влиять на результаты исследования. Данные угрозы представлены в таблице 42.

Таблица 42 – Анализ возможных угроз исследованию

Угроза	Описание	Последствия
1. Сбои в работе программного обеспечения	Непредвиденные тотальные ошибки в работе ПО	Потеря данных
2. Ошибки при разработке имитационного тренажера): – ошибки выполнения скриптов; – ошибки параметризации блоков стратегии управления; – ошибки разработки алгоритмов управления	Ошибки связанные с человеческим фактором: разработчик неверно задал алгоритм, неверно запрограммировал блок	Недостоверные данные исследования
3. Ошибки оператора при проведении исследования	В процессе работы с ЧМИ оператор выполнял некорректные действия	Недостоверные данные исследования
4. Методика проведения эксперимента: – необъективность эксперимента; – неверное истолкование результатов	Использование разных алгоритмов для разных ЧМИ, некорректный выбор методики проведения исследования	Ошибочные выводы и заключения по результатам исследования
5. Несанкционированный доступ к программе и данным	Изменение программы и интерфейса, удаление данных из	Потеря данных, появление ошибок в работе

	базы случайное или намеренное	алгоритмов и ЧМИ
--	-------------------------------	------------------

Для обеспечения надежности и объективности результатов исследования были предприняты следующие меры:

- использование встроенных средств отладки скриптов, с целью выявления ошибок в последовательности работы алгоритма и ошибок в расчете значений;
- использование единой стратегии управления для разных ЧМИ;
- установка системы идентификации пользователей для возможности доступа к программе и/или изменению программного кода, баз данных;
- проведение предварительного тестирования работы ЧМИ;
- резервное копирование и хранение базы данных и разработанной программы.

13.3. Резервное копирование репозитория Galaxy

Для обеспечения сохранности данных при окончании этапа разработки было выполнено резервное копирование данных, для возможного их восстановления при появлении непредвиденных сбоев в ПО.

Резервные копии создаются с помощью менеджера БД Galaxy DataBase Manager, который входит в состав утилит системной консоли управления (System Management Console) ArcestraA. Для создания резервной копии Галактики необходимо в контекстном меню выбрать функцию Backup.

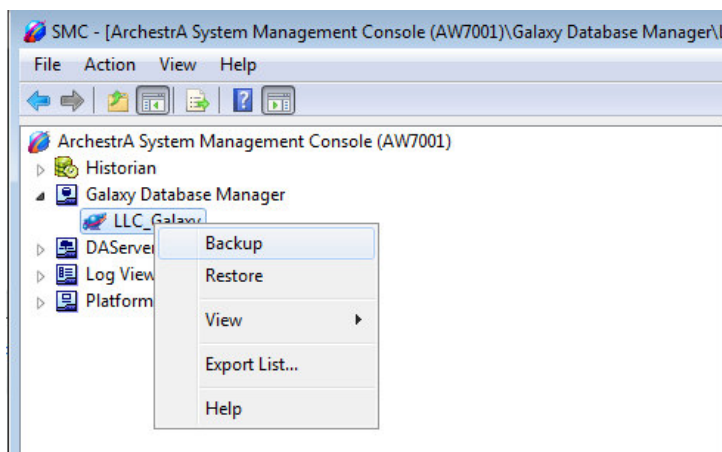


Рисунок 18 – Создание резервной копии Галактики

13.4. Обеспечение корректной работы алгоритмов

При разработке были предприняты следующие меры по обеспечению корректной работы алгоритмов:

- использование встроенных средств отладки скриптов;
- пошаговое выполнение скрипта с целью наблюдения верной последовательности отработки алгоритма и выявления ошибок в расчете значений;
- параметризация блоков, входящих в стратегию управления;
- использование стандартных контуров управления;
- проведение тестирования работы ЧМИ.

13.4.1. Встроенные средства отладки ПО

Отсутствие реальных датчиков в системе обуславливает применение скриптов, имитирующих их работу. Преимуществом такого подхода является безопасность имитационного тренажера для пользователя (оператора), а также отсутствие материальных потерь от возможного выхода из строя оборудования КИПиА в случае неверных или неаккуратных действий.

На этапе разработки, компиляция скриптов была проведена успешно. Пример отчета с ошибками при компиляции и отчета об успешной компиляции представлены на рисунке 19.

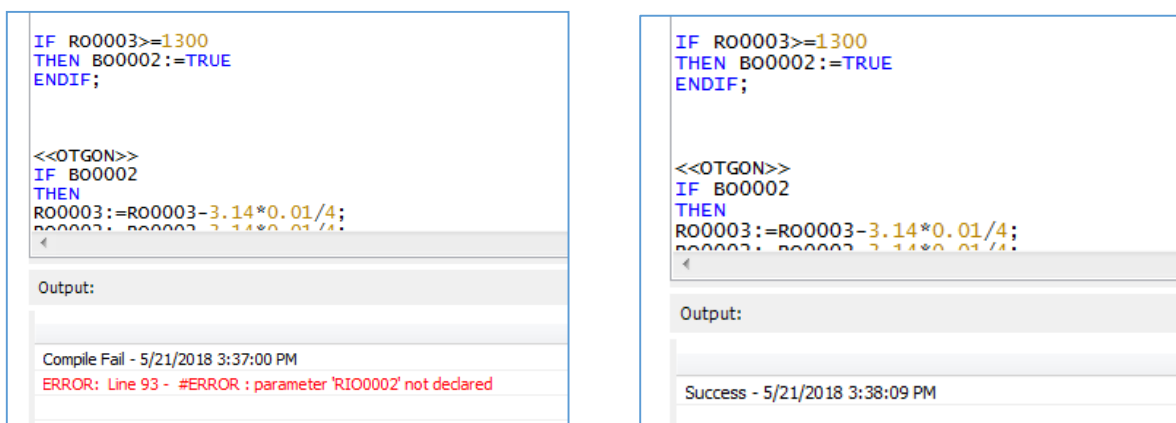


Рисунок 19 – Выявление ошибок компиляции скрипта

Программное обеспечение Archestra IDE имеет встроенные средства отладки, которые позволяют реализовывать пошаговое выполнение скриптов. Таким образом разработчик имеет возможность наблюдать за выполнением

исследуемой программы, останавливать и перезапускать её. После компиляции все скрипты были проанализированы на наличие ошибок при помощи встроенного отладчика Archestra IDE. Пример работы отладчика представлен на рисунке 20.



Рисунок 20 – Пример пошаговой отладки скрипта

Блок выполнения скриптов определяет возникновение следующих ошибок:

- Timeout (таймаут): для предотвращения непрерывного исполнения скрипта в течение всего цикла сканирования объекта (то есть для предотвращения бесконечных циклов);
- Overflow (переполнение): этот тип применим только для данных целого типа и вещественного;
- Division by zero (деление на ноль): этот тип применим только для данных целого типа.

13.4.2. Параметризация блоков

Каждый блок применяемый в стратегии управления при настройке требует введение граничных значений параметра, относящегося к данному блоку.

Для обеспечения корректного отображения на ЧМИ уставок параметров технологического процесса, граничные значения каждого блока стратегии были настроены в соответствии с технологическими решениями, представленными в проектной документации.

Также ПО Archestra IDE автоматически фиксирует отсутствие настроек или некорректные настройки блоков стратегии, что гарантирует отсутствие ошибок настройки параметров блоков.

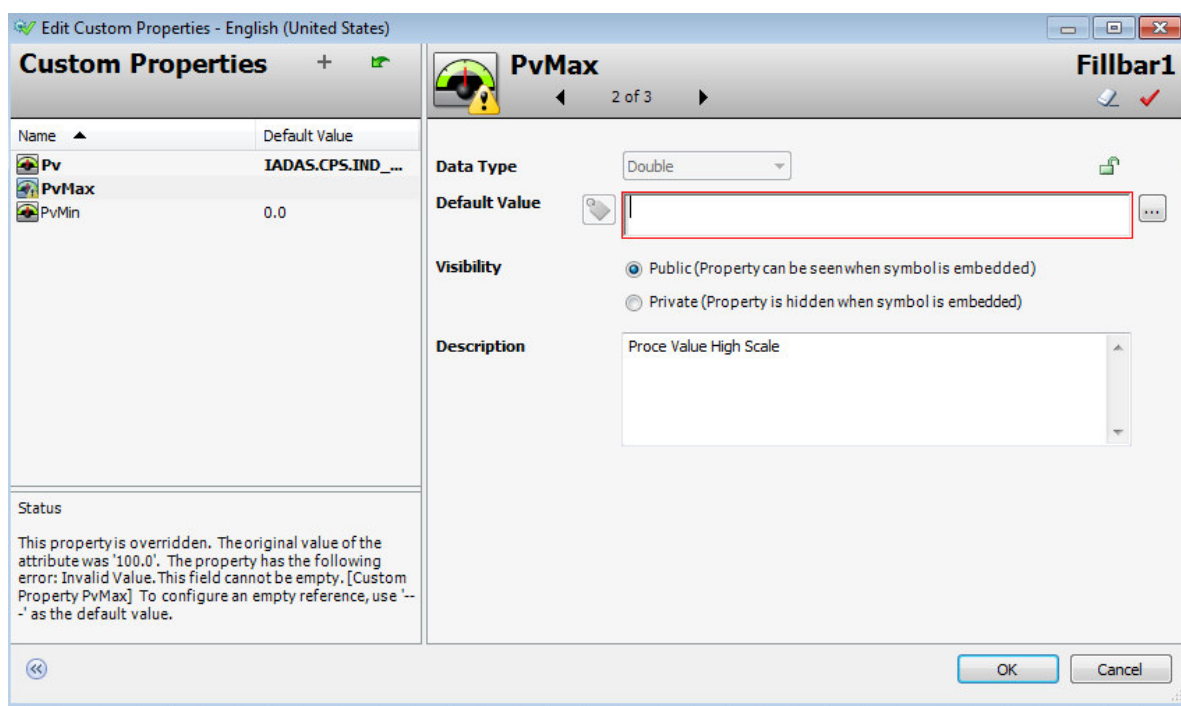


Рисунок 21 – Пример задания атрибутов блок

13.4.3. Тестирование

В данной работе применялось ручное тестирование для обнаружения ошибок работы ЧМИ. При обнаружении ошибок в первую очередь определяется последовательность действий, позволяющих воспроизвести ошибку (выяснение условий, при которых ошибка случается) и дальнейшее ее устранение.

Тестирование проводилось разработчиком и охватывало все возможные сценарии взаимодействия пользователя с ЧМИ. Таким образом, к моменту проведения исследования, найденные ошибки были устранены.

13.4.4. Контура управления

Для обеспечения объективности исследования применялись единые стратегии управления и скрипты для разных ЧМИ. Это означает, что разница между ЧМИ достигается исключительно за счет способов отображения и предоставления оператору информации посредством интерфейса на верхнем

уровне. На рисунке 22 представлена схема взаимодействия скрипта, стратегии управления, традиционного ЧМИ и ЧМИ с ситуационным восприятием.

