

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



Институт кибернетики
Специальность 220400 Управление в технических системах
Кафедра автоматики и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Проектирование системы автоматизации и контроля узла концентрирования раствора уранилнитрата

УДК 62-52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5А	Юров Антон Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ИКСУ	Леонов С.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. менеджмента	Конотопский В. Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. экологии и БЖД	Извеков В.Н.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Суходоев М.С.	К.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов) Профессиональные и общепрофессиональные компетенции
P1	Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации.
P2	Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники
P3	Применять полученные знания (P1 и P2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами.
P5	Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами
P6	Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими объектами.
P7	Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления

	техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт кибернетики

Специальность 220400 Управление в технических системах

Кафедра автоматики и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой АиКС

_____ Суходоев М.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерская диссертация (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
8АМ5А	Юров Антон Валерьевич

Тема работы:

Проектирование автоматизированной системы управления узла концентрирования раствора уранилнитрата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(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.).</i>	Техническое задание на разработку проекта, включающее технологическую схему объекта автоматизации, параметры технологического контроля, виды блокировок и параметры внешней среды.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(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 работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений в области получения уранилнитрата; исследование и проектирование систем автоматизации технологических процессов; оценка аппаратной и программной надежности спроектированной системы; выполнение разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Извеков Владимир Николаевич</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Денико Роман Викторович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>4 Оценка программной надежности АСУ ТП. Разработка приложения для расчета надежности ПО</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>доцент каф. ИКСУ</p>	<p>Леонов С.В.</p>	<p>К. Т. Н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>8АМ5А</p>	<p>Юров Антон Валерьевич</p>		



Институт кибернетики
 Специальность 220400 Управление в технических системах
 Уровень образования высшее образование
 Кафедра автоматики и компьютерных систем
 Период выполнения осенний /весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
18.02.2017	Описание технологического процесса получения уранилнитрата	15
28.04.2017	Выбор средств контроля и диагностики. Составление функциональной схемы автоматизации.	15
3.05.2017	Расчет аппаратной надежности системы автоматизации. Разработка программы для оценки надежности ПО системы автоматизации.	60
15.05.2017	Раздел «Социальная ответственность»	5
30.05.2017	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ИКСУ	Леонов С.В.	К. Т. Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Суходоев М.С.	К. Т. Н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 224 с., 73 рис., 28 табл., 32 источника, 17 прил.

Ключевые слова: УРАНИЛНИТРАТ, АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, ПЛК, АСУ ТП, ПО.

Объектом исследования является автоматизированная система управления технологическим процессом узла концентрирования раствора уранилнитрата.

Цель работы – создание автоматизированной системы управления технологическим процессом узла концентрирования раствора уранилнитрата.

В процессе исследования проводилось исследование, а также изучение существующих методов оценки аппаратной и программной надежности АСУ ТП. Исследовались условия повышения концентрации раствора уранилнитрата, методы и область применения, характеристики раствора уранилнитрата.

В результате исследования изучены характеристики раствора уранилнитрата, исследованы методы и область применения, а также свойства раствора. Произведена оценка аппаратной надежности АСУ ТП как с применением резервирования, так и без. Разработана программа для оценки программной надежности алгоритмов управления АСУ ТП.

Степень внедрения: не внедряется на данном этапе.

Область применения: химическая технология, производство топлива для АЭС.

Экономическая эффективность работы заключается в сокращении числа рабочих при внедрении АСУ ТП, уменьшение ошибок человеческого фактора, уменьшение себестоимости продукции.

В будущем планируется внедрение в неавтоматизированное производство разработанной АСУ ТП.

Обозначения и сокращения

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ИО – исполнительный орган;

ПО – программное обеспечение;

ОУ – объект управления;

СФС – структурно-функциональная схема;

ПЛК – программируемый логический контроллер.

Оглавление

Введение	14
1 Описание технологического процесса	15
Исходные данные к проектированию	15
1.1 Техническое задание на проектирование	17
1.2 Основные свойства уранилнитрата	18
1.3 Экстракция уранилнитрата	19
1.4 Концентрирование раствора уранилнитрата	20
1.5 Усовершенствование процесса концентрирования раствора уранилнитрата	22
2 Основные требования к информационной системе. Выбор средств контроля и диагностики. Функциональная схема автоматизации	24
2.1 Структурная схема автоматизации	24
2.2 Функциональная схема автоматизации	25
2.3 Выбор контроллера управления	29
2.4 Контроллер Siemens SIMATIC S7-1500	33
2.4.1 Состав аппаратуры и конструктивные особенности	34
2.4.2 Центральные процессоры	35
2.4.3 Инновации в STEP 7	38
2.4.4 Системная диагностика	39
2.4.5 Защита информации	39
3 Оценка аппаратной надежности АСУ ТП. Расчет аппаратной надежности спроектированной АСУ ТП	42
3.1 Надежность оборудования АСУ ТП	42
3.1.1 Показатели безотказности системы	43
3.1.2 Основные законы распределения случайных величин используемые в теории надежности	45
3.1.3 Основные этапы расчета надежности элементов и систем	50
3.1.4 Метод структурной схемы надежности	52
3.1.5 Метод перебора состояний	53

3.1.6 Преобразование с эквивалентной заменой треугольника в звезду	54
3.1.7 Преобразование с помощью разложения сложной структурной схемы по базовому элементу	54
3.1.8 Сравнительная оценка методов расчета надежности АСУ ТП	55
3.2 Расчет показателей надежности АСУ ТП методом структурной схемы	57
3.2.1 Контур контроля давления (на отводе пара из конденсатора А-3-1, ЩТК1)	58
3.2.2 Контур контроля температуры в конденсаторе А-3-1 (ЩТК1)	61
3.2.3 Контур регулирования температуры стенки трубопровода на подаче расплава (ЩТК1)	63
3.2.4 Контур регулирования давления нагнетания насоса-дозатора А-6 (ЩТК1)	66
3.2.5 Контур регулирования расхода расплава насоса-дозатора А-6 (ЩТК1)	68
3.2.6 Контур регулирования уровня плава в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)	70
3.2.7 Контур регулирования давления в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)	72
3.2.8 Контур регулирования температуры плава в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)	75
3.2.9 Контур регулирования уровня плава в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)	77
3.2.10 Контур регулирования температуры стенки в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)	79
3.3 Метод последовательного перебора состояний системы	81
3.3.1 Контур контроля давления (на отводе пара из конденсатора А-3-1, ЩТК1)	81
3.3.2 Контур контроля температуры в конденсаторе А-3-1 (ЩТК1)	83

3.3.3	Реализация метода последовательного перебора системы на языке C++	84
4	Оценка программной надежности АСУ ТП. Разработка приложения для расчета надежности ПО	87
4.1	Понятие надежности программы	87
4.1.1	Классификация моделей надежности ПО	88
4.1.2	Непрерывные динамические модели	89
4.1.3	Дискретные модели	95
4.1.4	Статические модели	98
4.1.5	Эмпирические модели	100
4.1.6	Оценка моделей, применяемых для расчета надежности ПО	101
4.2	Разработка программы по оценке надежности ПО	103
4.2.1	Разработка программы	103
4.2.2	Алгоритм работы программы	104
4.2.3	Разработка макета приложения	104
4.2.4	Руководство пользователя	106
5	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	108
5.1	Организация и планирование работ	108
5.1.1	Продолжительность этапов работ	110
5.2	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	115
5.2.1	Расчет затрат на материалы	116
5.2.2	Расчет заработной платы	117
5.2.3	Расчет затрат на социальный налог	118
5.2.4	Расчет затрат на электроэнергию	118
5.2.5	Расчет амортизационных расходов	119
5.2.6	Расчет прочих (накладных) расходов	120
5.2.7	Расчет общей себестоимости разработки	120
5.2.8	Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР	121
5.3	Оценка экономической эффективности проекта	121

5.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР	122
6 Раздел «Социальная ответственность»	126
Аннотация	126
Введение	126
6.1 Производственная безопасность	127
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	127
6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при <i>внедрении объекта</i> исследования	128
6.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)	129
6.2 Экологическая безопасность	143
6.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	143
6.2.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду	144
6.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	144
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	145
6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	145
6.3.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований	147
6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	148
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	151
6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	151
6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	154
Заключение	160
Список использованных источников	162
Приложение А_Параметры технологического контроля	166

Приложение Б_Функциональная схема автоматизации	168
Приложение В_Структурная схема автоматизации	169
Приложение Г_Блок-схема алгоритма технологического процесса	170
Приложение Д_Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом	173
Приложение Е Измерение и сигнализация уровня	178
Приложение Ж_Приборы для измерения давления	180
Приложение И_Измерение расхода	185
Приложение К_Регистратор уровня «Экограф-Т» А1В3ВДА1	188
Приложение Л_Терморегулятор Е5СС-QХ3А5М-003	191
Приложение М_Цифровой измеритель температуры ЦИ5003Б/2	192
Приложение Н_Нагреватель ХН 2 ПХН-70, 0-33	194
Приложение П_Сравнительный анализ методов расчета ПО	195
Приложение Р_Алгоритм расчета надежности методом последовательного перебора	198
Приложение С_Алгоритм расчета для оценки надежности ПО	199
Приложение Т_Результат расчета ПО	202
Приложение У Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке	206

Введение

Автоматизированные системы управления технологическими процессами играют основную роль в плане повышения производительности труда, сокращения расхода и материалов, улучшения качества продукции, улучшения организации производства, а также внедрения прогрессивных методов управления производством. Данные системы повышают безопасность работы установок, снижают аварийность на производстве, повышают коэффициент полезного действия, а также другие технико-экономические показатели производства.

Развитие автоматизации подразделяется на четыре этапа:

Первый этап – механизация труда (замена человека на машины для работ требующих больших физических усилий).

Второй этап – автоматизация контроля производства, характеризуется созданием и применением приборов, выполняющих функции наблюдения за ходом технологического процесса.

Третий этап – автоматизация управления отдельными агрегатами, то есть частичная автоматизация производства.

Четвертый этап – комплексная автоматизация производственных процессов.

АСУ ТП выполняют следующие функции:

- обработка информации;
- автоматическое регулирование параметров;
- дистанционное и автоматическое управление машинами, агрегатами, а также сигнализация их состояния;
- контроль параметров технологических процессов;
- обеспечение безопасной эксплуатации технологического оборудования;
- оптимизация технологических процессов.

1 Описание технологического процесса

Исходные данные к проектированию

Уран извлекают из урановых руд, насыщенных ураном в концентрации от 0,05-0,5% U. Для извлечения урана, из руды необходимо получить концентрат. Руды выщелачивают с применением растворов серной, азотной кислот или же с помощью щелочного раствора. В растворе, полученном при помощи выщелачивания, всегда содержатся примеси других металлов. Уран отделяют от них, используя различия в их окислительно-восстановительных свойствах. С процессами ионного обмена и экстракции также сочетают окислительно-восстановительные процессы [1].

Уран извлекается из полученного раствора в виде оксида или тетрафторида UF_4 методом металлотермии:



Извлеченный уран в незначительных количествах содержит примеси, такие как: бор, кадмий, а также некоторые другие элементы, называемые реакторными ядами. Данные элементы, при работе ядерного реактора, поглощают образующиеся нейтроны, что делают дальнейшее использование урана непригодным в качестве ядерного горючего.

Для того чтобы избавиться от примесей, металлический уран растворяют в азотной кислоте, получая тем самым уранилнитрат $UO_2(NO_3)_2$. Уранилнитрат при помощи трибутилфосфата экстрагируют из водного раствора. После чего очищенный продукт из экстракта переводят в оксид урана или в тетрафторид, из которых в дальнейшем получают металл.

Оксиды урана, такие как: диоксид урана (UO_2), закись-окись урана (U_3O_8) и триоксид урана (UO_3), представляют собой важнейшие соединения урана в технологическом отношении. Диоксид находит свое применение при изготовлении тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) для ядерных реакторов. Главными факторами, обуславливающими применение диоксида урана, в

качестве ядерного топлива являются его высокая стойкость к термической обработке, относительная инертность, устойчивость к ионизирующему излучению. [1].

Диоксид урана наряду с закисью-окисью урана используется как исходный продукт для производства металлического урана. В данном случае шихту изготавливают из оксидов урана, металлического кальция и флюсующих добавок таких как хлорид кальция. После процедуры восстановления порошкообразный уран отмывается от примесей, прессуется и обжигается при высоких температурах до компактного металла.

Закись-окись урана и триоксид урана являются промежуточными продуктами при производстве диоксида урана, тетрафторида урана, гексафторида урана, а также металлического урана. Кроме того, закись-окись урана и триоксид урана используется для длительного хранения уранового продукта вследствие высокой стабильности вышеперечисленных оксидов при обычных условиях.

Наиболее часто все технологические операции по получению оксидов урана проводят после процесса аффинажа урана. Поскольку наиболее распространенным методом очистки является процесс экстрагирования с применением трибутилфосфата, в конечном итоге получается очищенные от примесей, раствор уранилнитрата, [2].

Для того чтобы получить оксид урана из азотнокислого раствора необходимо, осадить уран, в виде перекиси уранила, оксалата уранила, уранилтрикарбоната аммония, а также ураната аммония с последующей прокалкой до оксидов урана. В вышеперечисленных случаях, данные соединения, прокалывают на воздухе, в результате чего получают высшие оксиды урана, такие как: триоксид урана (температура прокалывания 400-450 °С), а также закись-окись урана. Полученные при данных процессах высшие оксиды урана до диоксида урана восстанавливаются с использованием водорода. Если на аффинаже достигнута необходимая чистота урана от примесей, то возможно

получение высших оксидов урана при помощи прямого термического разложения гексагидрата уранилнитрата[2].

От методов получения двуокиси урана, существенно зависят ее свойства, а такие свойства, как структура продукта, отношение O/U, удельная проводимость и активность порошков при спекании, являются решающими при использовании оксида урана при изготовлении топливных элементов для ядерных реакторов[3].

1.1 Техническое задание на проектирование

Имеется неавтоматизированный узел концентрирования раствора уранилнитрата с последующей подачей на форсунку плазмотрона. Раствор уранилнитрата используется в качестве одной из стадий по очистке уранового продукта от примесей.

Существует необходимость в создании автоматизированной системы управления технологическим процессом узла концентрирования раствора уранилнитрата.

Необходимо выполнить выбор датчиков контроля технологических параметров, а также выполнить регулирование расхода раствора уранилнитрата при подаче на форсунку плазмотрона. Данный параметр один из важнейших, поскольку предполагается равномерная подача раствора уранилнитрата на форсунку, неравномерная подача раствора может повлиять на качество раствора, а также привести к возникновению опасных и аварийных ситуаций при эксплуатации. Кроме того, необходимо оценить аппаратную надежность спроектированной АСУ ТП, при необходимости произвести повышение надежности системы. По возможности сократить время технологического процесса повышения концентрации уранилнитрата в растворе. Изучить материал по созданию и получению уранилнитрата, если существует возможность ускорения и улучшения технологического процесса, изменяя при этом некоторые технологические параметры или величины, то воспользоваться этим и описать, что было изменено и усовершенствовано.

Автоматизация производства должна быть выполнена с использованием контроллера, который поддерживает возможность работы со SCADA-системой, имеет HMI, имеет характеристики и возможности для подключения панели оператора, также имеет несколько интерфейсов подключения. Возможность подключения к OPC серверу является обязательным. Кроме того, необходимо разработать приложение для оценки программной надежности алгоритмов управления применяемых в контроллере.

Параметры технологического контроля указаны в приложении А данной диссертации.

1.2 Основные свойства уранилнитрата

Уранилнитрат эффективно растворяется в воде, а также во многих органических растворителях, что позволяет осуществлять операции его экстрагирования из азотнокислых растворов. Уранилнитрат лучше всего растворяется в спиртах, эфирах, а также в кетонах. Уранилнитрат находится в органических растворах в виде сложной молекулы. Двухзарядный уранил-ион образует соединение с заряженными ионами нитрата. Поведение двухзарядного уранил-иона может быть предсказано, поскольку незаряженные соединения являются гораздо более устойчивыми, чем ионы, в средах с низкими диэлектрическими постоянными, например, в таких, как органические жидкости. Экстрагированный уранилнитрат с органическим экстрагентом образует комплексы, состав которых как правило неизвестен. Степень их комплексообразования может быть различна, но обычно на один атом урана, присоединяется от 2-4 молекул органического вещества. Некоторое количество воды, как правило также экстрагируется совместно с уранилнитратом, поскольку многие органические жидкости растворяют уранилнитрат только в присутствии воды. Уранилнитрат $UO_2(NO_3)_2$ в виде гексагидрата, кристаллизуется из водных растворов. При выдерживании его над серной кислотой в вакууме сначала отщепляются три молекулы воды, после чего еще одна. Тригидрат уранилнитрата получается также путем высушивания гексагидрата и

перекристаллизации его из азотной кислоты. При протекании процесса нагрева тригидрата уранилнитрата в токе двуокиси углерода, в присутствии паров азотной кислоты через 3 часа образуется $UO_2(NO_3)_2$, а через 12 часов – H_2O . Очищенный уранилнитрат, полученный в результате проведения данного процесса, как правило, не имеет примесей и может быть использован для производства ядерного топлива[3].

1.3 Экстракция уранилнитрата

Уранилнитрат хорошо подвергается экстракции многими растворителями, что находит свое применение как в аналитической химии, так и в производстве урана и плутония. Его степень извлечения из раствора возрастает с увеличением кислотности среды, а также с увеличением концентрации высаливателей - нитратов. К экстрагентам, наиболее широко применяющимся для экстракции уранилнитрата относятся: диэтиловый эфир, гексон, а также трибутилфосфат[4].