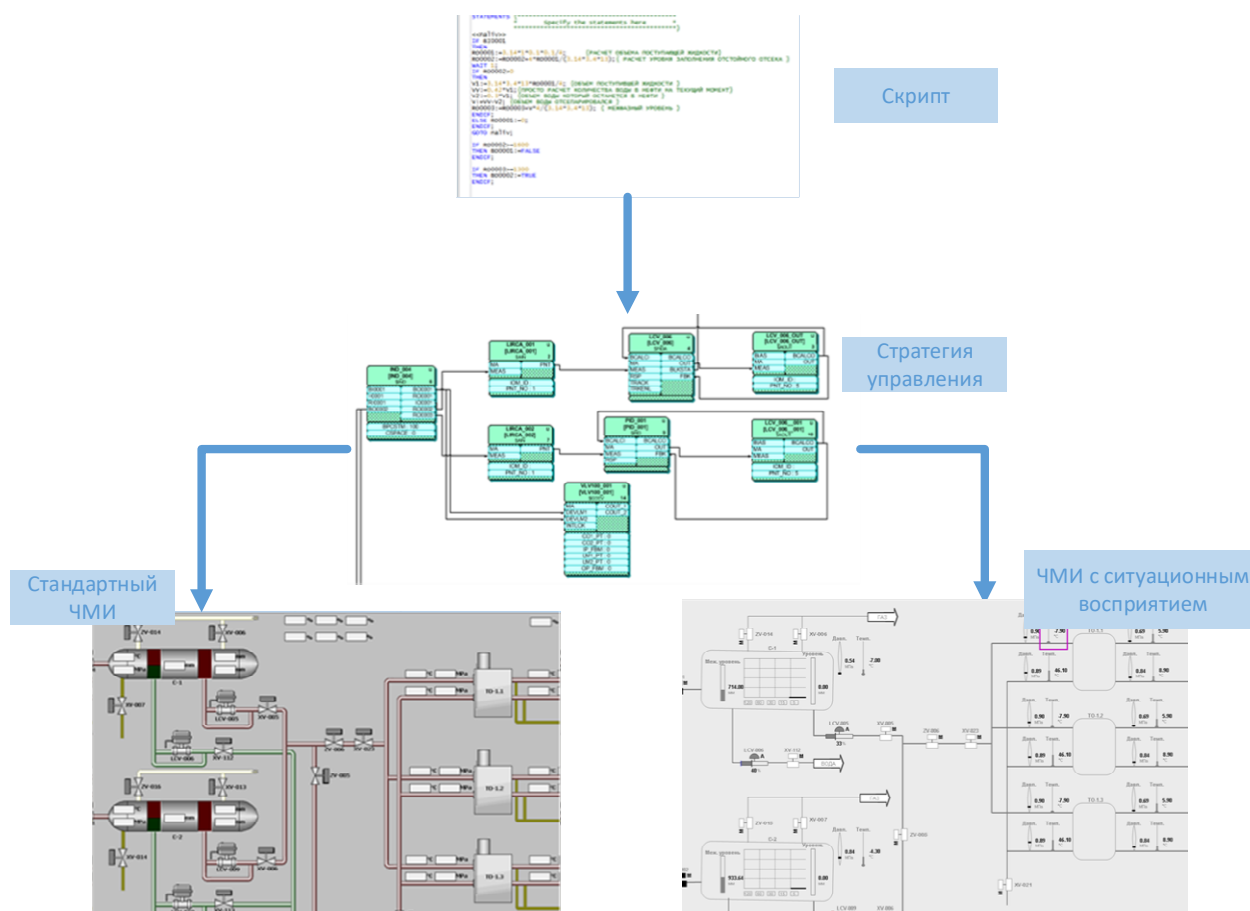


Рисунок 22 – Концептуальная модель исследования

13.4.5. Корректное отображение информации для оператора

ЧМИ должен обеспечить отображение технологических объектов на графических экранах с выводом на них фактических параметров и сигналов, поступающих из стратегии управления и показателей, расчет которых выполняется программными средствами.

ЧМИ должен обеспечить немедленное отображение предупредительных и аварийных сигналов вне зависимости от инициированной в этот момент программы и отображения на экране, а также наличие функций квитирования этих сигналов, в том числе, при поступлении серии сигналов;

Также ЧМИ должен обеспечить реализацию обратной связи на все действия оператора путем изменения цвета или яркости выбранной клавиши, «утапливания» выбранной кнопки.

Примеры ЧМИ представлены на рисунках 23-24. На рисунке 23 представлена организация ответа ЧМИ на действия оператора – при изменении состояния задвижки открыта/закрыта также изменяется и ее цвет.

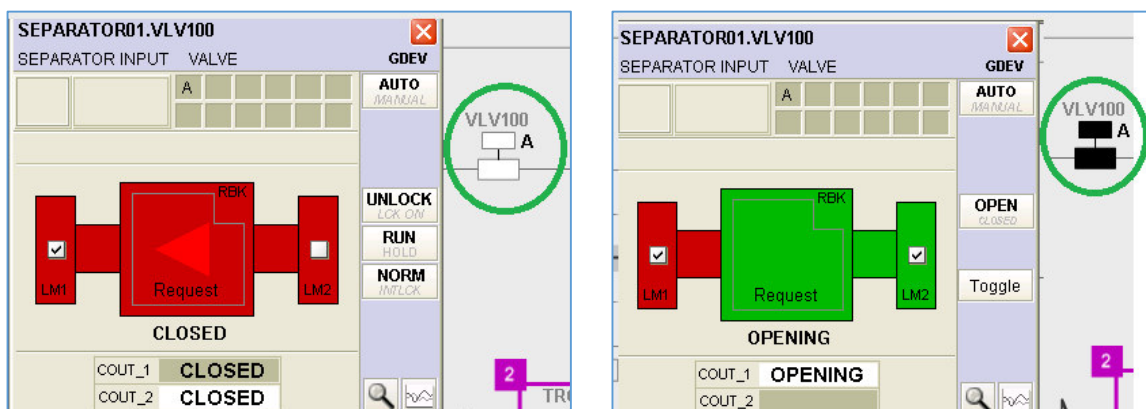


Рисунок 23 – Изменения цвета при открытии/закрытии задвижки

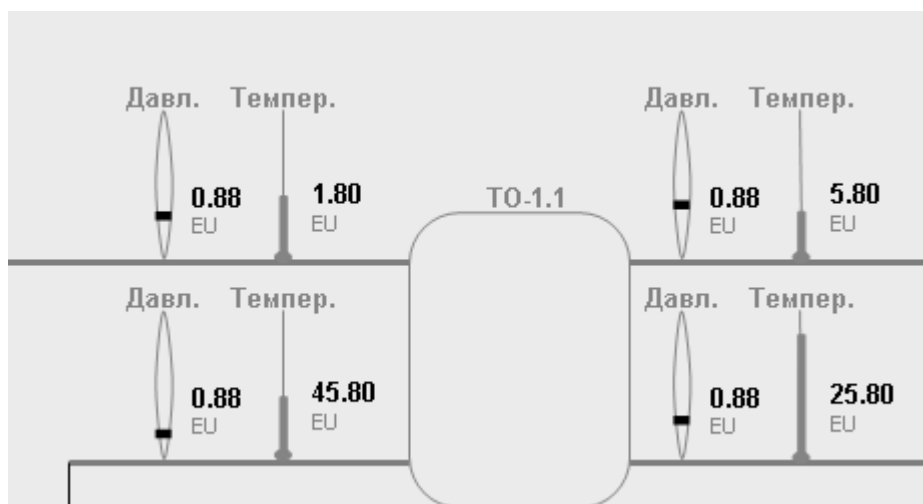


Рисунок 24 – Пример отображения информации о параметрах ТП на ЧМИ с ситуационным восприятием

Стоит отметить, что разработанный ЧМИ не противоречит требованиям стандарта компании «НК «Роснефть» № ПЗ-04 С-0038 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами нефтегазодобычи. Требования к функциональным характеристикам».

13.4.6. Методика исследования

Так как исследование строится на измерении времени реакции оператора на аварийные и предупредительные сообщения системы необходима точная фиксация времени длительности аларма, до того как он

был квитирован оператором. Избавление от погрешности измерений времени и сохранность данных обеспечивается записью данных в специализированную базу, содержащую алармы и события. Максимальный период просмотра базы данных составляет 90 дней. Измерения времени фиксируются с точностью 0,01 сек.

Для проведения исследования были приглашены 4 человека в возрасте от 24 до 25 лет, имеющих техническое образование, но при этом не имеющих опыта работы оператором АСУ ТП.

Перед началом исследования с группой был проведен вводный инструктаж, который объясняет способы взаимодействия оператора с ЧМИ, а также определяет действия, который должен выполнить оператор. Далее группе был предложен тестовый вариант ЧМИ, который не участвует в проведении исследования, однако дает визуальное представление с чем оператор будет взаимодействовать при проведении исследования. Введение тестового ЧМИ перед исследованием позволяет снизить психологическое напряжения человека перед выполнением новой для него задачи.

Зоны ответственности операторов определяются в соответствии с таблицей 43. Такое распределение зон гарантирует отсутствие влияния на результаты исследования фактора научения оператора, так как каждый оператор работает с разными объектами ЧМИ.

Таблица 43 – Распределение зон ответственности между операторами

	Площадка сепараторов		Площадка подогревателей		Обзорная мнемосхеме	
	ЧМИ 1	ЧМИ 2	ЧМИ 1	ЧМИ 2	ЧМИ 1	ЧМИ 2
Оператор 1	X			X		
Оператор 2		X	X			
Оператор 3	X		X		X	
Оператор 4		X		X		X

13.4.7. Защита доступа к данным

Программными средствами реализуются следующие комплексы по защите информации:

- управление доступом (идентификация - доступ к системе только после ввода идентификатора пользователя);
- регистрация и учет действий в системе.

Данные меры необходимы для защиты разработанных ЧМИ, скриптов, стратегии управления и базы данных от несанкционированного доступа к ним и случайного или намеренного внесения изменений в структуру, алгоритмы, параметры и т.д. или полного удаления разработанного ПО.

Идентификация и проверка подлинности в системе предусмотрена для всех программно-технических средств.

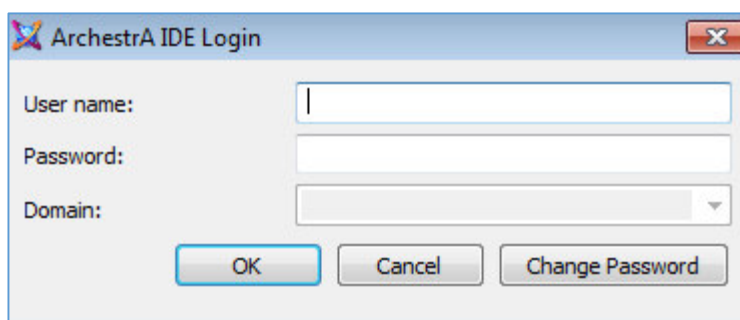


Рисунок 25 – Идентификация при подключению к ArchestraIDE



Рисунок 26 – Идентификация при подключению к ЧМИ

Операторам, принимающим участие в исследовании, разрешается чтение текущих параметров, текущих событий и трендов. Перед началом исследования оператор вводит логин и пароль для доступа к ЧМИ, при этом к базе данных, а также к репозиторию Galaxu у оператора доступа нет. Права распределяются в соответствии с таблицей 44.

Таблица 44 – Субъекты и объекты доступа

	Оператор	Инженер-разработчик
Показания датчиков (уровнемеров, расходомеров, датчиков температуры и др.) на ЧМИ	+	+
Информация о работе запорной арматуры	+	+
Информация о работе других устройств (насосы, мешалки)	+	+
Управляющие воздействия для переключения в режимы автоматического или местного управления	+	+
Управляющие воздействия на задвижки	+	+
Управляющие воздействия, прекращающие работу технологического оборудования при достижении параметрами процессов предаварийных значений	+	+
Архив данных об алармах		+
Корректировка ПО и БД		+

Заключение

При выполнении ВКР был разработан имитационный тренажер технологического процесса, включающий скрипты, имитирующие сигналы оборудования КИПиА разработана имитационную модель технологического процесса с применением оборудования лабораторного стенда, которая включает в себя ПО среднего и верхнего уровней АСУ ТП, разработано несколько видов верхнего уровня (экранных форм) имитационной модели, предложена методика проведения исследования.

Было проведено исследование, в ходе которого получены данные о взаимодействии операторов с традиционным интерфейсом и интерфейсом с ситуационным восприятием информации оператором. На основе анализа полученных данных можно полагать, что теория о снижении времени идентификации аварийной ситуации оператором при переходе на интерфейс с ситуационным восприятием, подтверждается.

Перспективными путями исследования можно считать применение высокоточных математических моделей, имитирующих технологические объекты автоматизации и сбор большего объема статистических данных.

Список литературы

1. Дозорцев В.М. Обучение операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Приборы и системы управления. 1999. №8. 61-70.
2. Кантовиц В., Соркин Р. Человеческий фактор. Т. 4. М., 1991.
3. Голиков Ю. А., Костин А. Н. Психология автоматизации управления техникой. М., 1996.
4. Компьютерные тренажеры в обучении персонала нефтегазовой отрасли // Значение компьютерных систем обучения в нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/26353749-Тема-4-3-kompyuternye-trenazhery-v-obuchanii-personala-neftegazovoy-otrasli.html>
5. Н.И. Котелева, И.Е. Шабловский, А.В. Кошкин Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов в нефтегазовой отрасли: анализ существующих решений и пути их усовершенствования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/kompyuternye-trenazhery-dlya-obucheniya-operatorov-tehnologicheskikh-protseссов-neftegazovoy-otrasli-analiz-suschestvuyuschih>.
6. В.М. Дозорцев Имитационное моделирование как инструмент экспериментально-психологических исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://immod.gpss.ru/files/2011/93.pdf>.
7. В.М. Дозорцев Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов, Москва 2009, из-во Синтег, 372 с.
8. Проблемы организации человеко-машинного интерфейса АСУ ТП АЭС // [Электронный ресурс]/ Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/273057814_Problemy_organizacii_celoveko-masinnogo_interfejsa_ASU_TP_AES.