Раствор уранилнитрата подвергается экстракции растворителем, после чего из органического растворителя извлекается раствор очищенного уранилнитрата, полученный твердый уранилнитрат разлагается прокаливанием до UO_3 , после чего UO_3 восстанавливается до UO_2 . Вследствие радиоактивности облученного горючего регенерацию необходимо вести дистанционно с использованием защиты. В результате выполнения всех стадий технологического процесса происходит полная очистка от радиоактивных загрязнений, позволяющая непосредственно вести дальнейшие манипуляции. Для того чтобы получить из различных видов горючего более или менее стандартные растворы нитратов для экстракции растворителем, применяют операции предварительной обработки, которые зависят от состава оболочки и горючего. Отмывка уранилнитрата от трибутилфосфата, а также вывод остаточных продуктов деления и продуктов разложения трибутилфосфата осуществляются при помощи водных растворов гидроксида натрия, соды,

азотной кислоты и других реагентов. Кроме того используется метод водопаровой дистилляции. Реэкстракция очищенного уранилнитрата из органической фазы в водную фазу производится с повышением температуры до 60 – 70° С. При перексидном осаждении уран освобождается от бора, никеля, кобальта, редкоземельных элементов, хрома, марганца, меди. Получаемый при этом пероксид урана $UO_4 \cdot 2H_2O$ после фильтрации и промывки прокаливается. При высокой концентрации в водной фазе нитрат-иона обычно наблюдается значительная экстракция уранилнитрата из водного раствора. Для того чтобы осуществить частичный переход урана в органическую фазу необходимо тщательно перемешать водный раствор уранилнитрата с определенными органическими жидкостями или органическими соединениями, растворенными в инертных органических растворителях. При малых концентрациях в органической фазе уранилнитрата наряду с малым количеством сольватов уранилнитрата возможно существование менее прочных сольватов азотной кислоты. Как правило, раствор уранилнитрата после экстракционной очистки освобождается от реакторных ядов, однако для достижения более полной очистки используют осаждение перекиси урана. После промывки в осажденной перекиси содержится не более 10^{-4} % относительно безопасных примесей[4].

1.4 Концентрирование раствора уранилнитрата

Для концентрирования растворов уранилнитрата применяется различный тип оборудования, который зависит от конкретных заводских условий, а также начальной концентрации раствора, поступающего на выпаривание. Концентрация уранилнитрата в растворе поступающем с предшествующей стадии процесса колеблется от 90 до 280 г. л в пересчете на уран. Для упаривания данных растворов применяют как правило два типа аппаратов: вертикальные трубчатые выпарные аппараты и испарительные чаны, которые обогревают внутренние паровые змеевики. Некоторые заводы используют только один тип выпарных аппаратов, на других применяются последовательно оба типа. В

каждом случае работа выпарного аппарата или испарительного чана постоянно контролируется, для того чтобы температура кипения отвечала необходимой концентрации уранилнитрата, для нормальной работы на операции денитрации [5].

На узел концентрирования поступают растворы уранилнитрата с содержанием урана от 90 до 280 г. на 1 л. Содержание свободной азотной кислоты в данном случае может варьироваться в пределах от нуля до 0,05 моль/л. Для упаривания исходного раствора уранилнитрата используют вертикальные трубчатые выпарные аппараты, в которых предусмотрен обогрев с использованием внутренних тэнов. Работу каждого технологического аппарата участвующего в процессе необходимо постоянно контролировать по температуре кипения раствора для получения концентрации уранилнитрата, которая необходима для операции денитрации. Данная температура находится в пределах от 120 до 143 °С. 120 °С соответствует раствор, в котором содержание урана примерно 1175 г/л, 143 °С соответствует раствор с концентрацией урана около 1500 г/л.

Температура начала кристаллизации более концентрированного раствора составляет приблизительно 116 °С, а наименее концентрированного раствора – 60 °С. Поэтому всю систему подачи раствора уранилнитрата следует обогревать паром для исключения возможности затвердевания уранилнитрата в трубопроводах. Все трубопроводы смонтированы под наклоном, для того чтобы при необходимости был обеспечен слив раствора, а также промывка трубопроводов сильной струей воды.

До подачи концентрированного раствора уранилнитрата на денитрацию, раствор следует хранить в обогреваемой емкости. Аппараты концентрирования изготовлены из нержавеющей стали.

Отходящие пары и газы сначала конденсируют, после чего проверяют их на наличие урана, при наличии в конденсате определенного количества урана, растворы возвращают на упаривание. При наличии азотной кислоты в конденсате, его также возвращают в процесс, конденсат, не содержащий уран и

азотную кислоту, используют в качестве раствора для проведения процесса рекстракции урана из трибутилфосфата.

1.5 Усовершенствование процесса концентрирования раствора уранилнитрата

Выше был описан процесс повышения концентрации раствора уранилнитрата, а также устройства и параметры которые используются при производстве. Рассмотрев несколько патентов и научных статей, было выявлено, что при увеличении давления до 1МПа, в резервуаре, и поддержании его на заданном уровне процесс повышения концентрации раствора ускоряется. Давление в перемешивающем устройстве увеличивается за счет увеличения давления пара. При давлении пара 1МПа температура его составляет около 160°C, таким образом, температура будет возрастать, что также положительно сказывается на повышении концентрации исходного раствора. За счет таких изменений в процессе повышения концентрации раствора уранилнитрата уменьшается время получения готового продукта.

Процесс повышения концентрации раствора уранилнитрата для последующей подачи на форсунку плазматрона будет протекать следующим образом:

- Исходный раствор уранилнитрата загружается в реактор;
- герметично закрываются все входные и выходные каналы реактора, и подается пар под давлением;
- включается механизм перемешивания;
- во время перемешивания диагностируются все параметры и при необходимости выполняется их контроль за счет регулирования давления, регулирования подогрева реактора.
- при достижении внутренней среды постоянной температуры 90°C, выполняется отключение подогрева реактора, а также отключается подача пара

и процесс продолжается до достижения температуры 100°C за счет экзотермической реакции процесса.

– после получения необходимых параметров перемешивание отключается и открывается слив вещества;

– готовое вещество поступает на конденсатор, после чего готовый раствор подается на насос – дозатор;

– с насоса – дозатора раствор плава совместно со сжатым воздухом поступает на форсунку плазмотрона.

2 Основные требования к информационной системе. Выбор средств контроля и диагностики. Функциональная схема автоматизации

Исходя из представленного в разделе 1 технического задания на проектирование АСУ ТП узла концентрирования раствора уранилнитрата был осуществлен подбор средств автоматизации. Средства автоматизации по каждому из контролируемых и регулируемых параметров представлены в Приложениях Д-Н настоящей диссертации.

2.1 Структурная схема автоматизации

При разработке систем автоматизации используют типовые схемы автоматизации. В некоторые из схем вносят изменения относительно имеющегося или требуемого процесса. Документ содержит состав технических средств и связи между этими техническими средствами или группами технических средств, объединенными по каким-либо логическим признакам (например, совместному выполнению отдельных или нескольких функций, одинаковому назначению и т. д.).

Для данной АСУ структурная схема автоматизации представлена в Приложении В.

После выбора структурной схемы автоматизации, описания технологии производства и рассмотрения технологической схемы оборудования, необходимо разработать функциональную схему автоматизации. Таким образом, можно перейти к выполнению следующего пункта [6].

2.2 Функциональная схема автоматизации

Функциональная схема автоматизации (Приложение Б) показывает, как протекает процесс повышения концентрации раствора уранилнитрата.

Вся система повышения концентрации раствора уранилнитрата подключена к магистралям: сжатого воздуха, дистиллированной воды. Также имеется магистраль отвода газа из перемешивающего устройства на систему газоочистки.

Перед включением всех систем для повышения концентрации раствора уранилнитрата производится проверка оборудования. Фильтр проверяется подачей воды через него и оценивается давление до фильтра и после него, если перепад давления более 0,07 МПа, то фильтр чистый и работоспособен. В случае если перепад от 0,03 до 0,06 МПа, то необходима чистка фильтра. При перепаде давления менее 0,02 МПа необходимо ремонтировать фильтр, так как фактически фильтрация не осуществляется.

Задвижки проверяются методом закрытия и открытия. При проверке задвижек, которые регулируют ту или иную величину, отслеживают значение угла при открытии и закрытии. Механизм вращения мешалки реактора проверяют на отсутствие визуальных нарушений. Привод насоса – дозатора проверяют на вращение ротора двигателя, который приводит в движение механизм дозатора. Ленточный дозатор проверяют на наличие перемещения ленточного конвейера. При работоспособности всех узлов и агрегатов переходят к производству.

Во время протекания процесса выпаривания раствора уранилнитрата в резервуаре может быть давление более 1МПа, а значит его необходимо уменьшать, что способствует отводу воздуха из резервуара. Перед отводом воздуха на газоочистку необходимо пропустить его через установку охлаждения пара, так как температура в перемешивающем устройстве может достигать 100°C и при его охлаждении будет выпадать осадок в виде воды, которая будет отводиться на очищающую установку воды.

В системе имеется резервуар для подачи исходного раствора. В качестве устройства для перемешивания и получения уранилнитрата используется реактор эллиптический со съёмной эллиптической крышкой и встроенными в корпус нагревательными элементами объемом 25 м³. Двигатель перемешивающего устройства, для данного объема и рамной мешалки, изготовителями реактора рекомендуется использовать трехфазный асинхронный двигатель с редуктором, который обладает мощностью $P=22$ кВт и частотой вращения выходного вала 10 об/мин. Данный мотор-редуктор оснащен датчиком скорости с выходным сигналом ± 40 мА.

Процесс выпаривания раствора уранилнитрата протекает под давлением 1 МПа, данное давление нужно создавать, подавая в реактор острый пар (150°C - 160°C) под давлением, также при подаче такого пара повышается температура в реакторе, а для повышения концентрации раствора уранилнитрата необходима высокая температура. Помимо пара в резервуар подается горячая вода, как правило, в соотношении: 2 воды к 1 раствору уранилнитрата. Расход воды измеряется расходомером (Приложение И) [7], который установлен на трубопроводе подачи воды в резервуар. В зависимости от диаметра трубопровода используется датчик расхода с разным присоединительным диаметром, выбранный датчик может использоваться с широким диапазоном диаметров трубопровода.

Измерение давления в резервуаре осуществляется с помощью датчика давления расплава (Приложение Ж) [8]. Данный датчик устанавливается с помощью фланцевого соединения в ответвлении трубы после задвижки. Во время начала процесса задвижка ограждающая емкость от датчика открывается.

В резервуаре установлено 3 датчика температуры, 2 из них устанавливаются на стенках резервуара в нижней части реактора, а еще один устанавливается непосредственно во внутреннем пространстве реактора. В качестве датчиков устанавливаемых на стенках резервуара используется термопреобразователь ТС-1088/1 (Приложение Д) [9], он устанавливается в непосредственной близости от стенок, чтобы измерять нагрев не только

вещества, но и стенок реактора. Длина измерительной части датчика: 60-85 мм. Стенки реактора будут подогреваться нагревательными элементами, а также необходимо диагностировать температуру от протекания экзотермической реакции. Третий датчик устанавливается непосредственно в среде, этим датчиком является термопреобразователь сопротивления ТС-5008Ех (Приложение Д) [9].

Для определения уровня в резервуаре используется два датчика. Первый – емкостный датчик уровня (Приложение Е) [10], который устанавливается в крышке реактора. Емкость имеет эллиптическое дно, поэтому емкостный датчик может измерить уровень только до изгиба стенки. Поэтому в качестве второго датчика уровня используется вибрационный датчик уровня (Приложение Е) [11], устанавливаемый на дно резервуара и измеряет давление жидкости, преобразуя его в токовый сигнал.

После окончания концентрирования раствора уранилнитрата, он поступает на насос – дозатор. Для того чтобы насос – дозатор сохранял свою работоспособность как можно дольше перед ним установлен фильтр грязеуловитель СДЖ. Данный фильтр служит для очистки от мелких примесей полученного вещества. В фильтре имеются встроенные датчики давления до очищающего элемента и после него, если давление после фильтра сильно отличается от давления до фильтра, то можно сказать, что фильтр засорился и необходимо либо чистить, либо менять очищающий элемент.

Как было сказано выше, после фильтра раствор уранилнитрата поступает на насос – дозатор, который дозирует вещество для отправления на форсунку плазматрона. Регулирование количества вещества осуществляется с помощью насоса – дозатора, а измерение расхода вещества осуществляется датчиком расхода после насоса – дозатора (Приложение И) [12]. Данные с насоса – дозатора и с датчика расхода поступают на контроллер, затем вычислительное устройство определяет необходимость в увеличении или уменьшении расхода через насос – дозатор, а это зависит от скорости вращения ротора электродвигателя.

В системе предусмотрен технологический трубопровод для слива вещества в случае аварийной ситуации, одно из его ответвлений подключено к трубопроводу сразу за сливом из перемешивающего реактора, а второе после насоса – дозатора. Во время повышения концентрации раствора уранилнитрата в системе могут возникать различные аварийные ситуации, во время аварийных ситуаций не целесообразно поддерживать перемешивание вещества в реакторе пока будет ликвидирована аварийная ситуация, а также аварийная ситуация может возникнуть в реакторе или в насосе – дозаторе. Во всех подобных случаях для безопасности на производственном участке необходимо выполнить сброс вещества. При сбросе из резервуара вещество будет под давлением выходить в трубопровод, давление в резервуаре будет присутствовать из-за условий технологического процесса. Из насоса – дозатора вещество можно удалить путем прогона через насоса – дозатор или путем включения обратного вращения ротора электродвигателя, тем самым будет создаваться давление, и вещество удалится из системы через трубопровод после резервуара.

Для распыления плава уранилнитрата на плазмотрон используется форсунка.

В системе используются дополнительные нагревательные элементы для подогрева участков трубопровода: по которому подается дистиллированная вода в резервуар, трубопровода для перемещения плава уранилнитрата на вход насоса – дозатора, трубопровода подачи сжатого воздуха на форсунку. Также нагревательные элементы подогревают два участка трубопровода: после дозатора на форсунку и после дозатора для аварийного слива. Нагреванию подвергается участок трубопровода, который ведет на вход форсунки.

Разработав алгоритм технологического процесса и выбрав средства автоматизации, необходимо подобрать контроллер управления, именно об этом описывается в следующем пункте данного раздела.

2.3 Выбор контроллера управления

Для управления всем производством, а также отслеживанием необходимых параметров необходимо выполнить выбор контроллера. Также одним из условий при выборе контроллера является наличие мобильной панели с возможностью управления технологическим процессом с помощью мнемосхемы, при этом мобильная панель должна без проблем подключаться и во время процесса не иметь сбоев связанных с соединением «Контроллер-Мобильная панель».

Представлены следующие контроллеры управления:

- 1) Modicon 340 (Shneider Electric), представлен на рисунке 2.1 [13]



Рисунок 2.1 – Внешний вид контроллера Modicon 340

Данный контроллер полностью совместим для работы с ПК. Предназначен для производителей машин, а также средних и малых производств с числом вход/выходов 1024.

Достоинства:

- 7 тыс. инструкций/мс;
- многозадачная система для гарантированного времени отклика;
- USB порт для программирования;
- дополнительные порта по желанию: Ethernet, CANopen, Modbus.
- Программный код: 70 тыс. инструкций;
- Создание резервной копии приложения на карте памяти;

– Дополнительное файловое хранилище емкостью до 16 Мб с FTP-доступом.

Данный контроллер полностью подходит для управления процессом концентрирования раствора уранилнитрата, так как процесс имеет менее 1024 вход/выходов и является средним производством, однако данный контроллер не обладает поддерживаемой связью с мобильной панелью оператора. В данном контроллере имеется возможность использовать OPC-server, но для реализации данной функции необходимо приобретение дополнительного оборудования. Если не использовать дополнительное оборудование, то необходимо пользоваться программой WinCC 7.0. Данная программа является разработкой компании Siemens, что может несколько затруднить ее интеграцию и использование с контроллером Modicon.

2) ПЛК фирмы ЭлеСи с процессорным модулем ТС 507 Р300 ЕТН I, представлен на рисунке 2.2 [14].



Рисунок 2.2 - Контроллер ТС 507 Р300 ЕТН I

Особенности:

- самопроверка и проверка работоспособности функциональных модулей.
- возможность подключения пульта инженера (ППИ).
- функции резервирования и масштабирования (только с исполняющей системой Elsy-TMA).

- не требует принудительной вентиляции.
- исполнения с расширенным диапазоном рабочих температур от -40 до +60 °С.

Общие сведения: процессорные модули ТС 507 P300 ЕТН Е, ТС 507 P300 ЕТН I предназначены для выдачи сигналов управления, логической обработки данных в соответствии с программой, а также для обмена данными между модулями. Процессорные модули ТС имеют часы реального времени, а также возможность сохранять данные в энергонезависимой памяти. При сбоях электропитания обеспечен перезапуск контроллера и восстановление работоспособности системы.

Таблица 2.1 – Основные характеристики процессорного модуля ТС 507P300ЕТН I

Параметры		Характеристики
Модификация		ТС 507 P300 ЕТН I
Тип процессора		Geode
Тактовая частота, МГц		300
Объем оперативной памяти RAM, МБ		128
Объем flash-памяти		128 Мб
Объем энергонезависимой памяти (ЭНП), КБ		32 (NVRAM)
Количество поддерживаемых модулей ввода/вывода, шт.		10
Быстродействие мс/1000 лог. инструкций		1,3
Интерфейс RS-485, RS-422		-
Интерфейс Ethernet 10/100 Base-T		1
Максимальное количество сигналов ввода/вывода (с подключением дополнительных модулей)	Дискретных	640
	Аналоговых	240
Протокол передачи по интерфейсным каналам		МЭК 60870-5-104-204 Modbus TCP, NTP, FTP, Intercom

Продолжение таблицы 2.1

Часы реального времени (RTC)	+
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+60
Масса, кг, не более	0,8
Размеры ШхВхГ, мм, не более	50x193x143

Исходя из представленных характеристик, можно заключить, что данный модуль подходит для управления технологическим процессом, поскольку его параметры и характеристики полностью удовлетворяют заявленным требованиям, однако данный контроллер не способен поддерживать мобильную панель, что делает его использование не целесообразным.