9. Ситуационное восприятие – современный подход к дизайну НМІ // Автоматизация производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.remmag.ru/upload_data/files/04-2014/Wonderware.pdf.

10. Краевски Д. Ситуационное восприятие. Новый подход к дизайну человеко-машинных интерфейсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wonderware.ru/pdf/Wonderware_WhitePaper_TheNextLeapInHMISituationalAwareness_ru_0314.pdf.

11. Билл Р. Холлифилд Повышаем эффективность НМІ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ua.automation.com/content/povyshaem-jeffektivnost-hmi>.

12. Роль человеческого фактора в техногенной безопасности техносциальных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.sale/risk-menedjment-knigi/rol-chelovecheskogo-faktora-tehnogennoj-53375.html>.

13. ГОСТ 21480-76 «Система «Человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования».

14. ПЗ-04 С-0038 Версия 2.00 Стандарт компании ОАО «НК «Роснефть» Автоматизированные системы управления технологическим процесса нефтегазодобычи. Требования к функциональным характеристикам.

15. Нефтегазовые сепараторы со сбросом воды НГСВ Технопарк [Электронный ресурс] // URL: <http://tehnoeo.ru/product/separ/separato2/>

16. Гидравлический расчет трубопровода. Расчет диаметра трубопровода. Подбор трубопроводов [Электронный ресурс] // URL: <http://www.ence-pumps.ru/truboprovody.php>.

17. Д.П. Кэмпбелл, Динамика процессов химической технологии. М., Госхимиздат, 1962 г., 352 с.

18. Приложение к свидетельству № 57228 об утверждении типа средств измерений // Описание типа средств измерений Системы I/A Series (Foxboro EVO) [Электронный ресурс] // URL: <https://kip-k-s.ru/upload/iblock/2ff/2ff483050d2af4327857f33b8d2954d8.pdf>.

19. Foxboro Evo Process Automation System // Product Specification// Field Control Processor 280 (FCP280) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.schneider-electric.com/en/work/products/industrial-automation-control/foxboro-dcs/controllers-and-network/fcp-280.jsp>.

20. Руководство пользователя ИСР Archestra™// Редакция С Дата пересмотра: 13.09.2005 г. // © 2006 Klinkmann.

21. Руководство по интегрированию InTouch Archestra [Электронный ресурс] // URL: http://old.intouch.su/support/pub/ITAAIntegration_ru_10_300408.pdf.

22. Система I/A Series® Описание блоков интегрированного управления Руководство пользователя Copyright 1990-1999 by The Foxboro Company.

23. Н.О.Фастовец, М.А.Попов Математическая статистика примеры, задачи и типовые задания учебное пособие для нефтегазового образования// Москва 2012.

24. ГОСТ 21.208-2013 Система проектной документации для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах [Электронный ресурс] // URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108003>.

25. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования [Электронный ресурс] // <http://docs.cntd.ru/document/437034924>.

26. Удельная теплота сгорания топлива и горючих материалов // Таблицы [Электронный ресурс] // URL: <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/udelnaya-teplota-sgoraniya-topliva-i-goryuchih-materialov#teplota-sgoraniya-gazoobraznogo-topliva>.

27. Дозорцев В.М., Агафонов Д.В., Назин В.А., Новичков А.Ю., Фролов А.И. (ЗАО «Хоневелл») Компьютерный тренинг операторов: непреходящая актуальность, новые возможности, человеческий фактор // Моделирование ТП и компьютерный тренинг операторов [Электронный ресурс] // URL:

https://www.researchgate.net/publication/282816519_Komputernyj_trening_operat_ orov_neprehodasaa_aktualnost_novye_vozmoznosti_celoveceskij_faktor.

28. Бусленко В.И. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем, -М.: Наука, 1977.

29. ГОСТ Р МЭК 60073-2000 Интерфейс человекомашинный. Маркировка и обозначения органов управления и контрольных устройств. Правила кодирования информации [Электронный ресурс] // URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025202>.

30. ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85) Единая система программной документации СХЕМЫ АЛГОРИТМОВ, ПРОГРАММ ДАННЫХ И СИСТЕМ Условные обозначения и правила выполнения [Электронный ресурс] // URL: <http://cert.obninsk.ru/gost/282/282.html>.

31. Проверка гипотезы о нормальности исходного распределения при помощи критерия согласия Пирсона // Критерий согласия Пирсона [Электронный ресурс] // http://termist.com/bibliot/publik/projekt/10_08_12/10_08_12_04.htm.

Приложения

Приложение А

Development of a simulated DCS model

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бояринова Алена Сергеевна		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. Преподаватель ШБИП	Шепетовский Владимирович	Денис		

1 Introduction

The number of equipment used in modern industrial systems is continuing to grow, the capabilities of control systems to handle more equipment rises, and the demands of industrial systems are driven by the business needs of larger global markets. While the technology has enabled more and more pieces of equipment to be connected into an integrated system, the user interfaces into these systems have not evolved at the same pace to effectively handle this increase. Modern operations teams are using fewer resources to staff these systems and the span of control of an operator is growing while the techniques he utilizes to manage his system were not designed for such volumes of equipment.

The equipment itself is generating more data. In the past, a single transmitter may have generated only a single value that was transmitted to the monitoring system, but modern transmitters have additional diagnostics, onboard control, and many tuning parameters all of which have increased the data density per piece of equipment by multiple orders of magnitude. In many cases the user interfaces that contain this data have not been designed to optimize the operator interpretation of this data and further compounds the operator overload described in the previous section.

Poor quality management of control process causes almost half of all accidents in the processing industries. Therefore, the desire to reduce accidents and increase the reliability and quality of management by all available methods (from technical automation to human factor) is an urgent task for today.

Situation awareness is the method for developing the operator's workstation interfaces are considered, which allow improving the quality of control and reducing the number of emergencies related to the human factor.

2 Control algorithms development

2.1. Archestra

To develop the simulation process, the Archestra IDE is used. Archestra is the program for supervisory control and manufacturing information systems. It is an open and extensible system of components based on a distributed, object-oriented design.

2.2. Strategy

Strategies are objects in Archestra that contain the logic to control a single entity. A strategy consists of one or more interconnected Foxboro Evo blocks and I/O variables that enable connection of the strategy to other control elements. A strategy can also include other strategies connected to blocks or other embedded strategies via their I/O variables.

A strategy is assigned to a compound, which in turn is assigned to a control processor. After the strategies have been configured, the compound and the blocks in the strategy are deployed to the control environment. The strategy, which is a container object used only in Control Editors, is not downloaded to the controller.

Control logic is developed in the Control Editors with the creation of strategies in the Strategy Editor. A strategy consists of interconnected control blocks and I/O variables that enable connection of the strategy to other control elements. A strategy can also include other strategies connected to blocks or other embedded strategies via their I/O variables.

The strategy must be assigned to a compound, the compound to a control processor, and the control processor to an equipment unit, before the blocks in the strategy can be deployed. The strategy is illustrated by the example in Figure 1.

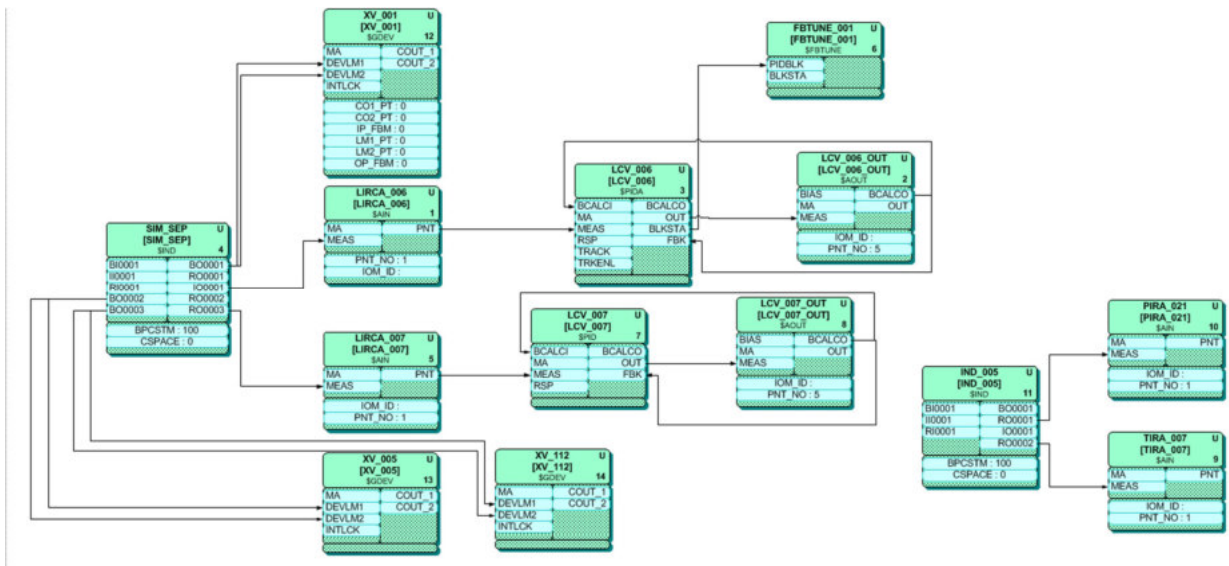


Figure 1 – Strategy of control

The following blocks were used to develop the strategy:

1. The analog input block (AIN) receives an input signal from one point (control object), which can be analog, frequency-pulse or from an intelligent field device type, or from another block, and converts it into a suitable form for application in the control strategy. After performing the validation check, the AIN unit converts the raw channel data into a floating point number in physical units of measurement, in accordance with the configured signal conversion index (SCI), the upper and lower scale values of the physical unit range, and any specified unit conversion or option filtering. This output is a Point (PNT) parameter in the control strategy. Sequence of signal processing: SCI index conversion or piecewise linear signal approximation, scaling in physical units, restriction and filtering.

2. The analog output block (AOUT) provides the ability to output one analog value sent to any FBM or FBC module capable of controlling analog output signals for use in a system management strategy. This unit supports automatic and manual modes of operation, conversion (normalization) of the signal, offset range and balancing of the output signal. The input signal from the parameter MEAS (Measuring signal) is fed to the AOUT unit. This input signal is optionally scaled and shifted using the MSCALE and BIAS parameters. The scaled and biased signal is then modified by adding a reset balance of the output signal balancing that is initialized upon transition from the save state of the last valid value of the MEAS or

BIAS parameter or when the cascade is closed. After initialization, this balancing term is transmitted to each subsequent block processing cycle, so that it attenuates with a response characterized by a first-order delay. After the resulting signal is limited to the operating limits of the HOLIM and LOLIM parameters, it becomes available for use in the control strategy as an OUT parameter.

3. The PIDA controller functions as a PID controller, as well as additional functions. The PIDA controller can be configured with the following values of the control mode parameter to perform various control algorithms:

- P (proportional regulation);
- I (integral regulation);
- PI (proportional-integral regulation);
- PD (proportional differential control);
- PID (PID control);
- NIPID (non-interconnected PID control);
- PITAU (proportional, integral control with delay);
- PIDTAU (autonomous PID control with delay).

The following controller parameters are set manually in the unit settings or adaptively set by the FBTUNE block.

In manual mode ($MA = 0$), the controller does not perform PID control, and the controller output is the parameter to be set. In manual mode, the controller does not adjust OUT2, the computed internal controller output, expressed as a percentage.

In the Auto mode ($MA = 1$), the controller performs the appropriate control mode. In this state, the controller calculates the output command signal in response to the setpoint (r) and the measurement (cf), in accordance with the configured controller mode. The controller generates an integral regulating action using the integral feedback signal (fb), which is back-calculated (fbr) and transmitted via a first-order delay in the positive feedback scheme. The feedback connection (FBK) allows to avoid the integral breakdown of regulation and allows for regulation that is resistant to dynamic changes in the process.

4. The General Device block (GDEV) provides two-position control (Open / Close) of electrical and pneumatic valves, as well as two-position control (Start / Stop) of electric motors.