3) Контроллер Siemens SIMATIC S7-1516-3 PN/DP [15]

Дизайн и принцип использования:

- дисплей для ввода в эксплуатацию и диагностики;
- возможность централизованной установки до 32 модулей благодаря используемой в стойке системе электропитания (питание кросс-платы для дополнительных модулей);
- приобретение и установка только действительно необходимых компонентов;
- простая возможность расширения на соответствующий срок действия, благодаря чему отпадает необходимость предусматривать дорогостоящие резервы.

Исполнение:

- profinet IO с таймером реального времени;
- время реакции <100 мкс;
- простота программирования обмена данными;
- интегрированный веб-сервер.

Интегрированная технология:

- функция «Motion Control» (управление перемещениями);
- единое конфигурирование/проектирование для ЦП/ЧМИ/приводов;

- удобные инструменты для ввода в эксплуатацию и диагностики, например, трассировочная запись до 16 различных переменных;
- простой поиск ошибок благодаря автоматическим предупредительным сообщениям в системе инжиниринга и ЧМИ;
- интегрированный ПИД-регулятор для выполнения простых заданий с техникой автоматического регулирования;
- ПИД-регулятор Compact/ПИД-регулятор 3-Step непрерывного действия с аналоговым выходом или выходом PWM;
- интегрированная системная диагностика.

Помимо всего вышеперечисленного контроллер Siemens имеет повышенную аппаратную надежность и резервирование основных элементов, отвечающих за функционирование всей системы в целом.

Экран контроллера позволяет без использования компьютера выполнить настройку IP-адресов по которым осуществляется подсоединение к мобильной панели. С помощью экрана можно выполнить полную диагностику контроллера и просмотреть все ошибки возникшие во время работы контроллера [15].

По представленным контроллерам можно сказать, что функциональнее всего подходит контроллер фирмы Siemens.

2.4 Контроллер Siemens SIMATIC S7-1500

Программируемый контроллер S7-1500 является инновационным и основывается на развитии и усовершенствовании функциональных возможностей программируемых контроллеров S7-300 и S7-400. В отличии от предыдущих контроллеров в этом улучшилась производительность системы, появилась встроенная поддержка стандартных функций управления перемещением, присутствует возможность обмена данными через интерфейс PROFINET в режиме Isochronous Real Time. В сочетании с преимуществами STEP 7 Professional V12 (TIA Portal) ввод в эксплуатацию новой серии контроллеров может быть выполнен легко, просто и эффективно [15].

Основные преимущества контроллера S7-1500:

- наилучшая производительность в своем классе, что позволяет осуществлять эффективное решение задач автоматизации среднего и высшего уровня сложности. Минимальное время реакции на внешнее событие;

- наличие модульной конструкции, что позволяет осуществить максимальную адаптацию аппаратуры к решаемым задачам, а также обеспечивает удобство конструкции и работу с естественным охлаждением;

- возможность одновременного обслуживания систем локального и распределенного ввода-вывода, а также простая интеграция в сетевые конфигурации. Наличие встроенной поддержки защищенного обмена данными через промышленные сети и Ethernet.

- расширенная защита доступа к программе и данным;

- возможность свободного наращивания функциональных возможностей при модернизации системы управления.

S7-1500 может использоваться в тех же областях, где находят свое применение программируемые контроллеры S7-300 и S7-400.

2.4.1 Состав аппаратуры и конструктивные особенности

Программируемые контроллеры S7-1500 позволяют использовать в своем составе:

- модули центральных процессоров (CPU) различной производительности;

- блоки питания (PM) для питания контроллера от сети как переменного так и постоянного тока;

- сигнальные модули (SM), которые предназначены для ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов;

- коммуникационные модули (CM/CP) для подключения контроллера к сетям Ethernet и PROFIBUS, а также поддержки обмена данными через

непосредственные (PtP – point to point) соединения на основе последовательных интерфейсов RS 232 и RS 422/ RS 485;

– технологические модули (ТМ) для решения задач скоростного счета и позиционирования;

По сравнению с программируемыми контроллерами S7-300 и S7-400 в S7-1500 существенно сокращена номенклатура модулей всех типов. Конструкцию контроллера отличает высокая гибкость и удобство обслуживания. Все контроллерные модули устанавливаются на профильную шину S7-1500, после чего фиксируются в рабочем положении винтами. Одна монтажная стойка может вместить до 32 модулей контроллера, порядок размещения модулей в данном случае может быть произвольным. Дополнительный набор модулей имеет возможность устанавливаться в стойки расширения, подключенные к контроллеру через интерфейсные модули станции ET 200MP и сеть PROFINET. Объединение модулей в единую систему выполняется с помощью U-образных шинных соединителей, установленных на тыльной стороне корпуса. Эти соединители включены в комплект поставки каждого модуля. В стадии разработки находится вариант объединения модулей через активную внутреннюю шину. Внешние цепи сигнальных модулей подключаются через съемные фронтальные штекеры, механическое кодирование которых исключает возможность возникновения ошибок при замене модулей. Дополнительно для этой цели могут использоваться модульные и гибкие соединители. Все модули контроллера могут быть разбиты на несколько потенциальных групп, каждая из которых имеет общие шины питания внешних цепей [15].

2.4.2 Центральные процессоры

Первая генерация аппаратуры позволяет использовать в составе S7-1500 три типа центральных процессоров, преимущественно ориентированных на замену существующих центральных процессоров S7-300. CPU 1511-1 PN предназначен для замены CPU 312 и CPU 314, CPU 1513-1 PN для замены CPU

315 и CPU 1516-3 PN/DP для замены CPU 317 и CPU 319. В проектируемой системе используется третий тип центрального процессора - CPU 1516-3 PN/DP. Стандартным интерфейсом для всех типов центральных процессоров является интерфейс PROFINET. Он используется для программирования, конфигурирования, диагностики и обслуживания контроллера, коммуникационного обмена данными, а также обслуживания систем распределенного ввода-вывода с поддержкой обмена данными в режимах RT и IRT V2.2, а также функций контроллера, общих и интеллектуальных приборов ввода-вывода. CPU 1516-3 PN/DP дополнительно оснащен вторым интерфейсом Ethernet с собственным IP адресом, а также интерфейсом PROFIBUS DP [15]. Центральные процессоры оснащены встроенным Web-сервером, который позволяет:

- осуществлять доступ к системным, а также оперативным сообщениям и идентификационным данным;
- производить системную диагностику модулей всех типов, используемых в проекте;
- производить диагностику коммуникационных соединений с отображением параметров настройки, а также получением статистических данных о работе сети;
- использовать создаваемые пользователем Web-страницы;
- осуществлять доступ к производственным данным с использованием свободно изменяемых списков переменных, а также таблиц.

ПЛК S7-1500 комплектуются съемными дисплеями, которые повышают эксплуатационные характеристики контроллера, а также позволяют:

- отображать данные диагностики и аварийные сообщения;
- осуществлять установку, а также изменение параметров настройки (IP адресов, имени станции и т.д.) без использования программатора;
- отображать состояние модулей в системе как локального, так и распределенного ввода-вывода;

– отображать идентификационные данные: заказные и серийные номера, а также версии встроенного программного обеспечения модулей системы локального и распределенного ввода-вывода.

Для отображения информации может выбираться один из двух поддерживаемых языков. Установку и удаление дисплея допускается выполнять во время работы контроллера. Для доступа к выполнению операций необходимо ввести пароль. ЦП S7-1500 имеет рабочую память значительного размера. В качестве расширяемой памяти используются карты памяти SIMATIC Memory Card емкостью от 2 Мбайт до 2 Гбайт. Дополнительно карта памяти находит применение для хранения данных при перебоях в питании контроллера без использования буферных батарей, а также для сохранения всего проекта STEP7, включая символьные имена. За счет считывания этой информации сервисные работы могут выполняться без наличия на программаторе исходного проекта. Высокая производительность центральных процессоров обусловлена наличием скоростной внутренней шины контроллера. Скорость обмена данными через эту шину достигает 400 Мбит/с. Сочетание данных факторов позволяет получить минимальное время цикла выполнения программы, а также минимальное время реакции на внешние события. Время реакции терминал-терминал в ПЛК S7-1500 не превышает 100 мкс [15].

Все центральные процессоры S7-1500 обеспечивают встроенную поддержку технологических функций управления перемещением, трассировки, а также ПИД регулирования. Встроенные функции управления перемещением позволяют:

- получать гибкие возможности подключения приводов через интерфейсы PROFINET и/или PROFIBUS с поддержкой профиля PROFIdrive;
- выполнять простое программирование задач управления перемещением с использованием блоков PLCopen;
- использовать однородные способы конфигурирования/проектирования для программируемых контроллеров, приборов и систем человеко-машинного интерфейса и приводов;

- использовать комфортабельные инструментальные средства диагностики и выполнения пуско-наладочных работ;

- выполнять циклическую регистрацию значений параметров для оптимизации процессов управления и работы приводов;

- выполнять быстрый поиск неисправностей на основе аварийных сообщений, отправляемых в систему проектирования, приборы и системы человеко-машинного интерфейса, а также на дисплей центрального процессора.

Функции трассировки предназначены для сбора данных, используемых для анализа и оптимизации работы контроллера. Они позволяют:

- выполнять регистрацию до 16 переменных центрального процессора независимо от системы проектирования;

- обеспечивать одновременную поддержку до 4 заданий на трассировку;

- выполнять циклический сбор данных в реальном масштабе времени;

- выполнять мультиплексирование и фильтрацию данных;

- экспортировать результаты измерений для документирования данных и их дальнейшей обработки.

Интегрированная поддержка функций ПИД регулирования позволяет: использовать S7-1500 для решения широкого спектра задач автоматического регулирования, применять регуляторы с аналоговыми или импульсными выходными сигналами, шаговые регуляторы, а также выполнять операции автоматической оптимизации их работы[16].

2.4.3 Инновации в STEP 7

Для программирования, конфигурирования, диагностики и обслуживания программируемых контроллеров S7-1500 используются инструментальные средства пакета STEP 7 Professional V13 (TIA Portal). Пакет STEP 7 Professional V13 позволяет выполнять комплексное символьное программирование и оснащен оптимизированным компилятором LAD/ FBD/ STL, позволяющим

получать минимальные времена циклов выполнения программы. Все языки программирования имеют одинаковый набор команд. Введена поддержка 64-разрядных типов данных во всех языках IEC 61131-3. В программах S7-1500 могут использоваться блоки данных объемом до 16 Мбайт. Размер организационных блоков, функций и функциональных блоков увеличен до 512 Мбайт. Допускается использование более 10 организационных блоков на тип. В языках LAD и FBD появилась новая функция Computer Box, существенно упрощающая выполнение вычислительных операций. Обеспечивается консистентная загрузка всех изменений в проекте, а также быстрое и безошибочное определение состава аппаратуры контроллера путем считывания параметров конфигурации в систему проектирования [16].

2.4.4 Системная диагностика

ПЛК S7-1500 обеспечивают комплексную поддержку системы технической диагностики, что позволяет выполнять однородное отображение диагностической информации на дисплее центрального процессора, а также приборов человеко-машинного интерфейса, в Web-сервере, SCADA системах и в системе проектирования. Доступ к диагностической информации также может быть осуществлен в случае перехода центрального процессора в режим STOP. Предусмотрена возможность автоматического обновления информации в новых аппаратных компонентах, а также осуществляется поддержка автоматического обновления данных программ при просмотре результатов диагностики в панелях операторов серии SIMATIC Comfort Panel и в SCADA системе [16].

2.4.5 Защита информации

Особое внимание в S7-1500 и STEP 7 Professional V13 уделяется защите информации. в S7-1500 и STEP 7 Professional V13 реализован широкий спектр

мер по пресечению несанкционированного доступа, а также использованию данных системы автоматизации:

- защита «Know how»: позволяет устанавливать защиту от несанкционированного просмотра, копирования и модификации программных блоков с помощью STEP 7, карт памяти, библиотек;

- защита от копирования: привязкой связанных или отдельных программных блоков к серийному номеру центрального процессора или карты памяти;

- защита доступа: обеспечивает поддержку новой степени защиты доступа к CPU уровня 4 (HMI соединения устанавливаются после ввода пароля), распределение уровней авторизации между уровнями доступа 1 ... 3 с использованием собственных паролей, ограничивает время авторизации;

- защита от манипуляции данными: включает защиту целостности данных проекта и системы связи, целостности и подлинности обновлений встроенного программного обеспечения, обеспечивает защиту от внешних атак.

Среди выше описанных контроллеров остановимся на Siemens SIMATIC S7-1500. На рисунке 2.3 представлено изображение контроллера с его съемной панелью [17].



Рисунок 2.3 – Контроллер S7-1516 и его съемная передняя панель

На рисунке 2.4 представлены основные элементы выбранного контроллера с поднятой передней панелью.



Рисунок 2.4 – Контроллер с функциональными элементами

3 Оценка аппаратной надежности АСУ ТП. Расчет аппаратной надежности спроектированной АСУ ТП

3.1 Надежность оборудования АСУ ТП

Для оценки надежности элементов и устройств при их применении в различных системах автоматического управления, расчету необходимого комплекта запасных частей и принадлежностей для восстановления АСУ ТП необходимо определение количественных характеристик и показателей надежности.

Надежность оборудования является одним из основных показателей процесса эксплуатации. Надежность — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Основным аппаратом при исследовании вопросов связанных с оценкой надежности системы автоматического управления является математическая статистика и теория вероятности, поскольку отказы и сбои элементов являются событиями случайно распределенными во времени, а соответственно и характеристики надежности системы необходимо выбирать из числа показателей приведенных в теории вероятности. [18].

Показатели надёжности могут определяться, как аналитически на основании формул, полученных из теории вероятности, так и с использованием, результатов испытаний или наблюдений, с последующей оценкой методами математической статистики полученных данных показателей надежности.

Для наиболее точной интерпретации данных полученных от объекта выбор характеристик надежности необходимо осуществлять с учетом особенностей функционирования каждого объекта.

3.1.1 Показатели безотказности системы

Показателями надежности системы являются такие количественные характеристики, которые необходимы для решения практических задач по оценке надежности и наиболее точно отображают состояние системы в конкретный момент времени. Показатели бывают единичными и комплексными. Единичный показатель описывает только одно свойство надежности исследуемого объекта, а комплексный может одновременно описывать несколько его свойств [18].

Основными показателями безотказности системы являются:

– вероятность безотказной работы – является количественной оценкой вероятности того, что в пределах заданной наработки или заданного интервала времени t отказ объекта или блока системы не возникнет. Обозначив $\sum t_i$, через r , где r – количество объектов из общего числа наблюдаемых N , отказавших ко времени t , и работоспособных в начальный момент времени $t = 0$, имеем:

$$\hat{P}(t) = \frac{(N-r)}{N}, \quad (3.1)$$

где $(N - r)$ - количество объектов, проработавших безотказно до момента времени t .

Если отказ оборудования или объекта в целом может повлечь за собой дорогостоящую или аварийно-опасную задержку производства, а также для ответственных элементов АСУ, необходимо устанавливать вероятность безотказной работы на уровне не ниже 0,99, а если отказ может повлечь за собой угрозу жизни, то $P(t) \geq 0,9999$. Если же отказ не связан с тяжелыми последствиями и отражается лишь в виде незначительных экономических потерь, то в таком случае допустимое значение $P(t)$ в интервале t принимают намного ниже указанного или вообще этот показатель не нормируют [18].

– средняя наработка до отказа — определяется как математическое ожидание среднего времени наработки до первого отказа. Данную характеристику определяют для невозстанавливаемых объектов, таких, как канаты, подшипники качения, крюки и др. По ГОСТ 16504—81 данный

показатель определяется как отношение статистической суммарной наработки $\sum t_i$ испытуемых объектов до отказа к количеству наблюдаемых объектов N :

$$\widehat{T}_1 = \frac{\sum t_i}{N}, \quad (3.2)$$

В ряде случаев наибольшую наглядность дают другие показатели безотказности, в частности интенсивность отказов $\lambda(t)$, а также такой параметр, как поток отказов $\omega_B(t)$. Показатель ω_B обязателен к использованию для элементов, внезапный отказ которых может вызвать аварии или привести к значительным экономическим потерям. Величину ω_B определяют по следующей формуле:

$$\omega_B = \frac{n_B}{\sum t_i}, \quad (3.3)$$

где n_B — число внезапных отказов, записанных в период наблюдения;

$\sum(t_i)$ — суммарная наработка за этот же период.

– наработка на отказ — определяется как отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой же наработки. Нарботку на отказ определяют как статистическую величину отношением суммарной наработки, восстанавливаемых объектов к суммарному числу N_0 отказов данных объектов:

$$\widehat{T}_0 = \frac{1}{N_0} \sum t_i. \quad (3.4)$$

При экспоненциальном распределении наработка на отказ определяется как:

$$\widehat{T}_0 = \frac{1}{\widehat{\lambda}(t)} = \frac{1}{\lambda}. \quad (3.5)$$

При $\lambda = \omega_B$:

$$\widehat{T}_0 = \frac{1}{\omega_B}, \quad (3.6)$$

Нарботка на отказ напрямую зависит от продолжительности периода, в течение которого она определяется, что обусловлено непостоянством характеристики потока отказов. Например, в период приработки или

предшествующий капитальному ремонту, а также профилактике наработка на отказ меньше, чем после их окончания [18].

3.1.2 Основные законы распределения случайных величин используемые в теории надежности

Исходя из определений показателей надёжности, рассмотренных выше, можно заключить, что для расчёта данных показателей необходимо знать закон или функцию распределения времени безотказной работы объекта, которая является случайной величиной. Функция распределения времени безотказной работы объекта $Q(t)$, определяющая вероятность отказа, может быть определена по статистическим данным, полученным при испытании или при наблюдении за объектом. Однако, на стадии проектирования объектов таких статистических данных нет, поэтому, существует необходимость в выдвижении и обосновании гипотезы о функции распределения времени безотказной работы, которую необходимо проверять во время производства и эксплуатации объекта [19].

Таким образом время между отказами для элементов устройств или систем будет являться непрерывной случайной величиной, характеризующаяся некоторым законом распределения.

В теории надежности наиболее часто используются следующие законы распределения времени безотказной работы: экспоненциальный, распределение Вейбулла, а также нормальный закон распределения или распределение Гаусса, гамма – распределение.

Для экспоненциального закона распределения времени представлены следующие зависимости:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}; P(t) = e^{-\lambda t}; a(t) = \lambda e^{-\lambda t}; T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda};$$

где λ – параметр экспоненциального распределения, которым является интенсивность отказа объекта.

Дисперсия времени безотказной работы равна:

$$D = \int_0^{\infty} t^2 a(t) dt - T^2 = \int_0^{\infty} t^2 \lambda e^{-\lambda t} dt - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2}.$$

Если $\lambda t \ll 1$, то $Q(t) \approx \lambda t = t/T$, $P(t) \approx 1 - \lambda t$.

Важным свойством экспоненциального распределения является то, что вероятность безотказной работы на интервале $(t, t+\tau)$ не зависит от времени предшествующей работы t , а зависит только от длины интервала τ .

Для интервалов времени $(0, t)$ и $(0, t+\tau)$ можно записать:

$$P(t + \tau) = P(t)P(\tau), \quad (3.7)$$

где $P(t+\tau)$ – вероятность безотказной работы системы или элемента за время $t+\tau$;

$P(t)$ – вероятность безотказной работы системы или элемента за время t ;

$P(\tau)$ – вероятность безотказной работы системы или элемента за время τ , при условии, что объекты безотказно проработали время t .

В случае экспоненциального закона:

$$P(t + \tau) = e^{-\lambda(t+\tau)} = e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda \tau}, \quad (3.8)$$

поскольку вероятность безотказной работы объекта до момента времени t равна:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (3.9)$$

Имеем:

$$P(\tau) = e^{-\lambda \tau}. \quad (3.10)$$

Зависимости, характеризующие экспоненциальное распределение вероятностей работоспособности системы показаны на рисунке 3.1.

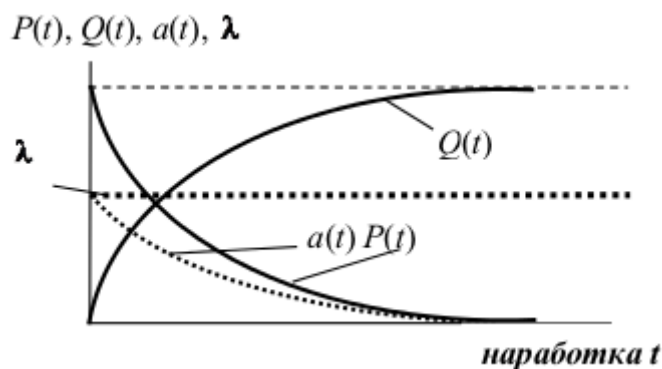


Рисунок 3.1 – Зависимости показателей надежности для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы

Анализируя опыт эксплуатации современных устройств и систем можно сделать вывод о том, что во многих случаях их характеристики надежности подчиняются экспоненциальному закону. Что обусловлено тем, что современные системы, в том числе и системы управления, состоят из высоко надёжных первичных элементов, потоки отказов которых в основной период времени являются стационарными пуассоновскими потоками.

Распределение Вейбулла относится к двухпараметрическому распределению и наиболее часто используется для оценки показателей надёжности при постепенных отказах, обусловленных старением, износом, недостаточной прочностью и т. п. изделий или объектов.

Имеем:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda_B t^\alpha}; P(t) = e^{-\lambda_B t^\alpha}; a(t) = \lambda_B \alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda_B t^\alpha};$$

где λ_B и α – параметры распределения Вейбулла.

После подстановки в соответствующие формулы получим:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \lambda_B m t^{\alpha-1}, \quad (3.11)$$

$$T = \int_0^\infty P(t) dt = \int_0^\infty e^{-\lambda_B t^\alpha} dt = \frac{\Gamma(\frac{1}{\alpha}+1)}{\lambda_B^{\frac{1}{\alpha}}}, \quad (3.12)$$

$$D = \frac{\Gamma(\frac{2}{\alpha}+1) - \Gamma^2(\frac{1}{\alpha}+1)}{\lambda_B^{\frac{2}{\alpha}}}, \quad (3.13)$$

где Γ – гамма-функция которую определяют по таблицам.

Зависимости, характеризующие распределение Вейбулла для различных значений α показаны на рисунке 3.2.

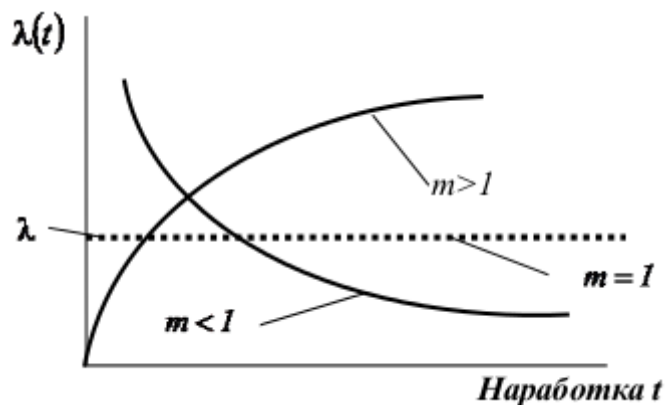


Рисунок 3.2 – Зависимости интенсивности отказов при распределении Вебулла

Примечание: при $m = 1$ распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное распределение, а при $m = 2$ – в распределение Рэлея.

Нормальное распределение случайной величины или распределение Гаусса возникает при зависимости случайной величины от значительного количества однородных случайных факторов, причём влияние каждого из них, по сравнению со всеми остальными, не так значительно [20].

В случае, если $\sigma \ll T$, что соблюдается в большинстве случаев для элементов, используемых в САУ, имеем:

$$Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^t \exp\left[-\frac{(x-T)^2}{2\sigma^2}\right] dx, \quad (3.14)$$

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^t \exp\left[-\frac{(x-T)^2}{2\sigma^2}\right] dx, \quad (3.15)$$

$$a(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (3.16)$$

где T и σ – параметры нормального распределения, причём T – математическое ожидание случайной величины времени безотказной работы объекта, а σ – среднеквадратичное отклонение случайной величины. Для определения функции $Q(t)$ часто пользуются табулированной функцией Лапласа $\Phi(u)$, где $u = (t-T)/\sigma$ – квантиль нормального распределения.

$Q(t)$ связана с функцией $\Phi(u)$ при $\sigma \ll T$ соотношением:

$$Q(t) = 0.5 + \Phi(u). \quad (3.17)$$

Соответственно:

$$P(t) = 0.5 - \Phi(u). \quad (3.18)$$

Можно показать, что величина $\lambda(t)$ для нормального распределения монотонно возрастает и после достижения значения $t = T$ начинает приближаться к асимптоте $y = (t-T)/\sigma$, $t=T$, $D=\sigma^2$. В случае, если неравенство $\sigma \ll T$ не соблюдается, необходимо использовать усеченное нормальное распределение [19].

При нормальном распределении случайной величины, данная величина может изменяться от $-\infty$ до $+\infty$, поскольку время при оценке надёжности всегда

является величиной положительной, т. е. $0 \leq t \leq \infty$, то полное нормальное распределения заменяется усечённым нормальным распределением.

Под усечённым нормальным распределением случайной величины понимают распределение, полученное из нормального распределения при ограничении интервала возможных значений данной величины. Если $t_1 \leq t \leq t_2$, то плотность усечённого нормального распределения $f^y(t)$ определяется из условия:

$$f^y(t) = c \cdot f(t); \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)dt = 1; f(t) = a(t);$$

где c – нормирующий множитель, определяемый из условия, что площадь под кривой плотности усечённого распределения, равна 1, т. е.

$$c \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt = 1, \quad (3.19)$$

Из чего вытекает:

$$c = \frac{1}{\int_{t_1}^{t_2} f(t)dt}; u_1 = \frac{t_1 - T}{\sigma}; u_2 = \frac{t_2 - T}{\sigma}.$$

Определив c , можно определить вероятность $P(t)$ по следующей формуле:

$$P(t) = c[0.5 - \Phi(u)]. \quad (3.20)$$

Зависимости, характеризующие нормальное распределение, показаны на рисунке 3.3.

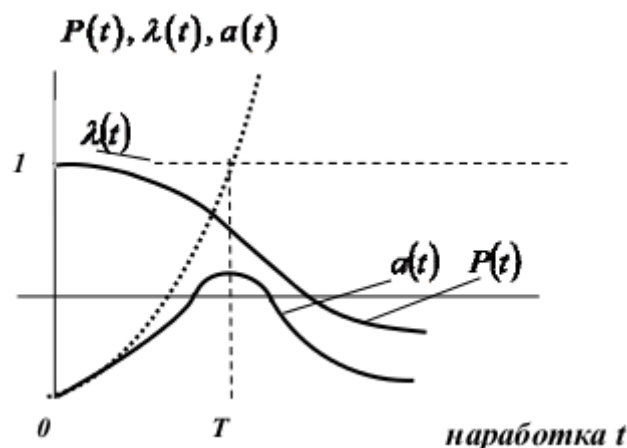


Рисунок 3.3 – Зависимость показателей времени при нормальном законе распределения времени безотказной работы

Анализ показывает, что если $T/\sigma > 2$, то $c \approx 1$. Данное условие выполняется для большинства реальных технических объектов. Поэтому, в теории надёжности допускается использование вместо усечённого – обычного, не усечённого нормального распределения [19].

3.1.3 Основные этапы расчета надежности элементов и систем

При расчете надежности элементов и систем выделяется несколько этапов. Для первого этапа характерно разбиение системы на отдельные элементы. В качестве элементов необходимо рассмотрение первичных элементов, таких как: резисторы, конденсаторы, транзисторы, подшипники и т. д. В качестве элементов для систем обычно рассматривают блоки, модули, устройства, у которых показатели надёжности уже известны или определяются дополнительно.

Характеристики надёжности первичных элементов системы определяются как, проведением специальных испытаний, оценивающих надёжность, так и с использованием данных полученных в ходе эксплуатации. При этом первичные элементы могут быть разделены на составные части, и глубина декомпозиции будет определяться целями расчёта надёжности. Например, для резистора такими составными частями могут быть выводы, основание для токопроводящего слоя, токопроводящий слой и т.д.

На втором этапе необходимо сформулировать понятие отказа, как для отдельных элементов, так и для всей системы в целом. На начальном этапе данное понятие формулируется, по оценке внезапных отказов. К примеру, для резисторов и конденсаторов отказы могут возникать из-за обрывов и коротких замыканий, причем для конденсаторов – в большинстве случаев из-за коротких замыканий, а для резисторов – из-за обрывов. Для транзисторов отказы возникают из-за пробоя переходов и обрыва выводов. После чего понятие отказа формулируется с использованием оценки постепенных отказов [19].

При эксплуатации системы параметры первичных элементов с течением времени изменяются (ёмкость у конденсаторов, коэффициент передачи по току у транзисторов, сопротивление у резисторов и т. п.). По полученным результатам расчёта определяются допустимые значения параметров первичных элементов, при превышении которых система выдает отказ.

На третьем этапе необходимо составить логическую или структурную схему расчета надежности. Структурная схема надёжности имеет наглядное представление условий, в виде логических соотношений или графических, при которых объект или система находятся в состоянии работоспособности.

Метод структурной схемы надежности определяется по ГОСТ Р 51901.14–2005 (МЭК 61078: 1991) и является наиболее используемым методом в инженерной практике в процессе анализа рисков технологических и технических систем. Данный метод позволяет оценить вероятность возможных неблагоприятных и благоприятных состояний, а также построения моделей технических систем, исходя из чего данный метод целесообразно использовать при разнообразных аналитических способах исследования надёжности.

На четвертом этапе необходимо определить характеристики безотказности всех, входящих в систему, групп элементов. Важно отметить, что расчет характеристик безотказности как для невосстанавливаемых элементов, так и для элементов имеющих особенность восстанавливаться со временем производится отдельно, причем необходимо учитывать периодичность и цикличность их работы, а также влияние нагрузки на надежность элементов. Характеристики безотказности системы также определяются отдельно по постепенным и внезапным отказам.

На пятом этапе необходимо определить характеристики восстановления всех групп элементов, имеющих основное соединение и предусматривающих восстановление.

На шестом этапе необходимо определить характеристики надежности восстанавливаемых элементов, имеющих основное соединение, с учетом характеристик восстанавливаемости и безотказности.

На седьмом этапе необходимо определить характеристики надежности с учетом временной и структурной избыточности, а также резервирования.

В зависимости от требований, предъявляемых к расчету, оценка характеристики надежности на каждом этапе может быть разделена на две группы: предварительный расчет надежности, а также окончательный расчет надежности.

В предварительном расчете учитываются только основные факторы, которые оказывают влияние на надежность.

В окончательном расчете учитываются абсолютно все факторы, оказывающие влияние на надёжность.

На последнем этапе расчёта надёжности анализируются результаты. Основные методы анализа надёжности определяются по ГОСТ Р 51901.5–2005 «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надёжности» [20].

3.1.4 Метод структурной схемы надежности

Основной предпосылкой при построении моделей надежности системы в виде структурных схем является отображение путей сигнала, которые обеспечивают работоспособность всей системы. На практике, при оценке надежности очень часто сталкиваются с необходимостью формулировки более одного определения отказа системы. Должны быть определены и перечислены все отказы системы. Также, необходимо наличие чётких инструкции относительно:

- функций, которые выполняет система;
- параметров эффективности, а также допустимым границам изменения данных параметров;
- режимов эксплуатации системы и условиям окружающей среды.

Первоочередной задачей при разработке модели системы является необходимость определения работоспособного состояния системы. В случаях,

когда возможно более одного определения, необходимо составить структурную схему для каждого из них. После чего для того чтобы определить логику взаимодействия в системе необходимо разделить систему на блоки. Каждый блок в данной системе должен быть статистически независимым и максимально большим. Резервирования, блок содержать не должен. Для простоты числовой оценки необходимо, чтобы каждый блок содержал только элементы, которые подчиняются одному и тому же статистическому закону распределения наработок до отказа. После чего, используя определение отказа системы, необходимо построить структурную схему надежности системы, в которой подключение блоков формирует «путь успеха» системы. При этом пути между портами ввода и вывода должны проходить через комбинации блоков, которые обеспечивали бы функционирование системы [20].

3.1.5 Метод перебора состояний

При использовании метода перебора состояний необходимо последовательно рассматривать все возможные состояния системы, после чего определить состояния, в которых система работоспособна. Далее для оценки надежности системы необходимо просуммировать вероятности всех работоспособных состояний. Соответствующие комбинации работоспособных состояний системы и их вероятности заносятся в таблицу, поскольку все указанные в таблице работоспособные состояния системы являются независимыми, то суммарная вероятность безотказной работы системы определится как сумма всех работоспособных состояний системы [21].

К достоинству метода перебора состояний можно отнести простоту. Его относительно легко реализовать, используя ЭВМ. Недостатком же является его громоздкость. Соответственно для сложных систем с большим числом элементов метод может оказаться неприменимым из-за больших вычислительных трудностей.

3.1.6 Преобразование с эквивалентной заменой треугольника в звезду

Сущность данного метода заключается в том, что узел сложной конфигурации заменяется узлом другой, более простой конфигурации, однако при этом, для того чтобы показатели надёжности преобразуемой цепи сохранились неизменными, подбираются эквивалентные характеристики нового узла, [21].

3.1.7 Преобразование с помощью разложения сложной структурной схемы по базовому элементу

Данный метод разложения структурных схем используется, основываясь на теореме о сумме вероятностей несовместных событий, т. е. свойства аддитивности вероятностей.

В соответствии с данной теоремой, если A и B не совместные события, а событие $C = A + B$, то имеет место следующее равенство:

$$P(C) = P(A + B) = P(A) + P(B). \quad (3.21)$$

В сложной структурной схеме необходимо подобрать базовый элемент или же группу базовых элементов, которые не позволяют применить основные правила преобразования структурной схемы параллельно-последовательной структуры [20].

Для выбранных элементов принимают следующие допущения:

1. Через базовый элемент проходит сигнал и он на всём интервале времени находится в работоспособном состоянии, вероятность безотказной работы элемента $P(t)=1$, при $0 \leq t \leq \infty$. Данный элемент на структурной схеме заменяют «перемычкой».

2. Базовый элемент на всём интервале времени находится в неработоспособном состоянии и сигнал через него не проходит, вероятность безотказной работы элемента $P(t)=0$, при $0 \leq t \leq \infty$. Данный элемент исключают из структурной схемы надёжности.