The unit supports a two-wire configuration using a single sustained output. As a valve open / close controller, the unit supports two-point control (Open / Close) in manual or automatic modes, depending on the status of the MA parameter. In the manual mode, the operator requests the opening / closing of the valve. In the automatic mode, requests to open / close the valve from another unit or task are accepted.

The valve position is controlled by limit switches in fully open and fully closed positions. The state of the motor is controlled by limit switches in fully working and fully stopped states.

2.3. Development of scripts

For the development of scripts used a specialized unit IND. The Independent Sequence (IND) block provides sequential control for regulatory feedback applications at the equipment control level. An IND block can be used to perform a series of activities. Also this block is integrated into the control strategy and allows simulating signals from sensors.

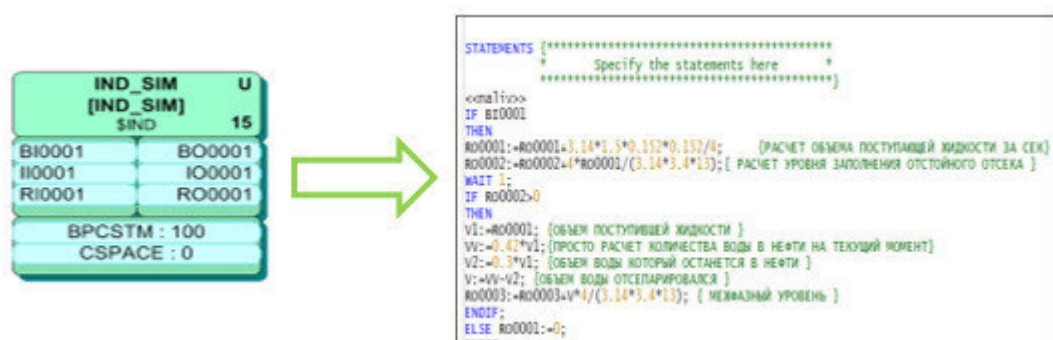


Figure 2 – Unit IND

3 Development of HMI

3.1. Situation awareness

An extremely common method of designing the window layouts of an industrial HMI is to simply replicate the P&ID's and then to provide navigational methods to each P&ID representation. By utilizing the P&ID's the design effort is very low but the issue with this approach is that the P&ID's were not created with the intention of the operations teams achieving the key business goals and as such this design approach rarely does achieve them. Another common approach taken when there is a great deal of information contained within a system is to pack in the content as densely as possible. At first glance this may seem logical but in actuality this approach really only serves to overload the operator. Research has shown that on average a person can process only about four chunks of data at a time.⁶ With this in mind we must use an approach that will allow an operator to scan as few items as possible to determine if an action must be taken. To best achieve this, the system needs to be modeled in a 4 Level hierarchical nature as depicted in Figure 5. The windows in this structure will effectively orient the user to awareness, action, or details depending on the window Level being observed

The top of the structure or Level 1 windows will provide all of the key design elements that will communicate to the operator the information required to attain the projection Level of situational awareness for the key sub-goals identified in the GDTA (performed as part of the GoalOriented Design). Level 1 windows will very rarely look like the actual process but instead will more resemble an information dashboard. The most important aspect of the Level 1 windows is to drive the operator awareness and facilitate a determination of when action or further investigation is required and facilitate access to the Level 2 windows.

Once the Level 1 windows have created the awareness of a need the investigation of what occur, next step is to access the Level 2 window which will enable the operations staff to execute the required action or perform the required investigation. Since the needs of HMI applications vary so widely, the division of awareness and action may be specific to the needs of your system. A common

technique is to design the Level 2 windows as the main operational windows. When designing the Level 2 windows, the operator actions should be strongly considered. The Level 2 windows may contain elements that are recognized as process elements but are not expected to contain every detail. For example if an operator is attempting to execute a system wide start-up procedure, then a specialty Level 2 window should be created that will consolidate all of the information and actions required during start-up on a single window. Far too often the operator is required to move between many windows to execute a process which can be

The Level 3 windows are those that most closely resemble the P&IDs of most systems and therefore the most likely to already be present in existing systems. An example of a Level 3 window is shown in Figure 3 and from there it can be seen that not every physical element such as pipes needs to be included as they rarely offer any valuable information. These windows typically are used in support of the Level 2 displays. For example, if Level 2 displays where process sequences are initiated then the Level 3 display may be used to identify and clear process interlocks. The Level 3 windows will provide access to equipment status for all of the equipment in the scope of the associated Level 2 display. There may be more than one Level 3 display for each Level 2 display.

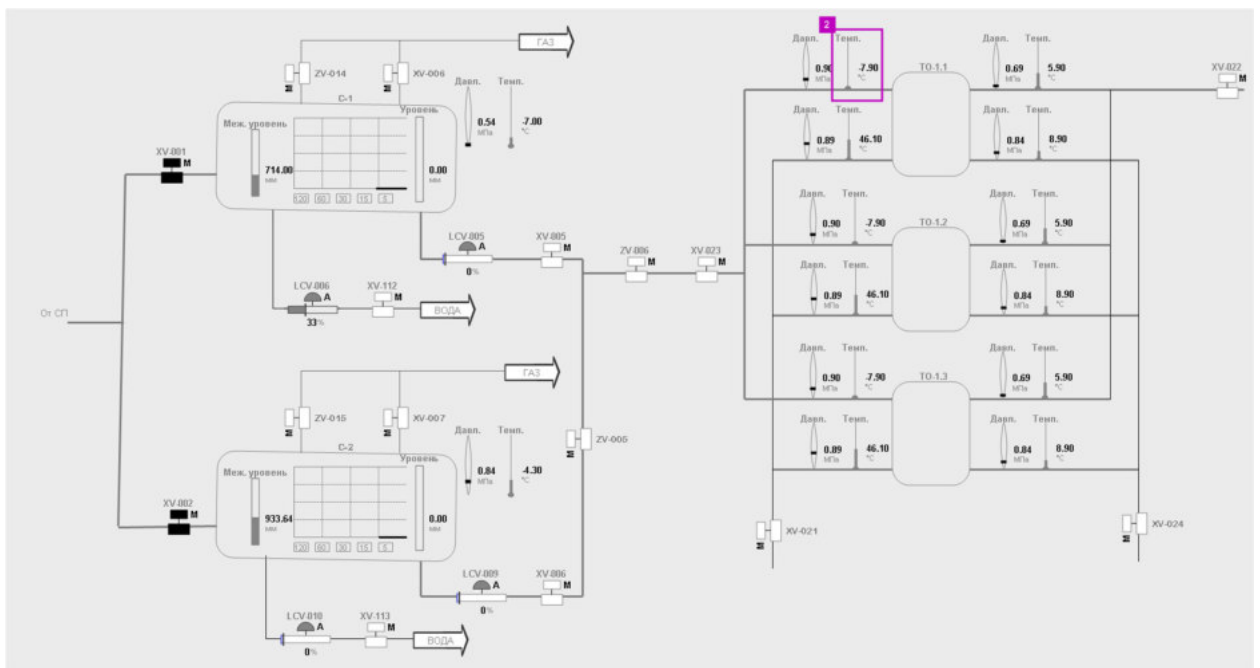


Figure 3 – Level 3 display

There are a variety of activities that can be performed from the Level 3 Windows and the windows that provide the supporting information for those tasks are positioned at Level 4. Typically, these windows provide trend analysis, event analysis, alarm analysis, loop tuning, help/procedural information and a variety of other content. A Level 4 window example containing a combined Alarm Summary and Alarm History window is shown. There may be more than one Level 4 display for each Level 3 display.

When developing color standards for an HMI application, it is very important to exclude its ambiguous use. If one color has several values, then the operator will not be able to unambiguously perceive and evaluate the information. One option is to use an exceptionally gray color to display the process in its normal state and use other colors only to indicate deviations.

4 Technological signaling

Technological signaling is designed to notify employees about the occurrence of violations in the technological process, changes in the composition of operating equipment and detected malfunctions. All technological alarms should be automatically displayed on the screens of the monitors.

Technological signaling should be divided into warning and emergency:

- warning alarm when deviating beyond the established limits of technological parameters;
- warning alarm when the status of automatic control subsystems changes;
- warning alarm for detected faults of various devices;
- alarm signaling at emergency deviations of technological parameters;
- alarm signaling when tripping of technological protections, emergency automatics.

Alarms by definition are events that require an action and as such alarms are a pivotal mechanism for driving operator actions. However, most systems generate an amount of alarms that simply cannot be handled by the operators. In a recent survey 52% of respondents said they do not perform an analysis of their alarm systems to identify its strengths and deficiencies.⁷ It is clear that something needs to be done to improve alarm management. To begin to address this issue, all configured alarms in the system need to be reviewed to evaluate the alarms severity. While it has been commonplace to use a very large number of alarm priorities this practice requires the operator to understand as many as thousands of alarm priorities which is impractical. And under stressful conditions this lack of understanding can directly lead to errors in judgment. The best practices in alarm management recommend the use of at most four severities; critical, high medium and low. These severities define the maximum response time for the alarms as 5 minutes, 30 minutes, 60 minutes, and 120 minutes respectively. These times are a starting point and can be adjusted to fit the needs of the process. If the event does not require an action in the time defined for the low alarm severity then it should be changed to an event and removed

from the alarm list. The configuration of every alarm should be reviewed to ensure that the alarm is only triggered when an operator action is required and minimize the potential for nuisance alarms. It may still be possible for the amount of alarms to be greater than can be processed by an operator so methods must be used to allow an operator to identify which alarms must be actioned. The figures 4-5 show examples of displaying alarms.