Для случаев, в которых представлены два несовместных события, исходную схему надёжности следует преобразовать в две новые схемы. После чего необходимо определить формулы для нахождения вероятности безотказной работы каждой из схем, проведя их суммирование и получив итоговую формулу для вероятности безотказной работы сложной структурной схемы надёжности [20].

3.1.8 Сравнительная оценка методов расчета надежности АСУ ТП

Исходя из описания вышеизложенных методов оценки надежности автоматизированных систем управления технологическими процессами можно сделать вывод о применимости и целесообразности применения данных методов для расчета надежности систем управления.

Таблица 3.1 – Сравнительный анализ методов расчета надежности

Метод оценки надежности системы	Достоинства	Недостатки
Метод структурной схемы надежности	Простота числовой оценки, наглядность представления, точность описания системы	Громоздкость, при работе со сложными структурными схемами, необходимость определения с целью учёта, всех возможных путей потоков между входными и выходными портами системы для более глубокого анализа работоспособности системы
Метод перебора состояний	Простота, относительно легкое осуществление на ЭВМ.	Громоздкость, метод может оказаться неприменимым из-за больших вычислительных трудностей для сложных систем с большим числом элементов
Преобразование с эквивалентной заменой треугольника в звезду	Возможность оценки узлов системы со сложной структурой	Является приближенным методом
Преобразование с помощью разложения сложной структуры по базовому элементу	Простота применения метода за счет использования теоремы о сумме вероятностей несовместных событий	Метод основан на допущениях

Подводя краткий итог, согласно таблице 3.1, можно заключить, что для расчета надежности АСУ ТП, целесообразно применять метод структурной схемы надежности, поскольку данный метод является базовым для всех рассмотренных ниже методов, кроме того также целесообразно использовать метод перебора состояний системы. Несмотря на громоздкость расчетов применяемых в данных методах, именно они дают точность описания системы, которая необходима при оценке надежности опасных технологических процессов.

3.2 Расчет показателей надежности АСУ ТП методом структурной схемы

Для определения надежности всей проектируемой системы в целом, необходимо определить надежность каждого контура контроля и регулирования технологических параметров системы в отдельности. После чего целесообразно принять надежность всей системы равной самому ненадежному контуру. В соответствии с ТЗ для АСУ ТП концентрирования раствора уранилнитрата показатель безотказной работы системы должен быть равен 0,95.

Таблица 3.2 – Исходные данные

ЩТК1		
Тип	Средняя наработка на отказ, ч	Средний срок службы, лет
ТХА 0198	15000	6
ДМ 5002Г	100000	8
ТС5008Ех	30000	10
ХН2 ПХН70	100000	8
АИР10-Ех-М1-ДА-1062	125000	12
Danfoss (все оборудование)	200000	10

Продолжение таблицы 3.2

AXF 025G	180000	12
ОВЕН САУ-М6	100000	8
ЦИ 5003Б/2	100000	10
ОВЕН ТРМ 1	100000	5
Siemens S7-1500	2231610	
ЩТК2, ЩТК3		
Тип	Средняя наработка на отказ, ч	Средний срок службы, лет
CLM-36NT-12-CI	200000	10
DMP330L	100000	12
ТС 1088/1	15000	6
LVL-АН-G15	200000	10
ТП 0198	15000	6
Экограф-Т	50000	10
ОВЕН 2ТРМ0	100000	10
E5CC-QX3A5M-003	200000	10
Электрическая линия связи		
Кабель КВВГЭ	100000	

3.2.1 Контур контроля давления (на отводе пара из конденсатора А-3-1, ЩТК1)

Структурно-функциональная схема контура контроля давления представлена на рисунке 3.4.

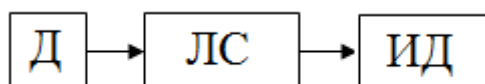


Рисунок 3.4 – СФС контура контроля давления

Д – Манометр цифровой «ДМ5002Г»; ЛС - линия связи; ИД – цифровой измеритель давления «ЦИ 5003Б/2».

3.2.1.1 Расчет вероятности безотказной работы контура

Определим вероятность безотказной работы всех блоков представленного контура с использованием закона экспоненциального распределения времени по формуле (3.9):

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t},$$

где t – рассматриваемое время, (принимаем $t=2000$ часов);

λ_i - интенсивность отказов элемента, 1/ч.

Интенсивность отказов i -го элемента определяется из следующего соотношения:

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i}, \quad (3.22)$$

1) Интенсивность отказов ДМ 5002Г:

$$\lambda_i = \frac{1}{100000} = 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы ДМ 5002Г за 2000 часов:

$$P_{\text{д}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{\text{ЛС}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3) Вероятность безотказной работы ЦИ 5003Б/2:

$$P_{\text{ИД}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3.2.1.2 Оценка надежности контура контроля давления

Вероятность безотказной работы с последовательно-организованной структурой в течение 2000 часов равна:

$$P_c = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (3.23)$$

где n - количество элементов последовательного соединения.

Вероятность безотказной работы контура контроля давления отвода пара:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИД}(t), \quad (3.24)$$

$$P_c = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,941$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,941 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура контроля давления необходимо выполнить резервирование наиболее ненадежных элементов системы, такими элементами являются: Д, ЛС и ИД. Поскольку данные элементы имеют одинаковые показатели надежности, то необходимо учитывать стоимостной показатель данных элементов и исходить из того, чтобы стремиться к обеспечению минимума затрат при максимальном повышении надежности контура. Поэлементное резервирование вышеперечисленных элементов наиболее предпочтительно, поскольку оно обеспечит упрощение переключений в случае возникновения неисправностей, а также не окажет значительного влияния на удорожание системы. Наиболее целесообразно резервировать линию связи.

СФС контура контроля давления представлена на рисунке 3.5:

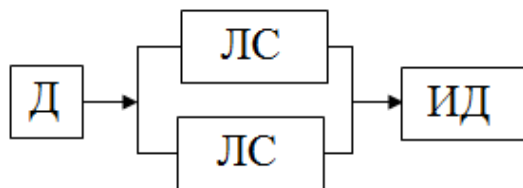


Рисунок 3.5 – СФС контура контроля давления с резервированной ЛС

В случае параллельного соединения элементов схемы вероятность безотказной работы резервных элементов цепочки определяется по формуле:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_i(t)), \quad (3.25)$$

где k - количество параллельно соединительных элементов.

Вероятность безотказной работы ЛС с резервированием:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Таким образом, вероятность безотказной работы контура контроля давления равна с резервированием равна:

$$P_c = 0,98 \cdot 0,9996 \cdot 0,98 = 0,96$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,96}{2000} = 2 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c}$$

$$T_c = \frac{1}{2 \times 10^{-5}} = 50000 \text{ час.}$$

3.2.2 Контур контроля температуры в конденсаторе А-3-1 (ЩТК1)

Структурно-функциональная схема контура контроля температуры представлена на рисунке 3.6.

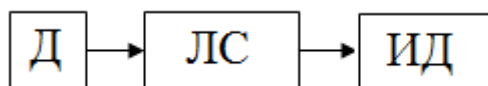


Рисунок 3.6 – СФС контура контроля давления

Д – Термопреобразователь «ТС 5008Ех»; ЛС - линия связи; ИД – цифровой измеритель давления «ЦИ 5003Б/2».

3.2.2.1 Расчет вероятности безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов ТС 5008Ех:

$$\lambda_i = \frac{1}{30000} = 3 \times 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы ДМ 5002Г за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-3 \cdot 10^{-5} \cdot 2000} = 0,942$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3) Вероятность безотказной работы ЦИ 5003Б/2:

$$P_{ИД}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3.2.2.2 Расчет показателей надежности контура контроля температуры

Вероятность безотказной работы контура контроля температуры в конденсаторе:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИД}(t), \quad (3.26)$$
$$P_c = 0,942 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,91$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,91 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура контроля температуры будем использовать резервирование элементов Д и ЛС. Структурно-функциональная схема контура контроля температуры с резервированием будет выглядеть следующим образом (рисунок 3.7):

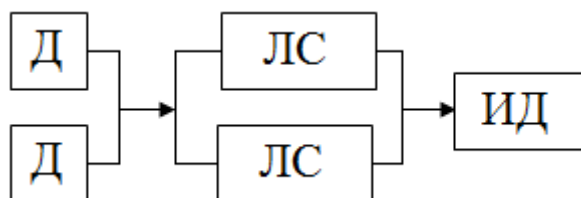


Рисунок 3.7 – СФС контура контроля температуры с резервированным Д и ЛС

Вероятность безотказной работы Д с резервированием:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,942) = 0,997$$

Вероятность безотказной работы ЛС с резервированием:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Вероятность безотказной работы резервированного контура контроля температуры равна:

$$P_c = 0,997 \cdot 0,9996 \cdot 0,98 = 0,977$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,977}{2000} = 1,2 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{1,2 \times 10^{-5}} = 83333 \text{ час.}$$

3.2.3 Контур регулирования температуры стенки трубопровода на подаче расплава (ЩТК1)

СФС контура регулирования температуры представлена на рисунке 3.8.

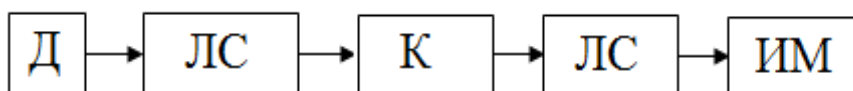


Рисунок 3.8 – СФС контура регулирования температуры стенки трубопровода

Д – Термопреобразователь «ТХА 0198»; ЛС - линия связи; К – контроллер «Siemens S7-1500», ИМ – Нагреватель «ХН2 ПХН70».

3.2.3.1 Расчет вероятности безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов ТХА 0198:

$$\lambda_i = \frac{1}{15000} = 6,67 \times 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы ТХА 0198 за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-6,67 \times 10^{-5} \times 2000} = 0,88$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} \times 2000} = 0,9802$$

3) Интенсивность отказов Siemens S7-1500:

$$\lambda_i = \frac{1}{2231610} = 4,5 \times 10^{-7} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы Siemens S7-1500:

$$P_K(2000) = e^{-4,5 \times 10^{-7} \times 2000} = 0,999$$

4) Вероятность безотказной работы ХН2 ПХН70:

$$P_{ИМ}(2000) = e^{-10^{-5} \times 2000} = 0,9802$$

3.2.3.2 Расчет показателей надежности контура регулирования температуры

Вероятность безотказной работы контура регулирования температуры трубопровода на подаче пара:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_K(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИМ}(t), \quad (3.27)$$

$$P_c = 0,88 \cdot 0,98 \cdot 0,999 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,83$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,83 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования температуры необходимо использовать резервирование элементов Д и ЛС. Таким образом, СФС контура регулирования температуры с резервированными элементами будет выглядеть следующим образом (рисунок 3.9):

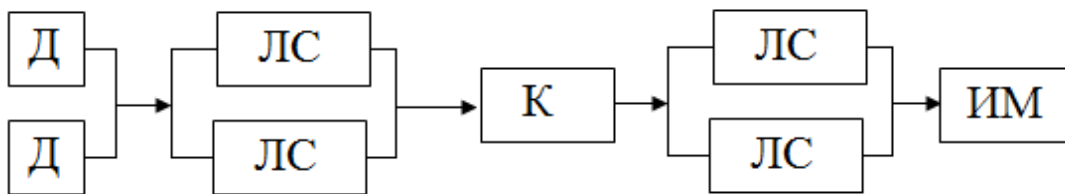


Рисунок 3.9 – СФС контура контроля температуры с резервированным Д и ЛС

Вероятность безотказной работы резервированного Д:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,88) = 0,99$$

Вероятность безотказной работы резервированной ЛС:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Таким образом, вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования температуры равна:

$$P_c = 0,99 \cdot 0,9996 \cdot 0,999 \cdot 0,9996 \cdot 0,98 = 0,969$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,969}{2000} = 1,58 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{1,58 \times 10^{-5}} = 63291 \text{ час.}$$

3.2.4 Контур регулирования давления нагнетания насоса-дозатора А-6 (ЩТК1)

СФС контура регулирования давления представлена на рисунке 3.10.

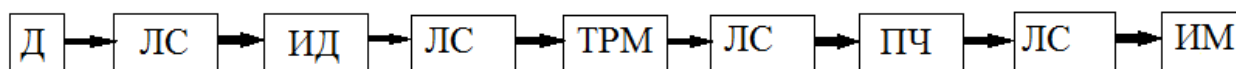


Рисунок 3.10 – СФС контура регулирования давления

Д – Датчик давления «АИР 10-Ех-М1-ДА-1062»; ЛС - линия связи; ИД – цифровой измеритель давления «ЦИ 5003Б/2», ТРМ – Измеритель одноканальный «ОВЕН ТРМ 1», ПЧ – Преобразователь частоты Danfos VLT-FC-051-0,71, ИМ – Электропривод Danfos VLT-FC-051 .

3.2.4.1 Расчет вероятностей безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов АИР 10-Ех-М1-ДА-1062:

$$\lambda_i = \frac{1}{125000} = 8 \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы АИР 10-Ех-М1-ДА-1062 за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-8 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,984$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3) Вероятность безотказной работы ЦИ 5003Б/2:

$$P_{ИД}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

4) Вероятность безотказной работы ОВЕН ТРМ 1:

$$P_{ТРМ}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

5) Интенсивность отказов Danfos VLT-FC-051-0,71:

$$\lambda_i = \frac{1}{200000} = 5 \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы Danfos VLT-FC-051-0,71 за 2000 часов:

$$P_{\text{ПЧ}}(2000) = e^{-5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,99$$

б) Вероятность безотказной работы Danfos VLT-FC-051 за 2000 часов:

$$P_{\text{ИМ}}(2000) = e^{-5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,99$$

3.2.4.2 Расчет показателей надежности контура регулирования давления

Вероятность безотказной работы контура регулирования давления нагнетания в насосе-дозаторе:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{\text{ЛС}}(t) \cdot P_{\text{ИД}}(t) \cdot P_{\text{ЛС}}(t) \cdot P_{\text{ТРМ}}(t) \cdot P_{\text{ЛС}}(t) \cdot P_{\text{ПЧ}}(t) \cdot P_{\text{ЛС}}(t) \cdot P_{\text{ИМ}}(t), \quad (3.28)$$

$$P_c = 0,984 \cdot 0,98^4 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,85$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,85 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования необходимо использовать резервирование элементов: Д и ЛС. СФС контура регулирования давления в данном случае представлена на рисунке 3.11:

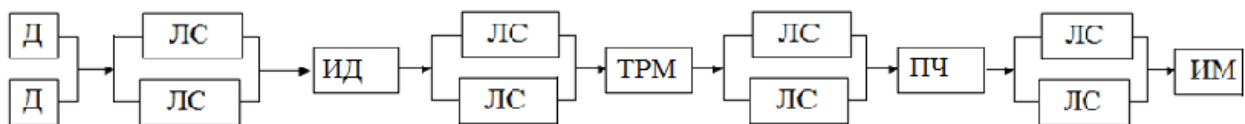


Рисунок 3.11 – СФС контура регулирования давления с резервированным Д и ЛС

Вероятность безотказной работы резервированного Д:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,984) = 0,9997$$

Вероятность безотказной работы резервированной ЛС:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Таким образом, вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования давления равна:

$$P_c = 0,9997 \cdot 0,9996^4 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,95$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,94}{2000} = 2,5 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{3 \times 10^{-5}} = 40000 \text{ час.}$$

3.2.5 Контур регулирования расхода расплава насоса-дозатора А-6 (ЩТК1)

Структурно-функциональная схема контура регулирования расхода расплава представлена на рисунке 3.12.

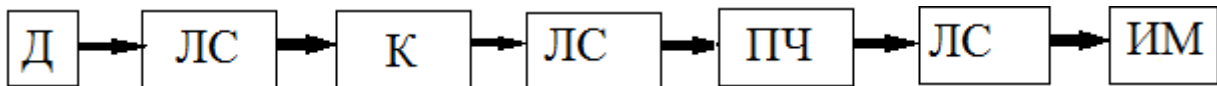


Рисунок 3.12 – СФС контура расхода расплава

Д – Расходомер «AXF 025G»; ЛС - линия связи; К – контроллер «Siemens S7-1500», ПЧ – Преобразователь частоты Danfos VLT-FC-051-0,71, ИМ – Электропривод Danfos VLT-FC-051.

3.2.5.1 Расчет вероятностей безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов AXF 025G:

$$\lambda_i = \frac{1}{180000} = 5,6 \times 10^{-6} 1/\text{ч}$$

Вероятность безотказной работы АИР AXF 025G за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-5.6 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,99$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3) Вероятность безотказной работы Siemens S7-1500:

$$P_K(2000) = e^{-4,5 \cdot 10^{-7} \cdot 2000} = 0,999$$

4) Интенсивность отказов Danfos VLT-FC-051-0,71:

$$\lambda_i = \frac{1}{200000} = 5 \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы Danfos VLT-FC-051-0,71 за 2000 часов:

$$P_{ПЧ}(2000) = e^{-5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,99$$

5) Вероятность безотказной работы Danfos VLT-FC-051 за 2000 часов:

$$P_{ИМ}(2000) = e^{-5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,99$$

3.2.5.2 Расчет показателей надежности контура регулирования расхода расплава

Вероятность безотказной работы контура расхода расплава в насосе-дозаторе:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_K(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ПЧ}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИМ}(t), \quad (3.29)$$

$$P_c = 0,99 \cdot 0,98^3 \cdot 0,999 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,91$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,91 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования расхода используем резервирование элемента ЛС. СФС контура регулирования расхода представлена на рисунке 3.13.