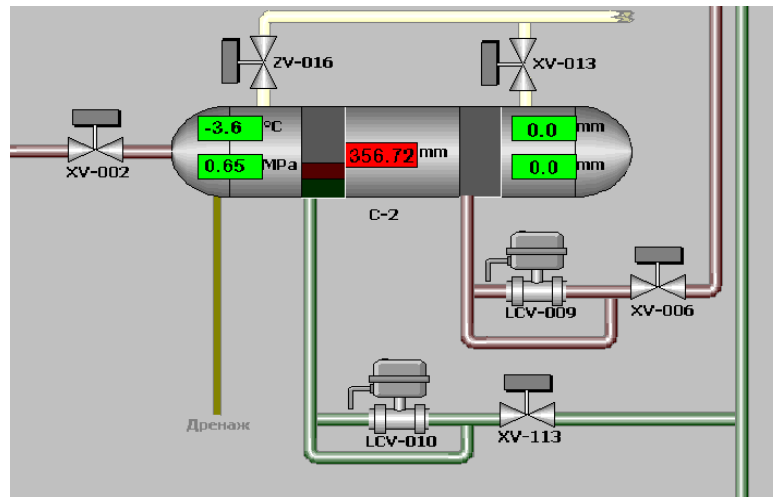


Figure 4 – Alarm at the traditional HMI

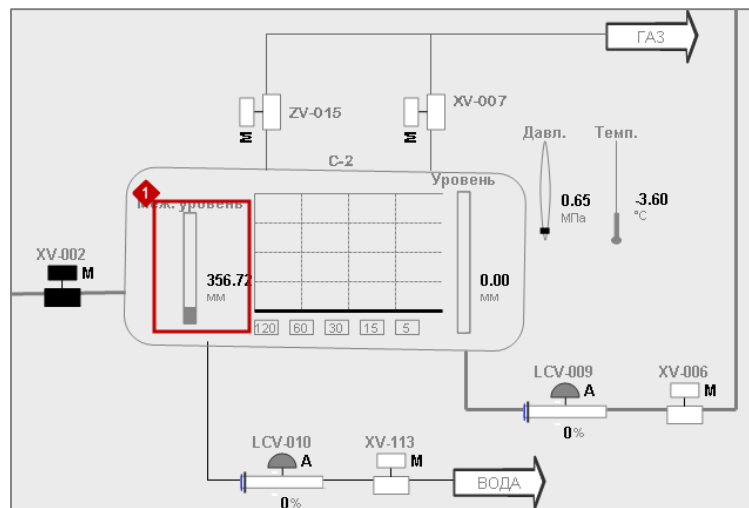


Figure 5– Alarm at the situation awareness HMI

Приложение Б

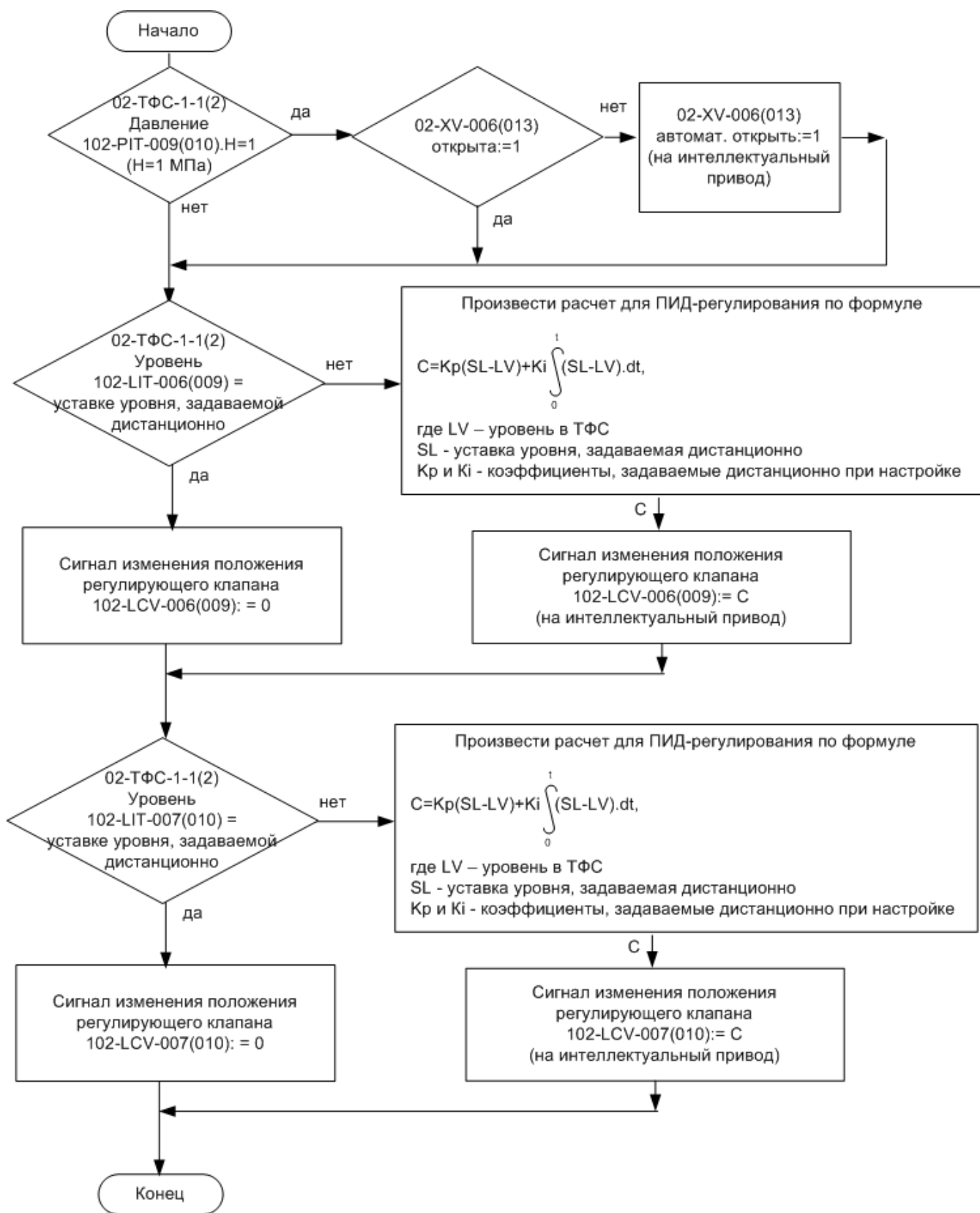


Рисунок 1 – Модуль управления ТФС-1-1,2

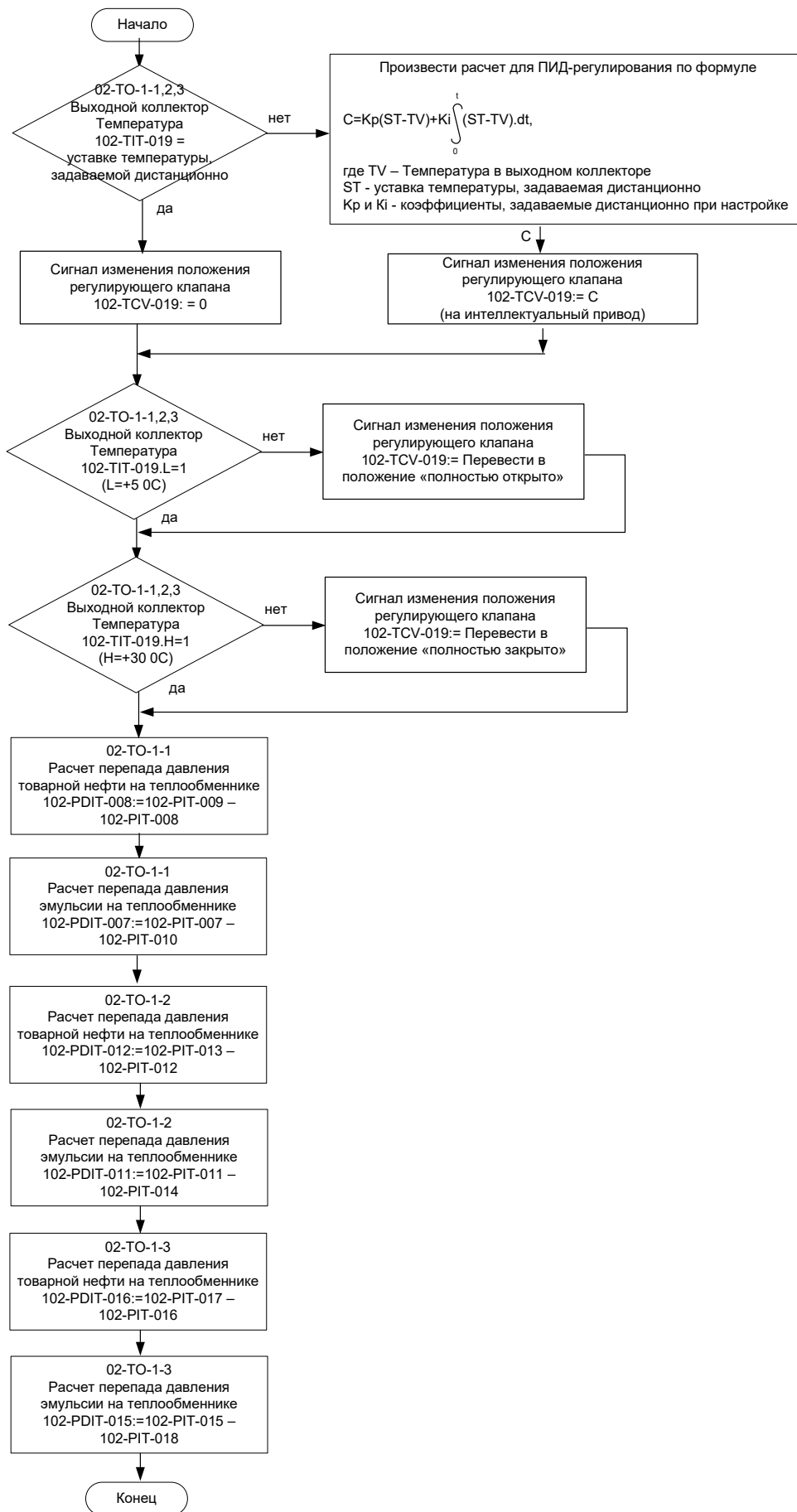


Рисунок 2 – Модуль управления ТО-1-1,2,3

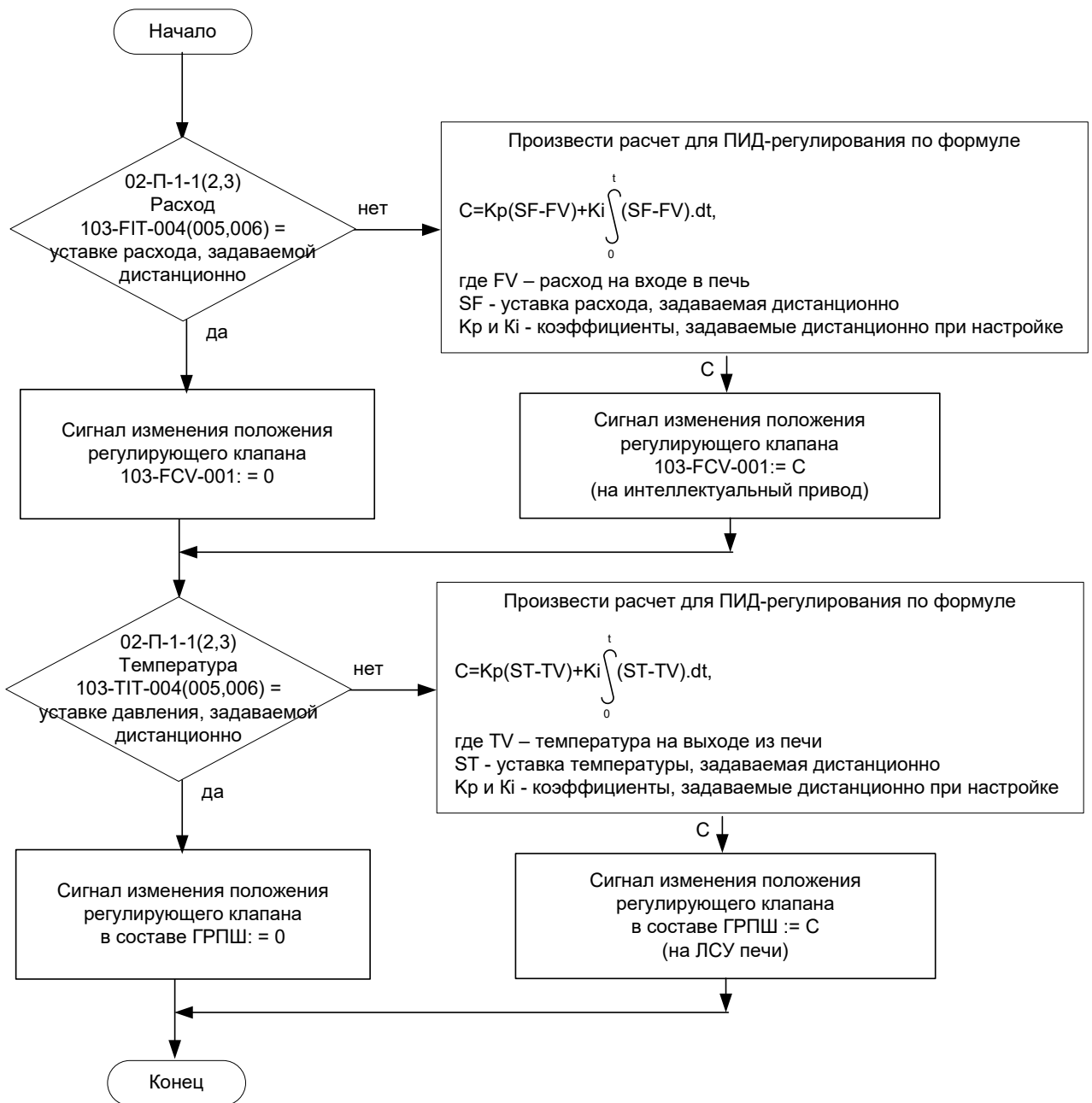
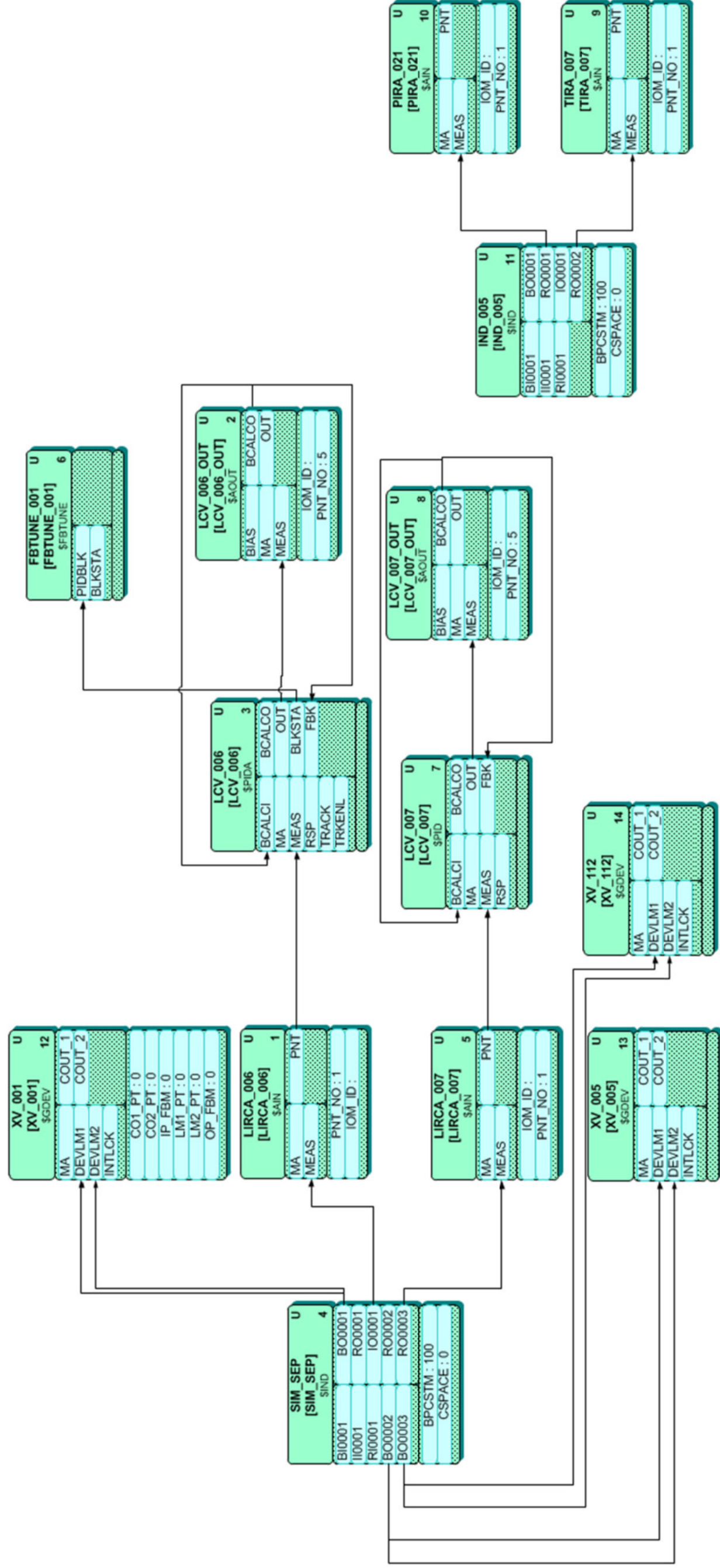