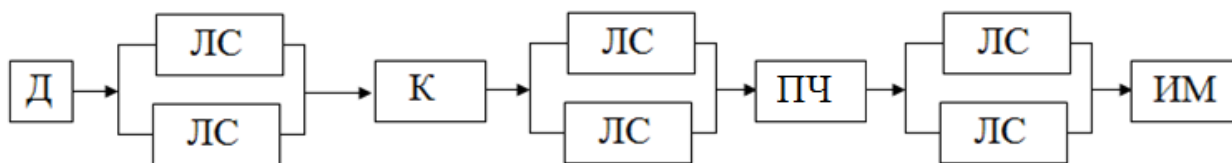


Рисунок 3.13 – СФС контура регулирования расхода с резервированной ЛС

Вероятность безотказной работы ЛС с использованием резервирования:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования расхода равна:

$$P_c = 0,99 \cdot 0,9996^3 \cdot 0,999 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,97$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,97}{2000} = 1,5 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{1,5 \times 10^{-5}} = 66666 \text{ час.}$$

3.2.6 Контур регулирования уровня плава в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)

Структурно-функциональная схема контура регулирования уровня плава представлена на рисунке 3.14.

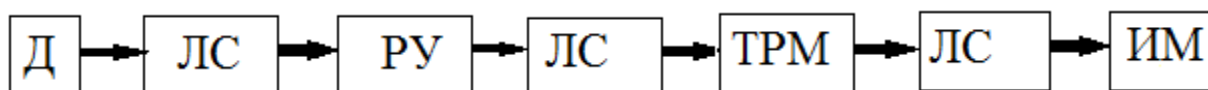


Рисунок 3.14 – СФС контура регулирования уровня плава

Д – Уровнемер «CLM-36NT-12CI»; ЛС - линия связи; РУ – Регистратор уровня «Экограф-Т», ТРМ – Измеритель двухканальный «ОВЕН 2ТРМ0», ИМ – Нагреватель «ХН2 ПХН-70».

3.2.6.1 Расчет вероятностей безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов CLM-36NT-12CI:

$$\lambda_i = \frac{1}{200000} = 5 \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы АИР AXF 025G за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-5 \times 10^{-6} \times 2000} = 0,99$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} \times 2000} = 0,9802$$

3) Интенсивность отказов Экограф-Т:

$$\lambda_i = \frac{1}{50000} = 2 \times 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

4) Вероятность безотказной работы Экограф-Т:

$$P_{PY}(2000) = e^{-2 \times 10^{-5} \times 2000} = 0,96$$

5) Интенсивность отказов ОВЕН 2ТРМ0:

$$\lambda_i = \frac{1}{100000} = 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы ОВЕН 2ТРМ0 за 2000 часов:

$$P_{ТРМ}(2000) = e^{-10^{-5} \times 2000} = 0,98$$

6) Вероятность безотказной работы ХН2 ПХН70:

$$P_{ИМ}(2000) = e^{-10^{-5} \times 2000} = 0,9802$$

3.2.6.2 Расчет показателей надежности контура регулирования уровня плава

Вероятность безотказной работы контура регулирования уровня плава в выпарном аппарате:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{PY}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ТРМ}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИМ}(t), \quad (3.30)$$

$$P_c = 0,99 \cdot 0,98^3 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,86$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,86 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования используем резервирование элементов РУ и ЛС. Структурно-функциональная схема контура регулирования с использованием аппаратного резервирования представлена на рисунке 3.15.

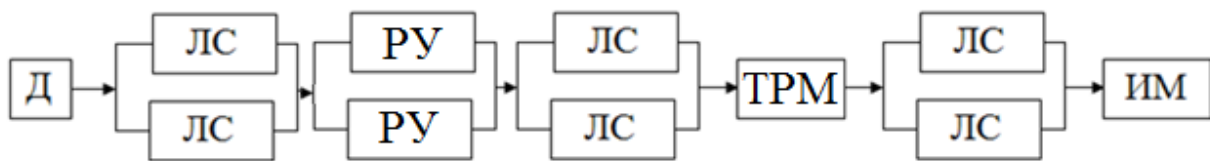


Рисунок 3.15 – СФС контура регулирования расхода с резервированными РУ и ЛС

Вероятность безотказной работы РУ с резервированием:

$$P_{\text{РУ}} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,96) = 0,998$$

Вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования температуры равна:

$$P_c = 0,99 \cdot 0,9996^3 \cdot 0,998 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,95$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,95}{2000} = 2,5 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{2,5 \times 10^{-5}} = 40000 \text{ час.}$$

3.2.7 Контур регулирования давления в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)

СФС контура регулирования давления в выпарном аппарате представлена на рисунке 3.16.

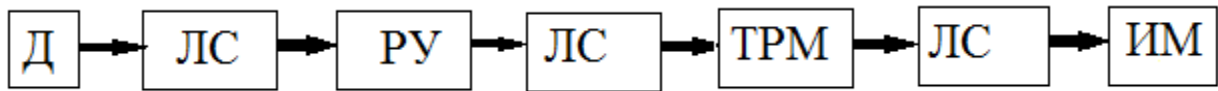


Рисунок 3.16 – СФС контура регулирования давления

Д – Датчик давления «DMP 330L»; ЛС - линия связи; РУ – Регистратор уровня «Экограф-Т», ТРМ – Измеритель двухканальный «ОВЕН 2ТРМ0», ИМ – Нагреватель «ХН2 ПХН-70».

3.2.7.1 Расчет вероятностей безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов DMP 330L:

$$\lambda_i = \frac{1}{10000000} = 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы DMP 330L за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,98$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{\text{ЛС}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3) Интенсивность отказов Экограф-Т:

$$\lambda_i = \frac{1}{50000} = 2 \times 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы Экограф-Т:

$$P_{\text{РУ}}(2000) = e^{-2 \times 10^{-5} \cdot 2000} = 0,96$$

4) Интенсивность отказов ОВЕН 2ТРМ0:

$$\lambda_i = \frac{1}{100000} = 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы ОВЕН 2ТРМ0 за 2000 часов:

$$P_{\text{ТРМ}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,98$$

5) Вероятность безотказной работы ХН2 ПХН70:

$$P_{\text{ИМ}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3.2.7.2 Расчет показателей надежности контура регулирования давления

Вероятность безотказной работы контура регулирования давления в выпарном аппарате:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{РУ}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ТРМ}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИМ}(t), \quad (3.31)$$

$$P_c = 0,98 \cdot 0,98^3 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,85$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,85 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования давления используем резервирование элементов: Д, РУ и ЛС. СФС контура регулирования давления в выпарном аппарате представлена на рисунке 3.17.

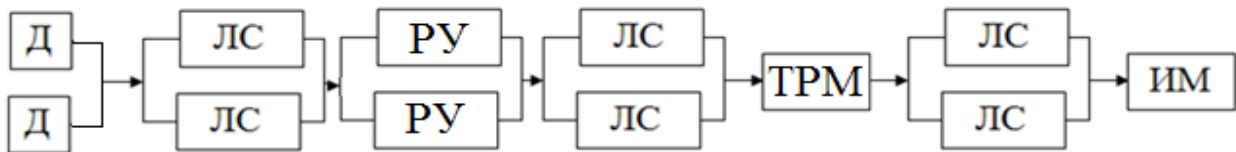


Рисунок 3.17 – СФС контура регулирования расхода с резервированными РУ и ЛС

Вероятность безотказной работы резервированного Д:

$$P_d = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Таким образом, вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования давления равна:

$$P_c = 0,9996 \cdot 0,9996^3 \cdot 0,998 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,96$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,96}{2000} = 2 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{2 \times 10^{-5}} = 50000 \text{ час.}$$

3.2.8 Контур регулирования температуры плава в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)

СФС контура регулирования температуры плава в выпарном аппарате представлена на рисунке 3.18.

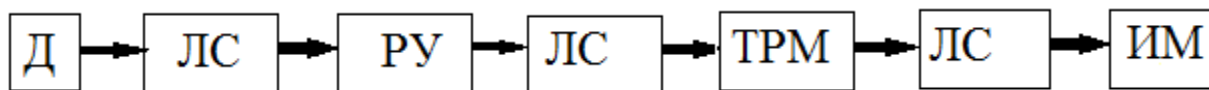


Рисунок 3.18 – СФС контура регулирования температуры плава в выпарном аппарате

Д – Термометр «ТС 1088/1»; ЛС - линия связи; РУ – Регистратор уровня «Экограф-Т», ТРМ – Измеритель двухканальный «ОВЕН 2ТРМ0», ИМ – Нагреватель «ХН2 ПХН-70».

3.2.8.1 Расчет вероятностей безотказной работы контура

- 1) Интенсивность отказов ТС 1088/1:

$$\lambda_i = \frac{1}{15000} = 6,67 * 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы DMP 330L за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-6,67 * 10^{-5} * 2000} = 0,88$$

- 2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} * 2000} = 0,9802$$

- 3) Интенсивность отказов Экограф-Т:

$$\lambda_i = \frac{1}{50000} = 2 * 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

- 4) Вероятность безотказной работы Экограф-Т:

$$P_{РУ}(2000) = e^{-2 * 10^{-5} * 2000} = 0,96$$

- 5) Интенсивность отказов ОВЕН 2ТРМ0:

$$\lambda_i = \frac{1}{100000} = 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы ОВЕН 2ТРМ0 за 2000 часов:

$$P_{\text{ТРМ}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,98$$

б) Вероятность безотказной работы ХН2 ПХН70:

$$P_{\text{ИМ}}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3.2.8.2 Расчет показателей надежности контура регулирования температуры

Вероятность безотказной работы контура регулирования температуры в выпарном аппарате:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{\text{ЛС}}(t) \cdot P_{\text{РУ}}(t) \cdot P_{\text{ЛС}}(t) \cdot P_{\text{ТРМ}}(t) \cdot P_{\text{ЛС}}(t) \cdot P_{\text{ИМ}}(t), \quad (3.32)$$

$$P_c = 0,88 \cdot 0,98^3 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,76$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,76 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования используем резервирование элементов: Д, РУ и ЛС. Структурно-функциональная схема контура регулирования температуры представлена на рисунке 3.19.

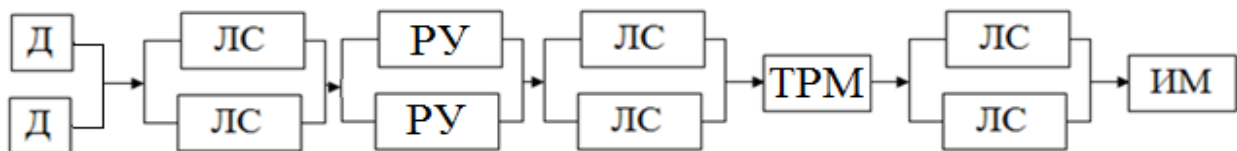


Рисунок 3.19 – СФС контура регулирования температуры с резервированными РУ и ЛС

Вероятность безотказной работы резервированного Д:

$$P_d = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,88) = 0,99$$

Вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования температуры равна:

$$P_c = 0,99 \cdot 0,9996^3 \cdot 0,998 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,95$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,95}{2000} = 2,5 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{2,5 \times 10^{-5}} = 40000 \text{ час.}$$

3.2.9 Контур регулирования уровня плава в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)

Структурно-функциональная схема контура регулирования уровня представлена на рисунке 3.20.

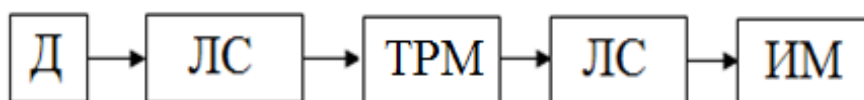


Рисунок 3.20 – СФС контура регулирования уровня плава

Д – Сигнализатор уровня «LVL-АН-G15»; ЛС - линия связи; ТРМ – Измеритель двухканальный «ОВЕН 2ТРМ0», ИМ – Нагреватель «ХН2 ПХН-70».

3.2.9.1 Расчет вероятностей безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов LVL-АН-G15:

$$\lambda_i = \frac{1}{200000} = 5 \times 10^{-6} 1/\text{ч}$$

Вероятность безотказной работы ТХА 0198 за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-5 \times 10^{-6} \times 2000} = 0,99$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} \times 2000} = 0,9802$$

3) Интенсивность отказов ОВЕН 2ТРМ0:

$$\lambda_i = \frac{1}{100000} = 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Вероятность безотказной работы ОВЕН 2ТРМ0 за 2000 часов:

$$P_{ТРМ}(2000) = e^{-10^{-5} \times 2000} = 0,98$$

4) Вероятность безотказной работы ХН2 ПХН70:

$$P_{ИМ}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3.2.9.2 Расчет показателей надежности контура регулирования уровня

Вероятность безотказной работы контура регулирования уровня плава в выпарном аппарате:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ТРМ}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИМ}(t), \quad (3.33)$$

$$P_c = 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,91$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,91 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования используем резервирование элементов: ТРМ и ЛС. Структурно-функциональная схема контура регулирования температуры представлена на рисунке 3.21.

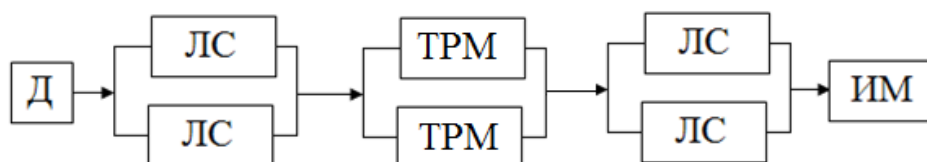


Рисунок 3.21 – СФС контура регулирования уровня с резервированным ТРМ и ЛС

Вероятность безотказной работы резервированного ТРМ:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Вероятность безотказной работы резервированной ЛС:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,98) = 0,9996$$

Вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования уровня равна:

$$P_c = 0,99 \cdot 0,9996 \cdot 0,9996 \cdot 0,9996 \cdot 0,98 = 0,969$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,969}{2000} = 1,58 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{1,58 \times 10^{-5}} = 63291 \text{ час.}$$

3.2.10 Контур регулирования температуры стенки в выпарном аппарате А-2, А-3 (ЩТК2, ЩТК3)

Структурно-функциональная схема контура регулирования температуры стенки представлена на рисунке 3.22.

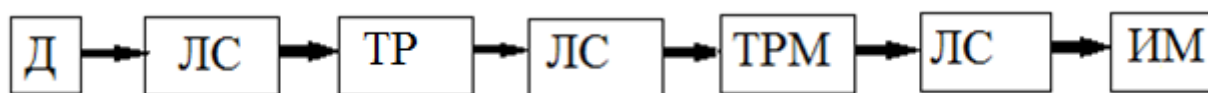


Рисунок 3.22 – СФС контура регулирования температуры стенки

Д – Термопреобразователь «ТП 0198»; ЛС - линия связи; ТР – Терморегулятор E5CC-QX3A5M-003, ТРМ – Измеритель Одноканальный «ОВЕН ТРМ1», ИМ – Нагреватель «ХН2 ПХН-70».

3.2.10.1 Расчет вероятностей безотказной работы контура

1) Интенсивность отказов ТП 0198:

$$\lambda_i = \frac{1}{15000} = 6,67 * 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Вероятность безотказной работы ТП 0198 за 2000 часов:

$$P_d(2000) = e^{-6,67 * 10^{-5} * 2000} = 0,88$$

2) Вероятность безотказной работы линии связи за 2000 часов:

$$P_{ЛС}(2000) = e^{-10^{-5} * 2000} = 0,9802$$

3) Интенсивность отказов E5CC-QX3A5M-003:

$$\lambda_i = \frac{1}{200000} = 5 \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы E5CC-QX3A5M-003:

$$P_{ТР}(2000) = e^{-5 \times 10^{-6} \cdot 2000} = 0,99$$

4) Интенсивность отказов ОВЕН ТРМ1:

$$\lambda_i = \frac{1}{100000} = 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Вероятность безотказной работы ОВЕН ТРМ1 за 2000 часов:

$$P_{ТРМ}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,98$$

5) Вероятность безотказной работы ХН2 ПХН70:

$$P_{ИМ}(2000) = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9802$$

3.2.10.2 Расчет показателей надежности контура регулирования температуры

Вероятность безотказной работы контура регулирования температуры стенки в выпарном аппарате:

$$P_c = P_d(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ТР}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ТРМ}(t) \cdot P_{ЛС}(t) \cdot P_{ИМ}(t), \quad (3.34)$$

$$P_c = 0,88 \cdot 0,98^3 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,79$$

Вероятность безотказной работы контура за 2000 часов работы имеет показатель равный 0,79 что говорит о том, что контур не является достаточно надежным, поскольку требуемое значение равняется 0,95.

С целью повышения надежности контура регулирования используем резервирование элементов: Д, ТРМ и ЛС. Структурно-функциональная схема контура регулирования температуры представлена на рисунке 3.23.