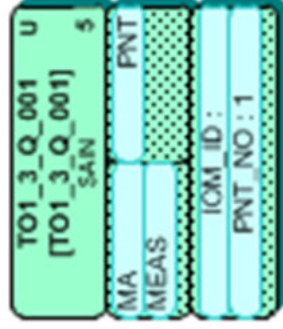
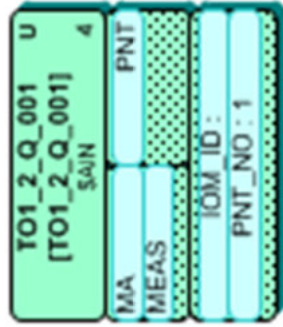
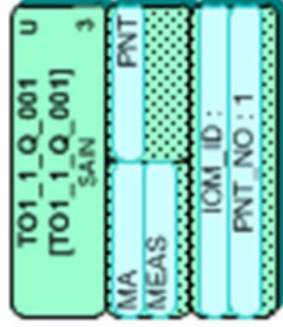
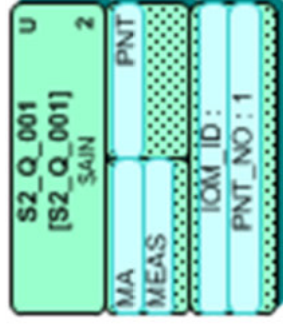
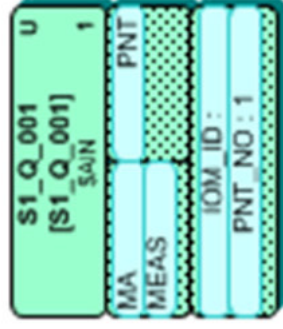
Рисунок 3 – Модуль управления П-1-1,2,3

Приложение В

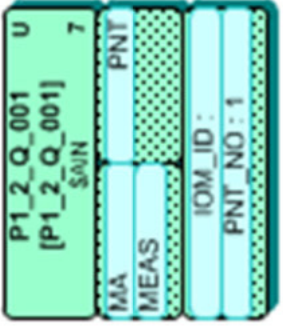
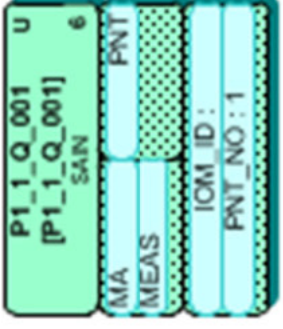


ФЮРА.425280.001.АК.Ч001

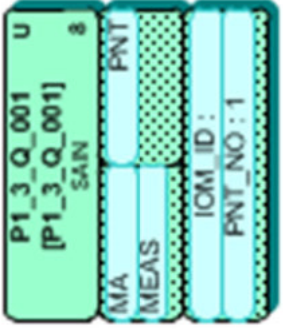
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Бояринова А.С		
		Провер.	Громаков Е.И.	
		Т.контроль		
		Н.контроль		
		УТВ.		
Стратегия управления				
Лит.		Масса	Масштаб	
У				
Лист 1		Листов 10		
Сепаратор ТФС				
ТПУ ИШИТР				



Заказованность
площадки
операторов



Заказованность
площадки
подразделений



ФЮРА.425280.001.АК.Ч002

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бояринова А.С		
Провер.		Громаков Е.И.		
Т. контроль				
Н. контроль				
УТВ.				

Лит.	Масса	Масштаб
У		

Лист 2	Листов 10
--------	-----------

ТПУ	ИШИТР
-----	-------

Стратегия управления

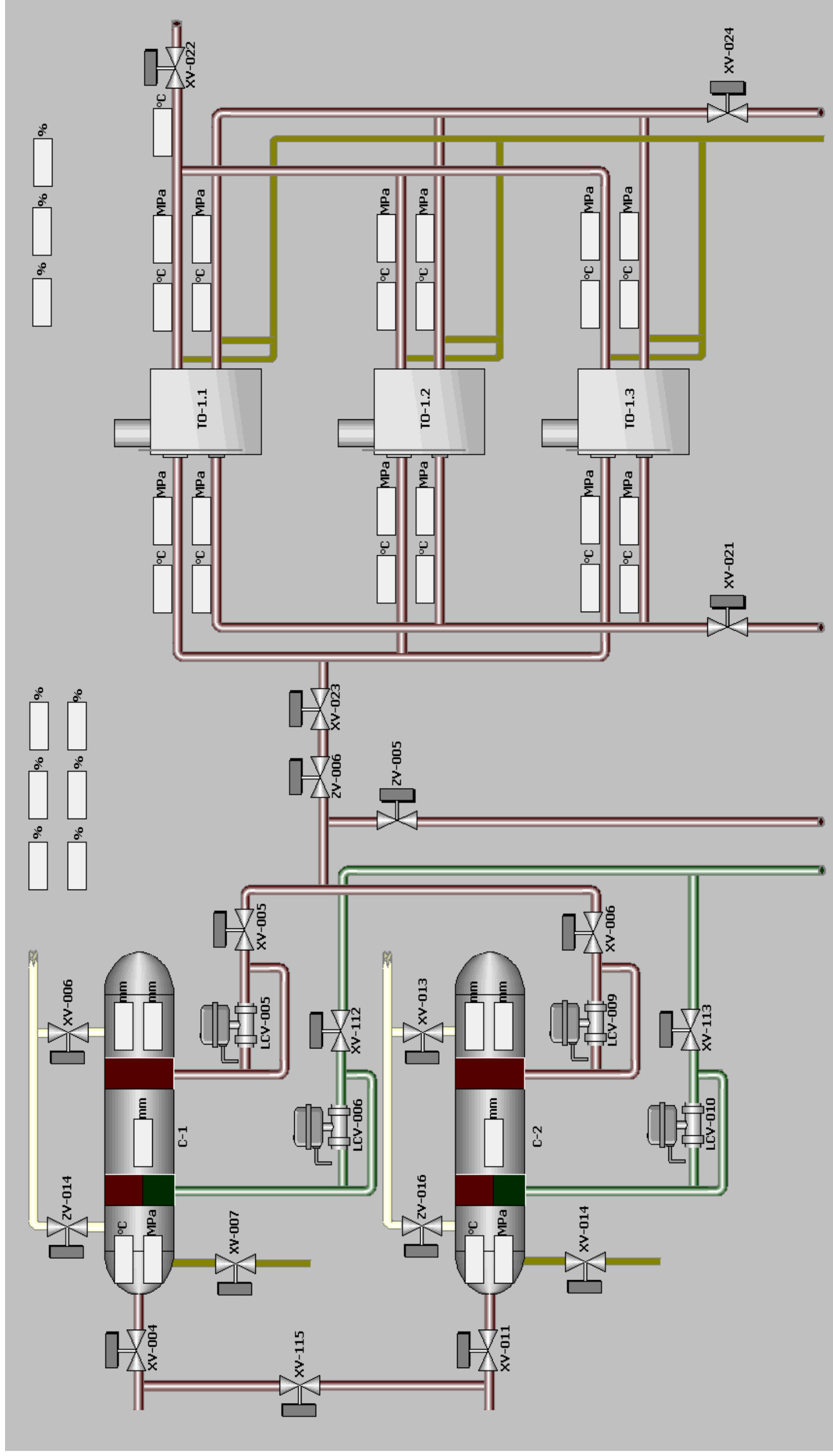
Заказованность на
площадке

Приложение Г



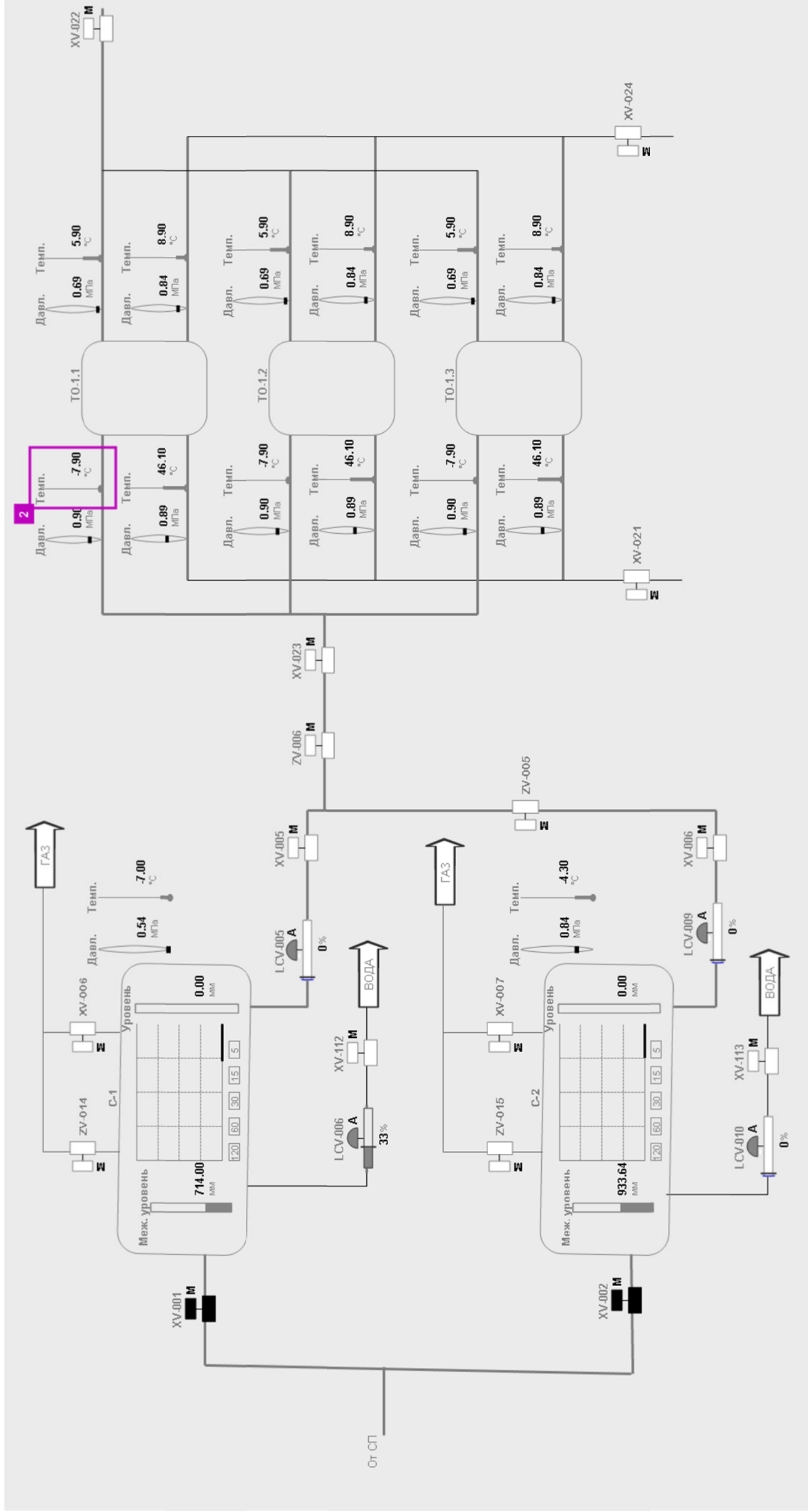
ФЮРА.425280.001.АК.Ч003

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Бояринова А.С		
		Громаков Е.И.		
		Т.контроль		
		Н.контроль		
		Утв.		
Чертеж формы видеокадра мнемосхемы				
Лит.		Масса	Масштаб	
У				
Лист 3			Листов 10	
Обзорная мнемосхема				
ТПУ ИШИТР				