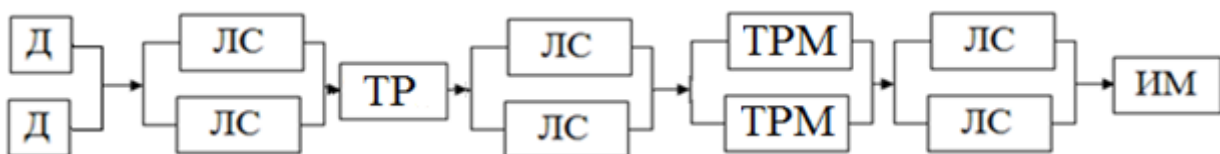


Рисунок 3.23 – СФС контура регулирования температуры с резервированными РУ и ЛС

Вероятность безотказной работы резервированного Д:

$$P_D = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - 0,88) = 0,99$$

Вероятность безотказной работы резервированного контура регулирования температуры равна:

$$P_c = 0,99 \cdot 0,9996^3 \cdot 0,99 \cdot 0,9996 \cdot 0,98 = 0,96$$

Интенсивность отказов контура равна:

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,96}{2000} = 2 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Средняя наработка до отказа контура:

$$T_c = \frac{1}{2 \times 10^{-5}} = 50000 \text{ час.}$$

Таблица 3.3 – Сводные результаты

Контур	Вероятность безотказной работы	Средняя наработка на отказ контура, ч	Задание
1	0,96	50000	0,95
2	0,977	83333	0,95
3	0,969	63291	0,95
4	0,95	40000	0,95
5	0,97	66666	0,95
6	0,95	40000	0,95
7	0,96	50000	0,95
8	0,95	40000	0,95
9	0,969	63291	0,95
10	0,96	50000	0,95

3.3 Метод последовательного перебора состояний системы

3.3.1 Контур контроля давления (на отводе пара из конденсатора А-3-1, ЩТК1)

Структурно-функциональная схема контура контроля представлена на рисунке 3.24.

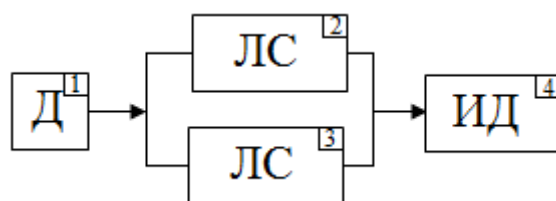


Рисунок 3.24 – СФС контура контроля давления с резервированной ЛС

Вероятность работоспособности каждого элемента составляет:

$$P_1(2000) = 0,9802;$$

$$P_2(2000) = 0,98;$$

$$P_3(2000) = 0,98;$$

$$P_4(2000) = 0,98;$$

Вероятность отказа каждого элемента определяется по формуле:

$$Q_i(t) = 1 - P_i(t);$$

Определим вероятности отказа каждого элемента контура:

$$Q_1(2000) = 0,02;$$

$$Q_2(2000) = 0,02;$$

$$Q_3(2000) = 0,02;$$

$$Q_4(2000) = 0,02.$$

Таблица 3.4 – Таблица состояний контура контроля давления

№	1	2	3	4	Состояние контура	Вероятность состояния
1	+	+	+	+	+	$P_1P_2P_3P_4$
2	+	-	+	+	+	$P_1Q_2P_3P_4$
3	+	+	-	+	+	$P_1P_2Q_3P_4$
4	+	+	+	-	-	$P_1P_2P_3Q_4$
5	-	+	+	+	-	$Q_1P_2P_3P_4$
6	-	-	+	+	-	$Q_1Q_2P_3P_4$
7	-	+	-	+	-	$Q_1P_2Q_3P_4$
8	-	+	+	-	-	$Q_1P_2P_3Q_4$
9	+	-	-	+	-	$P_1Q_2Q_3P_4$
10	+	-	+	-	-	$P_1Q_2P_3Q_4$
11	-	+	-	+	-	$Q_1P_2Q_3P_4$
12	+	-	-	-	-	$P_1Q_2Q_3Q_4$
13	-	+	-	-	-	$Q_1P_2Q_3Q_4$
14	-	-	-	+	-	$Q_1Q_2Q_3P_4$
15	-	-	+	-	-	$Q_1Q_2P_3Q_4$
16	-	-	-	-	-	$Q_1Q_2Q_3Q_4$

В таблице 3.4 знаком «+» отмечены работоспособные состояния элементов, а знаком «-» — неработоспособные состояния.

При проведении анализа работоспособности каждого состояния системы необходимо учитывать не только количество отказавших элементов, а также их положение в схеме. При независимых отказах вероятность каждого из работоспособных состояний системы определится как произведение вероятностей нахождения элементов в соответствующих состояниях. При количестве состояний, равном n , вероятность безотказной работы системы определится как сумма вероятностей всех работоспособных состояний по следующей формуле:

$$P = \sum_{j=1}^n \prod_{l_j} P_{l_j} \prod_{k_j} Q_{k_j}, \quad (3.35)$$

где: P_i — вероятность безотказной работы i -го элемента,

Q_i — вероятность отказа i -го элемента.

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4 + P_1 Q_2 P_3 P_4 + P_1 P_2 Q_3 P_4 = 0,98^4 + (0,98^3 \cdot 0,02) + (0,98^3 \cdot 0,02) = 0,96$$

3.3.2 Контур контроля температуры в конденсаторе А-3-1 (ЩТК1)

Структурно-функциональная схема контура контроля представлена на рисунке 3.25.

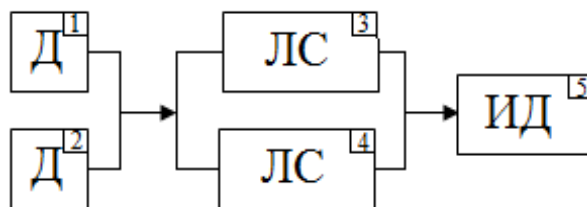


Рисунок 3.25 – СФС контура контроля температуры с резервированным Д и ЛС

Вероятность работоспособности каждого элемента составляет:

$$P_1(2000) = 0,942;$$

$$P_2(2000) = 0,942;$$

$$P_3(2000) = 0,98;$$

$$P_4(2000) = 0,98;$$

$$P_5(2000) = 0,98;$$

Вероятность отказа каждого элемента контура:

$$Q_1(2000) = 0,058;$$

$$Q_2(2000) = 0,058;$$

$$Q_3(2000) = 0,02;$$

$$Q_4(2000) = 0,02;$$

$$Q_5(2000) = 0,02.$$

Стоит отметить, что метод прямого перебора эффективен только при незначительном количестве элементов n , поскольку число состояний системы составляет 2^n . Соответственно, для схемы, представленной на рисунке 3.24 количество состояний системы составит 16, а для схемы, изображенной на рисунке 3.25 количество состояний системы будет равным 32. Для упрощения расчета, будем включать в таблицу состояний только сочетания, отвечающие работоспособному состоянию контура в целом.

Таблица 3.5 – Таблица работоспособных состояний контура контроля температуры

№	1	2	3	4	5	Вероятность состояния
1	+	+	+	+	+	$P_1P_2P_3P_4P_5$
2	-	+	+	+	+	$Q_1P_2P_3P_4P_5$
3	+	-	+	+	+	$P_1Q_2P_3P_4P_5$
4	+	+	-	+	+	$P_1P_2Q_3P_4P_5$
5	+	+	+	-	+	$P_1P_2P_3Q_4P_5$
6	-	+	-	+	+	$Q_1P_2Q_3P_4P_5$
7	+	-	+	-	+	$P_1Q_2P_3Q_4P_5$
8	-	+	+	-	+	$Q_1P_2P_3Q_4P_5$
9	+	-	-	+	+	$P_1Q_2Q_3P_4P_5$

Исходя из данных представленных в таблице 4, определим вероятность безотказной работы контура:

$$P = P_1P_2P_3P_4P_5 + Q_1P_2P_3P_4P_5 + P_1Q_2P_3P_4P_5 + P_1P_2Q_3P_4P_5 + P_1P_2P_3Q_4P_5 + Q_1P_2Q_3P_4P_5 + P_1Q_2P_3Q_4P_5 + Q_1P_2P_3Q_4P_5 + P_1Q_2Q_3P_4P_5 = 0,942^2 \cdot 0,98^3 + 2 \cdot (0,058 \cdot 0,942 \cdot 0,98^3) + 2 \cdot (0,942^2 \cdot 0,02 \cdot 0,98^2) + 4 \cdot (0,058 \cdot 0,942 \cdot 0,02 \cdot 0,98^2) = 0,977$$

3.3.3 Реализация метода последовательного перебора системы на языке C++

Алгоритмизация метода последовательного перебора.

СФС контура регулирования температуры представлена на рисунке 3.26.

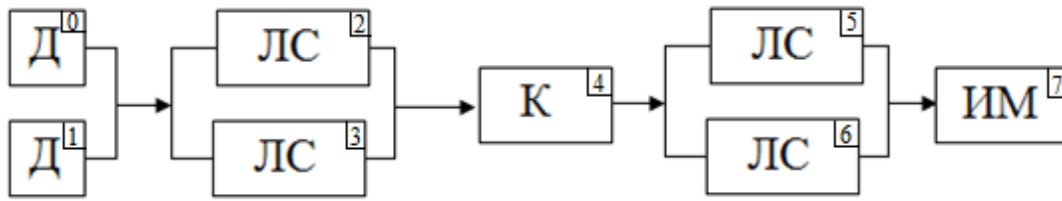


Рисунок 3.26 – СФС контура контроля температуры с резервированным Д и ЛС

В соответствии с исходными данными в таблице 3.6 приведены значения показателя интенсивности отказа для каждого элемента.

Таблица 3.6 – Интенсивность отказов для каждого элемента СФС

№	0	1	2	3	4	5	6	7
λ_i 1/ч	0,000067	0,000067	0,00001	0,00001	0,00000045	0,00001	0,00001	0,00001

Алгоритм для расчета надежности методом последовательного перебора на языке С++ представлен в приложении И.

Результат расчета представлен на рисунке 3.27.

```

p_i[0] = 0.87459      q_i[0] = 0.12541
p_i[1] = 0.87459      q_i[1] = 0.12541
p_i[2] = 0.980199     q_i[2] = 0.0198013
p_i[3] = 0.980199     q_i[3] = 0.0198013
p_i[4] = 0.9991      q_i[4] = 0.000899595
p_i[5] = 0.980199     q_i[5] = 0.0198013
p_i[6] = 0.980199     q_i[6] = 0.0198013
p_i[7] = 0.980199     q_i[7] = 0.0198013
P(t) = 0.979221
    
```

Рисунок 3.27 – Результат расчета надежности контура регулирования температуры

Результаты расчета с применением языка С++ для всех контуров АСУ ТП представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты расчетов

Контур	Вероятность безотказной работы	Вероятность безотказной работы при ПП на ЭВМ	СКО%
1	0,96	0,96	0,000335555
2	0,977	0,978	
3	0,969	0,979	
4	0,95	0,95	
5	0,97	0,97	
6	0,95	0,95	
7	0,96	0,96	
8	0,95	0,96	
9	0,969	0,97	
10	0,96	0,97	

Как видно из данных представленных в таблице 3.7, среднеквадратичное отклонение результатов полученных на ЭВМ от результатов полученных с помощью метода структурной схемы составляет 0,00034%, из чего следует что написанная программа работает правильно и ее целесообразно использовать для автоматизации процесса расчета аппаратной надежности.

4 Оценка программной надежности АСУ ТП. Разработка приложения для расчета надежности ПО

4.1 Понятие надежности программы

Программа, не содержащая ошибок считается правильной. Такая программа считается абсолютно надежной, поскольку она не дает неверные результаты. На основании данного факта сформировалось представление о том, что количество ошибок в программе можно рассматривать как наиболее естественную меру надежности [22]. Надежность программы не зависит от количества ошибок, находящихся в ней, поскольку:

1. Число ошибок в программе - величина «ненаблюдаемая», т.е. проявляется их результат, сами ошибки мы видеть не можем.

2. Программа может функционировать неправильно не из-за одной, а сразу нескольких ошибок.

3. Ошибки могут быть взаимосвязаны между собой и компенсировать друг друга, так что после исправления одной ошибки программа может начать «работать хуже».

4. Надежность является характеристикой и показывает частоту проявления ошибок, в то же время ошибки могут появляться с различной частотой: некоторые ошибки могут оставаться невыявленными даже после нескольких месяцев и лет эксплуатации. Также существуют примеры программ, обладающих нулевой надежностью, в которых одна единственная ошибка приводит к неверной работе программы при любых исходных данных [22].

Также следует отметить тот факт, что если число ошибок рассматривать как меру надежности, то по терминологии теории вероятности — данное число есть случайная величина, однако вопрос, на каком пространстве элементарных событий она задана, нигде не затрагивался. Важно отметить, что при исправлении ошибки или коррекции кода получается программа с новым показателем надежности.

Следовательно, можно прийти к выводу о том, что количество ошибок в программе описывает не саму программу, а ее изготовителей, а также используемый инструментарий.

4.1.1 Классификация моделей надежности ПО

Модели надежности используют для количественной оценки показателей надежности программного обеспечения. Под моделями надежности понимаются математические модели, построенные для оценки зависимости надежности программы от известных заранее или определенных в ходе выполнения программы параметров. Необходимо более детально подходить к выбору методик для оценки надежности ПО, а также учитывать применимость выбранных методик для различных стадий жизненного цикла программы, устанавливать порядок совместного использования для определения надежности на протяжении всего жизненного цикла программы.

Перед разработкой ПО необходимо дать определение понятию жизненного цикла программы как совокупности следующих стадий:

- разработка – на данной стадии осуществляется проектирование, программирование, испытания;
- производство – на данной стадии осуществляется тиражирование, поставка, ввод в эксплуатацию;
- использование – на данной стадии осуществляется сопровождение, снятие с эксплуатации программы.

Модели оценки надежности ПО в большинстве случаев уделяют особое внимание этапам жизненного цикла программы, связанным со стадией разработки. Данный факт обусловлен необходимостью достижения заданного уровня надежности как можно раньше, для того чтобы на дальнейших стадиях жизненного цикла программы нести затраты, которые требуются только для поддержания достигнутого уровня надежности.

По прохождению всех стадий жизненного цикла в ПО возникают новые

свойства: при проектировании описывается алгоритм обработки данных, который на стадии программирования принимает программные свойства и на стадии испытания становится программным средством. После чего заканчивается этап разработки и начинается этап производства, на котором программа тиражируется и преобразуется в программный продукт и в последствии поставляется потребителю. На стадии использования ПО готовый продукт превращается из предмета труда в орудие труда. Стадия сопровождения – обеспечивает совокупность действий, направленных на поддержание работоспособности программного обеспечения у пользователя [23].

На основании вышесказанного стоит отметить, что существует потребность в определении надежности ПО на всех стадиях его жизненного цикла.

Существующая классификация моделей надежности программного обеспечения представлена на рисунке 4.1.

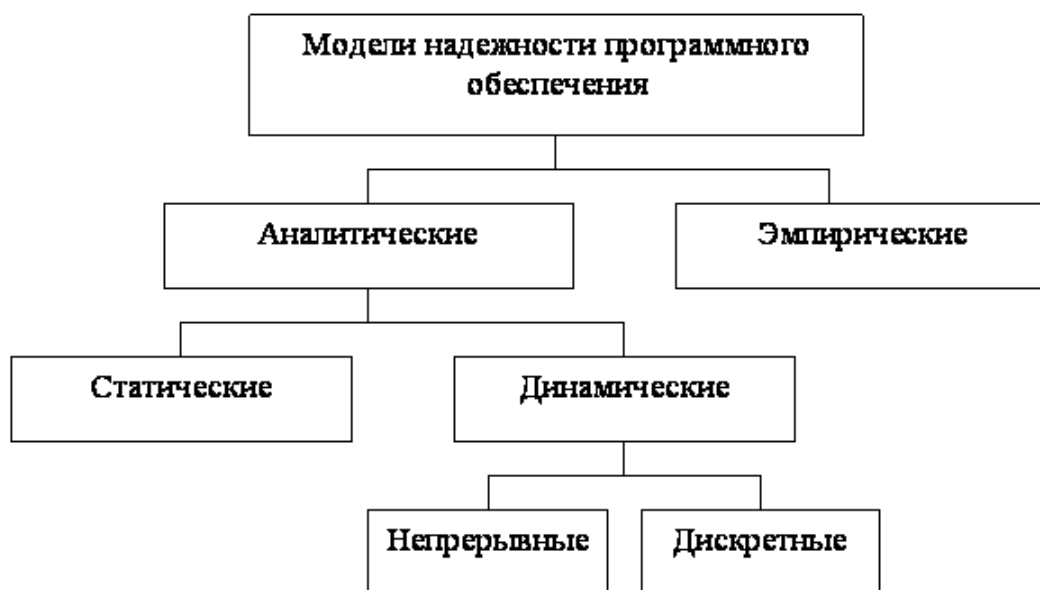


Рисунок 4.1 – Классификация моделей надежности программного обеспечения

4.1.2 Непрерывные динамические модели

Функционирование ПО описывается графом состояний, представленным на рисунке 4.2. Где S_i – состояние системы, когда произошел i -й по счету отказ,

λ_i – интенсивность наступления следующего ($i + 1$) по счету отказа.

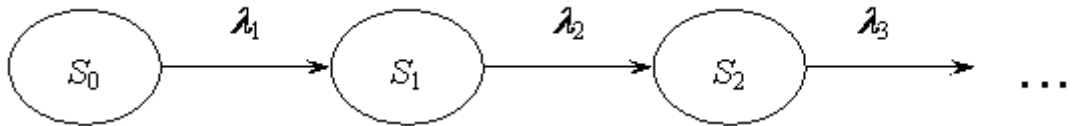


Рисунок 4.2 – Граф состояний функционирования программного обеспечения

Зададим зависимость интенсивности наступления следующего отказа от числа уже наступивших отказов, например:

$$\lambda_i = \lambda_0 r^i, \quad (4.1)$$

где $r < 1$.

Значения λ_0 и r оцениваются статистически по данным о моментах отказов.

Рассмотрим процессы, которые происходят в результате отказов и восстановлений ПО. Если λ_i принять как случайную величину с функцией распределения $l(t)$, то данная функция является монотонно убывающей, поскольку со временем интенсивность отказов уменьшается. После исправления программы мгновенная интенсивность отказов резко уменьшается скачком (точки 1 и 2 на рисунке 4.3).