ФЮРА.425280.001.АК.Ч001

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Бояринова А.С		
		Провер. Громаков Е.И.		
		Т.контроль		
		Н.контроль		
		Утв.		
Лит. Масса Масштаб				
У				
Лист 4 Листов 10				
ТПУ ИШИТР				
Чертеж формы видеокадра мнемосхемы				
Площадка сепарации				



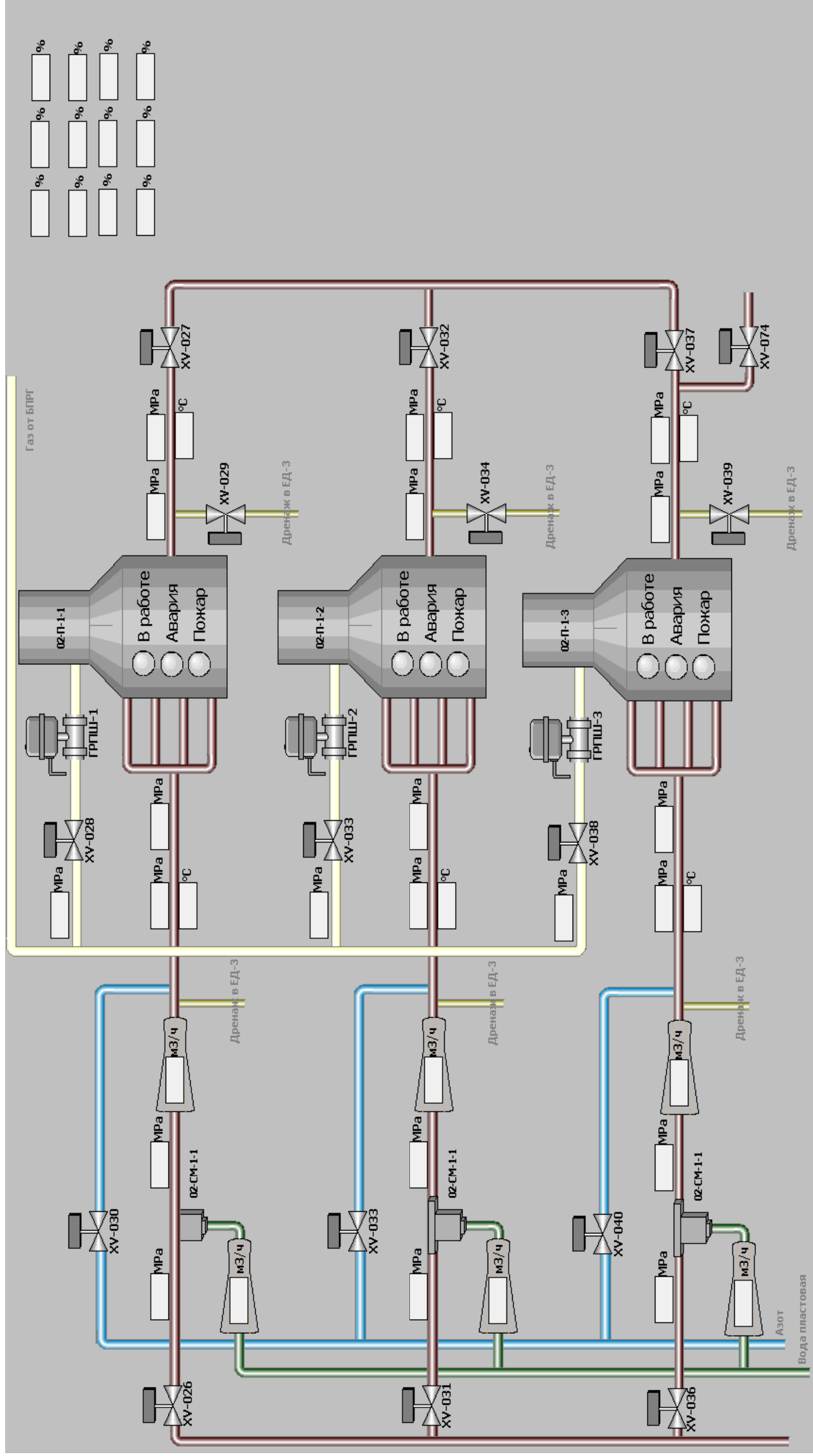
ФЮРА.425280.001.АК.Ч005

Чертеж формы
видеокадра мнемосхемы

Площадка сепарации

Лит.	Масса	Масштаб
У		
Лист 5	Листов 10	
ТПУ ИШИТР		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Бояринова А.С		
		Громаков Е.И.		
		Т.контроль		
		Н.контроль		
		Утв.		



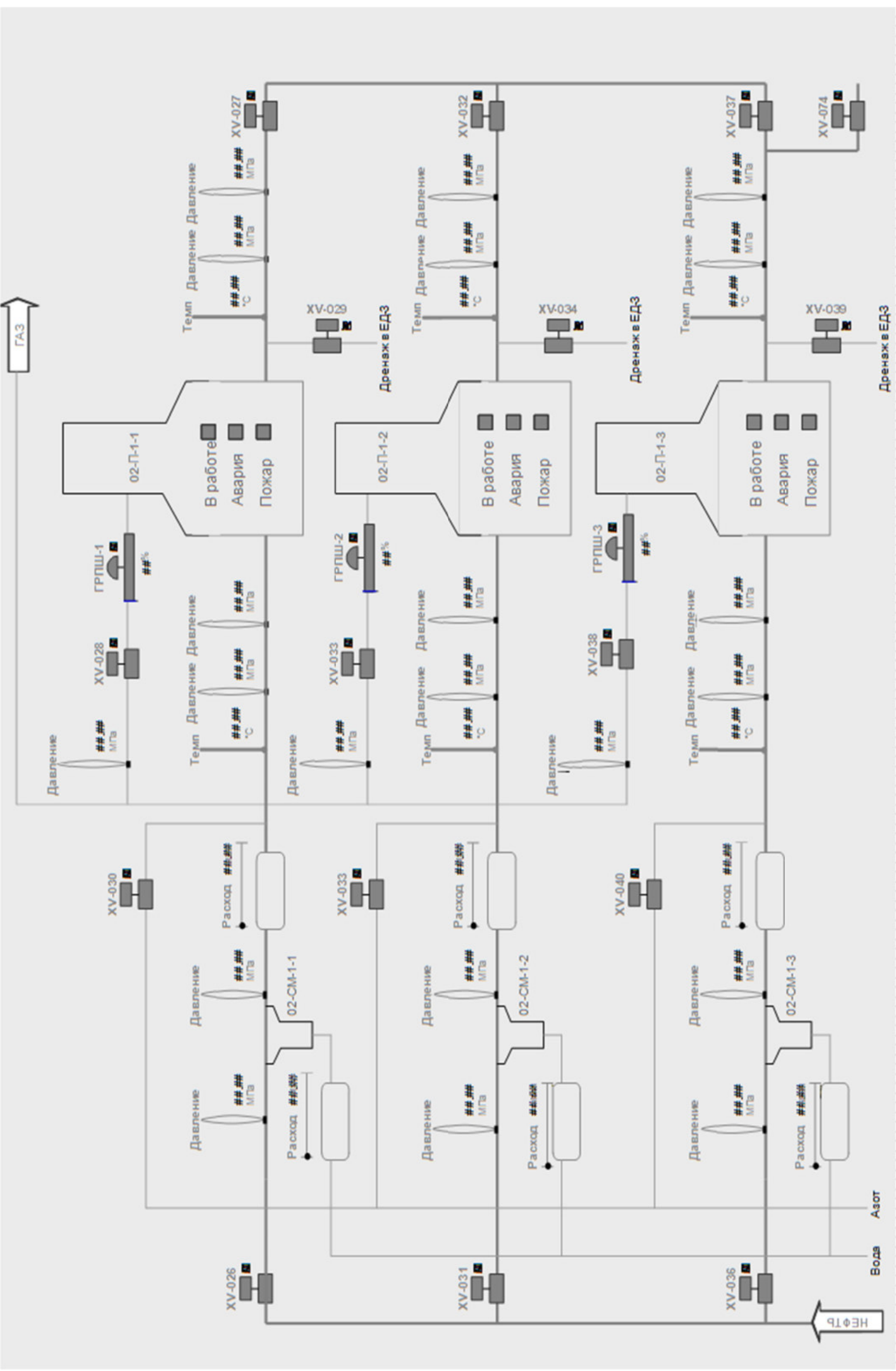
ФЮРА.425280.001.АК.Ч006

Чертеж формы
видеокадра мнемосхемы

Площадка
подогревателей

Лит.	Масса	Масштаб
У		
Лист 6	Листов 10	
ТПУ ИШИТР		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Бояринова А.С		
		Провер. Громаков Е.И.		
		Т. контроль		
		Н. контроль		
		Утв.		



ФЮРА.425280.001.АК.Ч007

Чертеж формы
видеокадра мнемосхемы

Площадка
подогревателей

Лит.	Масса		Масштаб
	У		
Лист 7			Листов 10
ТПУ ИШИТР			

Матрица распределения алармов для мнемосхемы «Площадка нагрева»

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Давление в тр. топливного газа П-1-1					Н															
Перепад давления на змеевике П-1-1	НН																	НН		
Давление перед смесителем СМ-1		Н																		
Давление после смесителя СМ-2													Н							
Перепад давления на змеевике П-1-2						НН														НН
Давление до змеевика П-1-2							Н													
Температура на входе в П-1-1				НН						Н										
Температура на входе в П-1-2			Н												НН					
Температура на выходе П-1-1																	Л			
Температура на выходе П-1-2											Л									
Расход нефтяной эмульсии на входе в П-1-1																				НН
Расход нефтяной эмульсии на входе в П-1-2														НН						
Расход пресной воды на СМ-1																				
Расход пресной воды на СМ-2																	Н			

Приложение Е

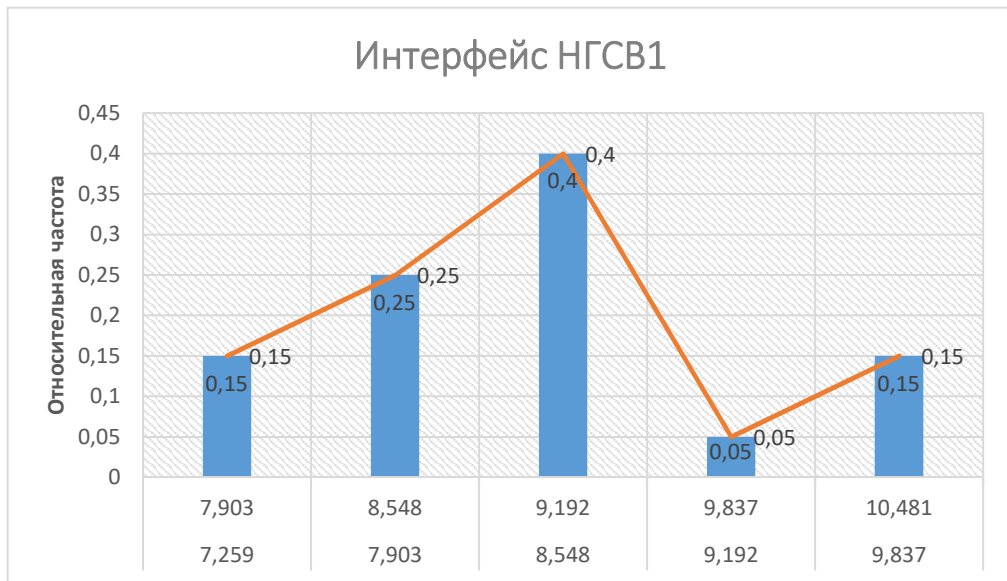


Рисунок 4 – Аварийные события НГСВ1

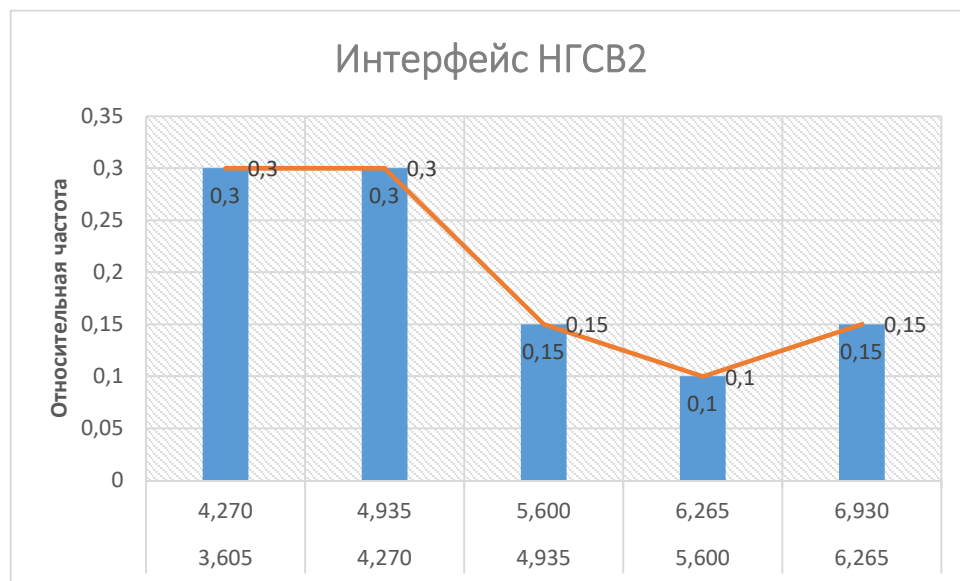


Рисунок 5 – Аварийные события НГСВ2

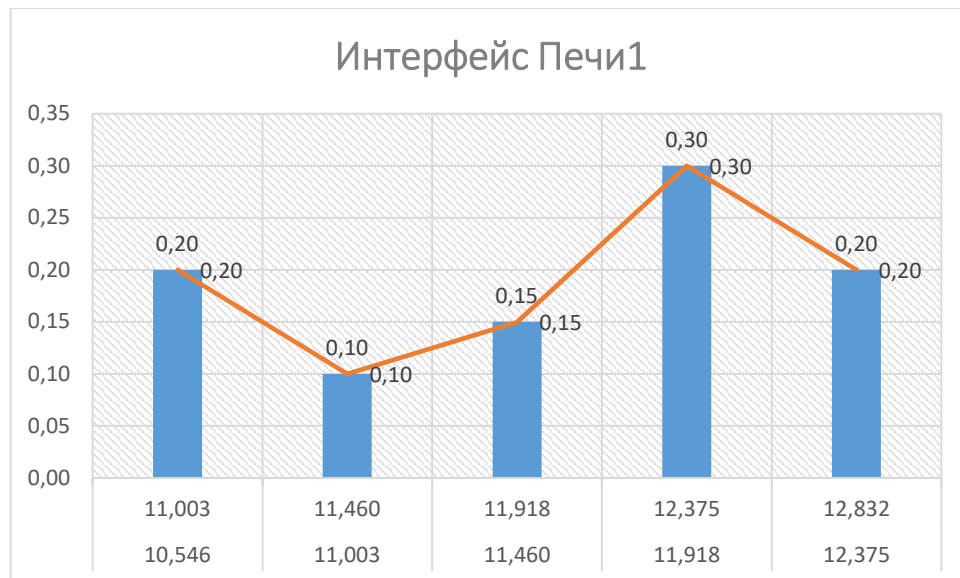


Рисунок 6 – Аварийные события Печи1



Рисунок 7 – Аварийные события Печи2

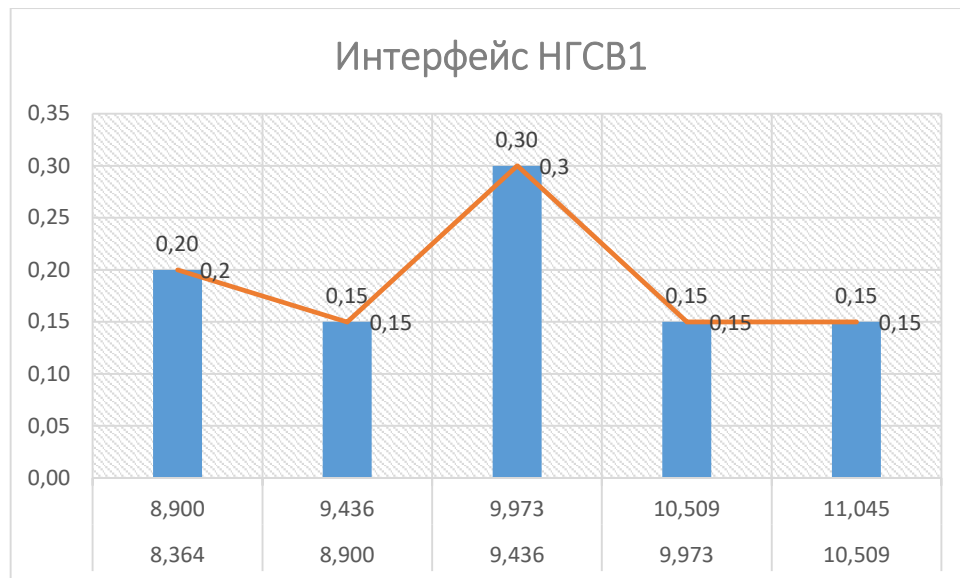


Рисунок 8 – Предупредительные события НГСВ1

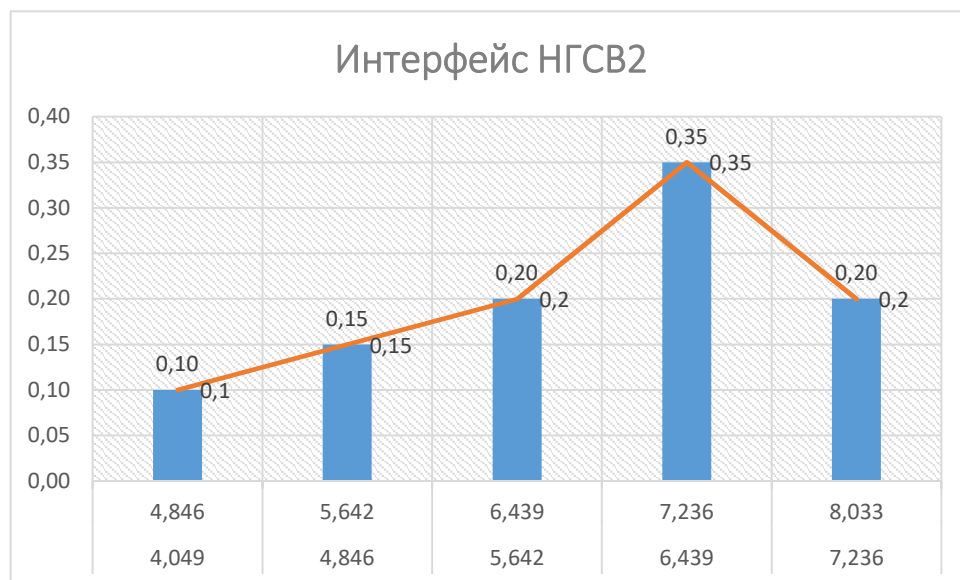


Рисунок 9 – Предупредительные события НГСВ2

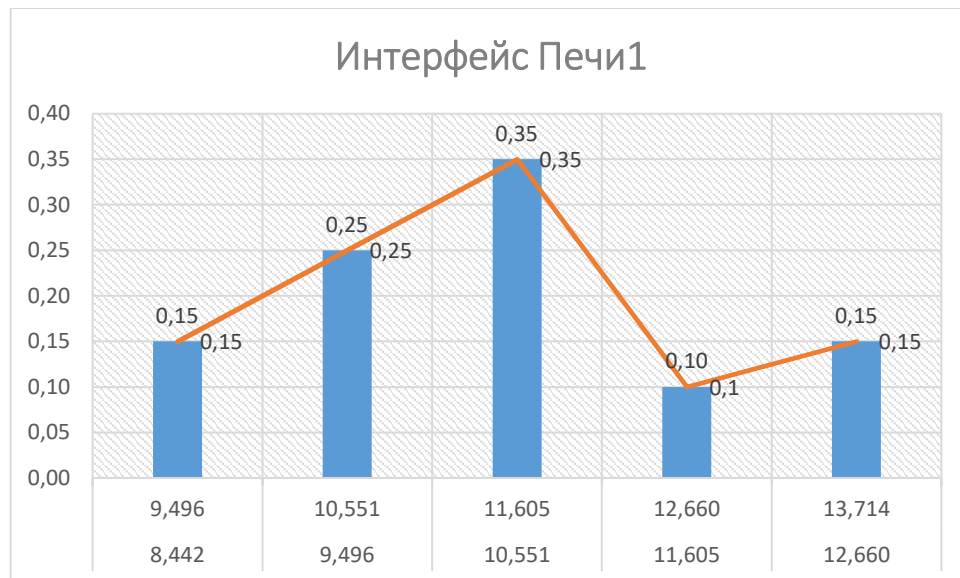


Рисунок 10 – Предупредительные события Печи1

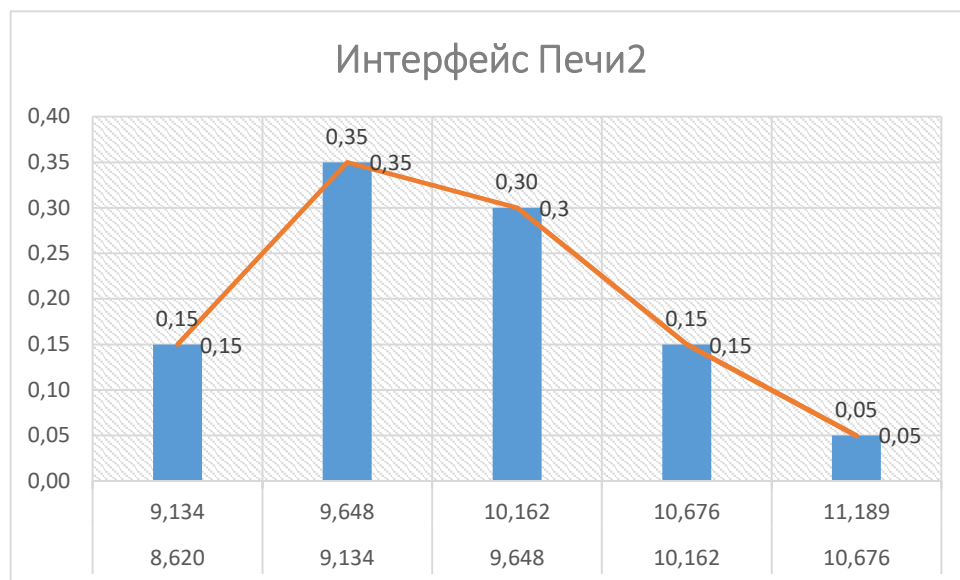


Рисунок 11 – Предупредительные события Печи2