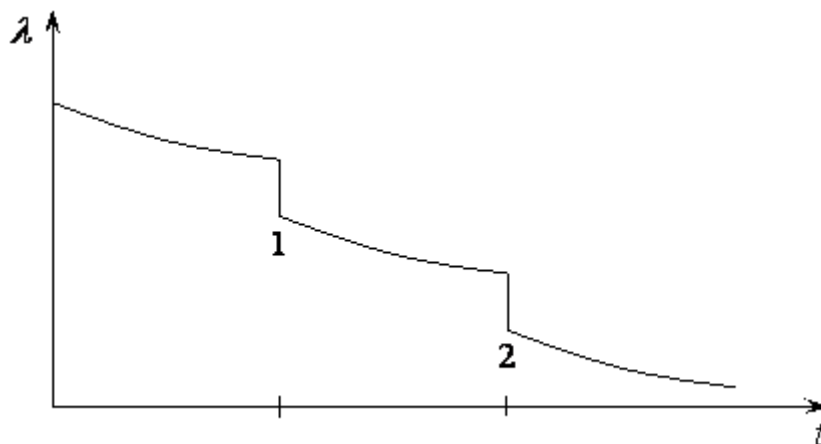


Рисунок 4.3 – График зависимости интенсивности отказов от времени

Рассмотрим существующие модели, для расчета показателей надежности программного обеспечения.

Модель Джелинского-Моранды. Данная модель основана на допущении о том, что время до следующего отказа распределено экспоненциально, а интенсивность отказов программы является величиной

пропорциональной количеству ошибок оставшихся в программе [24].

Согласно данным допущениям вероятность безотказной работы ПО как функции времени t_i равна:

$$P(t_i) = e^{-\lambda t}, \quad (4.2)$$

интенсивность отказов:

$$\lambda_i = C_D(N - (i - 1)). \quad (4.3)$$

где: N – первоначальное количество ошибок;

C_D – коэффициент пропорциональности.

В (4.1) отсчет времени начинается с момента последнего $(i - 1)$ -го отказа программы.

Используя метод максимального правдоподобия на основании (4.1), где k – номер прогнозируемого отказа, получим, что функция правдоподобия имеет вид:

$$F = \prod_{i=1}^{k-1} C_D(N - i + 1)e^{-C_D(N-i+1)t_i}, \quad (4.4)$$

Логарифмическая функция правдоподобия:

$$L = \ln F = \sum_{i=1}^{k-1} [\ln(C_D(N - i + 1)) - C_D(N - i + 1)t_i], \quad (4.5)$$

Имеем условие для нахождения экстремума:

$$\frac{\partial L}{\partial C_D} = \sum_{i=1}^{k-1} \left[\frac{1}{C_D} - (N - i + 1)t_i \right] = 0, \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial N} = \sum_{i=1}^{k-1} \left[\frac{1}{(N-i+1)} - (C_D)t_i \right] = 0. \quad (4.7)$$

Из (4.6) имеем:

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N-i+1}}{\sum_{i=1}^{k-1} t_i}. \quad (4.8)$$

Подставим (4.7) в (4.5). После чего имеем:

$$(k - 1) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{k-1} t_i}{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N-i+1}} = \sum_{i=1}^{k-1} (N - i + 1)t_i, \quad (4.9)$$

При известных значениях k, t_1, t_2, \dots, t_k из (4.7) и (4.8) можно определить значения параметров модели C_D и N , а после чего интенсивность отказов, время от последнего до следующего отказа t_{k+1} , вероятность безотказной работы через время t_{k+1} после последнего отказа [24].

Модель Маркова. Данная модель позволяет осуществить оценку и предсказание вероятного количества ошибок, которые, основываясь на результатах предварительного моделирования интенсивности ошибок l , а также принятой системы исправления ошибок, работающей с интенсивностью m , будут исправлены в заданное время. Модель позволяет получить предсказания для готовности $A(t)$ и надежности $R(t)$ программного обеспечения [25].

Основные ограничения разрабатываемой модели:

- любая ошибка считается случайной и градация последствий, которые она порождает не учитывается;
- интенсивность появления ошибок является постоянной величиной равной l ;
- интенсивность исправления ошибок является постоянной величиной и равна m ;
- переход из одного состояния системы в другое осуществляется мгновенно.

Рассмотрим систему, которая начинает работу в момент времени $t = 0$. Данная система будет работать до появления ошибки в соответствии с предопределенным критерием. Результатами эксперимента являются отрезки времени, за которые могут произойти отказы в работе. Тогда переменная t' времени случайного сбоя может быть определяется как:

$$t'(\xi) = \xi; \xi \geq 0, \quad (4.10)$$

где ξ – расположение точек на дискретной временной оси эксперимента. Допустим, что случайная переменная t' имеет следующую функцию распределения:

$$F(t) = P\{\xi: t(\xi) \leq t\}, \quad (4.11)$$

и, если она существует, тогда плотность функции распределения будет:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}. \quad (4.12)$$

Надежность системы $R(t)$ определяется вероятностью отсутствия сбоя в интервале $[0, t]$:

$$R(t) = P\{t' \geq t\}. \quad (4.13)$$

Под готовностью системы к моменту времени t понимается вероятность работоспособности системы во время t :

$$A(t) = P. \quad (4.14)$$

Допустим, что в начальный период времени ($t = 0$), а система содержит неизвестное число (p) ошибок. В качестве начала отсчета времени работы системы определим начало стадии тестирования программы. Примем, что процессы обнаружения и исправления ошибок реализованы последовательно и попеременно [25].

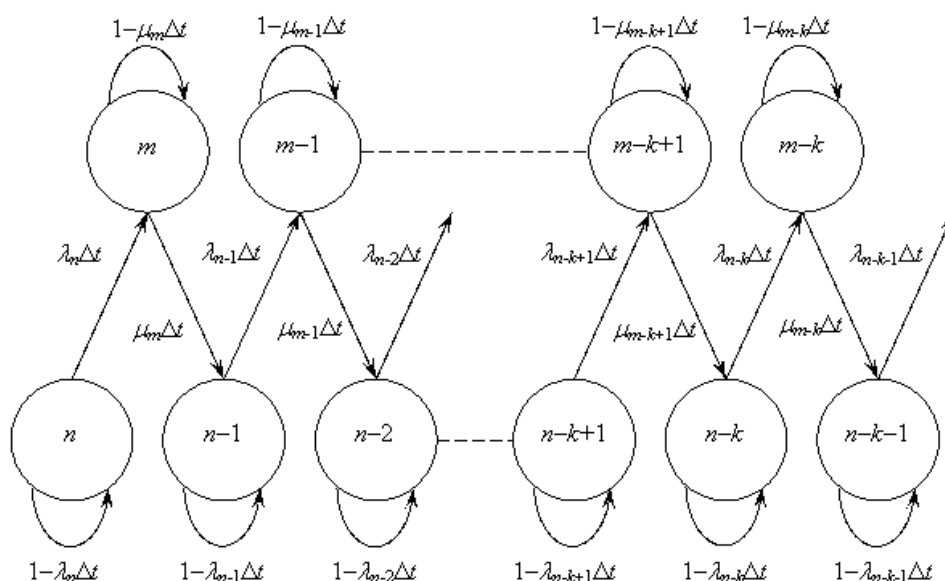


Рисунок 4.4 – Модель многих состояний для оценки характеристик ПО

Ряд состояний системы $\{n, n - 1, n - 2, \dots\}$ соответствует процессам обнаружения ошибок. Для устранения ошибок необходимо определить состояния системы $\{t, t - 1, t - 2, \dots\}$. Система будет находиться в состоянии $(n - k)$, если ошибка $(k - 1)$ уже исправлена, а ошибка k еще не обнаружена. В то же время после того, как ошибка k обнаружена, но еще не исправлена система будет находиться в состоянии $(t - k)$. Общая схема модели с указанием вероятностей перехода между состояниями приведена на рисунке 4.4.

Допустим, что $S'(t)$ случайная переменная, характеризующая состояние системы в момент времени t . Эксперимент осуществлен таким образом, что в некоторый момент времени предполагаем что система остановлена, после чего

наблюдаем ее состояние. Пространство возможных состояний S системы представлено как:

$$S = \{n, m, n-1, m-1, n-2, m-2, \dots\}.$$

Допустим, что в моменты $t_1 < t_2 < \dots < t_i < \dots < t$ (любая последовательность наблюдений) последовательность случайных переменных $S'(t_1), S'(t_2), \dots, S'(t)$ для любого положительного целого числа l будет удовлетворять следующему равенству:

$$P\{S'(t) = r; S'(t_i) = r - 1, S'(t_{i-1}) = r - 2, \dots, S'(t_1) = r - i\} = P\{S'(t) = r; S'(t_i) = r - 1\}, \quad (4.15)$$

где $r, r-1, r-2, \dots, r-t$ соответствуют последовательности состояний $(n-k), (m-k+1), (n-k+1), \dots, (n-2), (m-1), (n-1), m, n$.

Таким образом, любое состояние модели будет определено рядом переходных вероятностей $\{P_{ij}\}$, где P_{ij} есть вероятность перехода из состояния i в состояние j , которая не зависит от предшествующих и последующих состояний системы, кроме состояний i и j . Вероятность перехода из состояния $(n-k)$ относится к состоянию $(n-k-1)$ и равна $\lambda_{n-k}\Delta t$ при $k = 0, 1, 2, \dots$. Аналогично этому вероятность перехода из состояния $(m-k)$ относится к состоянию $(m-k-1)$ и равна $\mu_{m-k}\Delta t$ при $k = 0, 1, 2, \dots$.

Интенсивности перехода λ_j и μ_j зависят от текущего состояния системы. Для системы ПО λ_j означает интенсивность возникновения (проявления), а μ_j – интенсивность устранения ошибок. Полная матрица переходных вероятностей системы примет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} 1 - \lambda_n \Delta t & \lambda_n \Delta t & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 - \mu_m \Delta t & \mu_m \Delta t & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 - \lambda_{n-1} \Delta t & \lambda_{n-1} \Delta t & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 - \mu_{m-1} \Delta t & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 - \lambda_{n-k} \Delta t & \lambda_{n-k} \Delta t & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 - \mu_{m-k} \Delta t & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (4.16)$$

После чего необходимо определить выражения для готовности $A(t)$ и надежности $R(t)$ системы в терминах занятости и вероятности состояния

системы:

$$P_{n-k}(t) = P\{S'(t) = n - k\}; k = 0, 1, 2, \dots; \quad (4.17)$$

$$P_{m-k}(t) = P\{S'(t) = m - k\}; k = 0, 1, 2, \dots; \quad (4.18)$$

Получим выражение для готовности системы ко времени t на основе ее определения:

$$A(t) = \sum_{k=0}^{\infty} P_{n-k}(t), \quad (4.19)$$

Готовность системы ко времени t определяется как результат сложения всех вероятностей состояний занятости.

Надежность системы также зависит от степени ее отладки, т.е. чем выше степень отладки системы, тем выше показатель ожидаемой надежности. Допустим, что к моменту t система только вошла в состояние $(n - k)$, т. е. ошибка k является только что устраненной. Определим это время как t . Тогда в интервале времени $(0, T_{k+1})$, где $t = T_{k+1}$ может появиться ошибка $(k + 1)$ при принятой постоянной проявления интенсивности ошибок l_k .

На основании функции надежности, определяющей вероятность отсутствия сбоев в интервале времени от 0 до t , $R(t) = e^{-\lambda t}$, имеем выражение для надежности:

$$R_k(\tau) = e^{-\lambda_k \tau}; 0 \leq \tau \leq T_{k+1}; k = 0, 1, 2, \dots \quad (4.20)$$

Предполагается, что данная модель в начальный период времени используется со значениями l и m , которые получены на базе накопления прошлого опыта. Дальнейшее повышение точности анализа возможно при использовании данных предыдущего моделирования, благодаря тому, что последующая работа модели позволяет накопить данные об ошибках [25].

4.1.3 Дискретные модели

Дискретные модели подразумевают в начале проведение тестирования ПО. В случае нахождения отказов находятся и исправляются ошибки, которые привели к отказам. После чего наступает стадия эксплуатации программного обеспечения.

Модель Шумана. В данной модели существует несколько этапов тестирования. На каждом этапе осуществляется выполнение программы по набору тестовых данных. Найденные ошибки в процессе тестирования регистрируются, однако не исправляются. На стадии завершения этапа все найденные ошибки исправляются, тестовые наборы корректируются, после чего осуществляется следующий этап тестирования [25].

Считается, что частота обнаружения ошибок пропорциональна количеству оставшихся ошибок, а также что при исправлении программы новые ошибки не вносятся.

Всего существует k этапов тестирования. Продолжительность каждого этапа определена через t_1, \dots, t_k , а число ошибок, обнаруженных на каждом этапе определено, через m_1, \dots, m_k .

Пусть $T = t_1 + \dots + t_k$ – является общим временем тестирования; $n = m_1 + \dots + m_k$ – общее число обнаруженных и исправленных во время тестирования ошибок; $n_i = m_1 + \dots + m_i$ – число ошибок, исправленных к началу $(i + 1)$ -го этапа тестирования ($n_0 = 0$).

Модель Шумана предполагает программное обеспечение на i -м этапе тестирования и имеет следующую функцию надежности:

$$R_i(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.21)$$

$$\lambda_i = C(N - n_{i-1}).$$

где N – первоначальное количество ошибок в программном обеспечении;

$N - n_{i-1}$ – количество ошибок, оставшихся к началу i -го этапа;

C – коэффициент пропорциональности, равный:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{m_i}{N - n_{i-1}}}{\sum_{i=1}^k t_i}. \quad (4.22)$$

Для нахождения первоначального количества ошибок в программном обеспечении N используем уравнение:

$$\sum_{i=1}^k m_i \cdot \frac{\sum_{i=1}^k t_i}{\sum_{i=1}^k \frac{m_i}{N - n_{i-1}}} = \sum_{i=1}^k (N - n_{i-1}) t_i, \quad (4.23)$$

При известных значениях k ; t_1, t_2, \dots, t_k ; m_0, m_1, \dots, m_k из (4.22) и (4.23)

можно определить значения параметров модели С и N. После чего определим следующие показатели:

1) количество оставшихся ошибок в программном обеспечении:

$$N_r = N - n; \quad (4.24)$$

2) функция надежности программного обеспечения по завершении тестирования:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.25)$$

$$\lambda = C(N - n_{i-1}).$$

Модель Муса. В данной модели по результатам тестирования на этапе эксплуатации оценивается надежность программного обеспечения.

Пусть T – суммарное время тестирования, где n – число отказов, произошедших за время тестирования.

Тогда используя модель Муса средняя наработка до отказа на этапе эксплуатации после тестирования определяется по следующей формуле:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{CT}{n\tau_0}\right), \quad (4.26)$$

где τ_0 – средняя наработка на отказ до начала тестирования, C – коэффициент, учитывающий уплотнение тестового времени по сравнению с временем реальной эксплуатации. Например, если один час тестирования соответствует 10 часам работы в реальных условиях, то $C = 10$.

Неизвестный параметр τ_0 оценивается следующим соотношением:

$$\tau_0 = \frac{1}{fKN}, \quad (4.27)$$

где K – коэффициент появления ошибок. Значение K определяется по однотипным программам используя эмпирический путь. Обычно это значение изменяется от $1,5 \times 10^{-7}$ до 4×10^{-7} .

N – первоначальное количество ошибок в ПО. Также его можно оценить с помощью другой модели, позволяющей определить N на основе статистических данных, полученных при тестировании.

f – средняя скорость выполнения программы одного оператора, она равна отношению средней скорости исполнения программного обеспечения (A) к

числу команд (операторов) (В) [26].

Для периода эксплуатации t , надежность ПО определяется по формуле:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{x}}. \quad (4.28)$$

4.1.4 Статические модели

В статических моделях в отличие от динамических не учитывается время появления ошибок.

Модель Миллса. Использование данной модели предполагает необходимость искусственного внесения в программу перед началом тестирования некоторого количества известных ошибок. Ошибки вносятся случайным образом, после чего фиксируются в протоколе искусственно внесенных ошибок. Специалист, который осуществляет тестирование, как правило не должен знать ни количество, ни характер внесенных ошибок. Предполагается, что все ошибки, как естественные, так и искусственные равновероятно могут быть найдены в процессе тестирования [26].

Программа тестируется в течение некоторого времени, после чего собираются статистические данные об обнаруженных ошибках.

Допустим, что после тестирования программы обнаружено n собственных ошибок программы и v искусственно внесенных ошибок. Тогда первоначальное количество ошибок в программе N можно оценить по следующей формуле [26]:

$$N = n \frac{S}{v}, \quad (4.29)$$

где S – количество искусственно внесенных ошибок.

Вторая часть модели связана с проверкой гипотезы количестве первоначальных ошибок программы. Предположим, в программе находится K ошибок, искусственно внесено в программу S ошибок, после чего тестируем программу, пока все внесенные ошибки не будут найдены. Допустим, при тестировании обнаружено n собственных ошибок программы, после чего

вероятность, первоначального нахождения в программе K ошибок, можно определить из следующего соотношения:

$$p = \begin{cases} 0, & \text{если } n > K, \\ \frac{s}{s+K+1}, & \text{если } n \leq K. \end{cases} \quad (4.30)$$

Соотношение (4.30) можно использовать только в том случае, если обнаружены все S искусственно внесенные ошибки. Если же обнаружены только v искусственно внесенные ошибки, то применяют соотношение:

$$p = \begin{cases} 0, & \text{если } n > K, \\ \frac{C_S^{v-1}}{C_{S+K+1}^{K+v}}, & \text{если } n \leq K. \end{cases} \quad (4.31)$$

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

где C_n^m – число сочетаний из n элементов по m .

Модель Нельсона. Данная модель разработана с учетом основных свойств машинных программ и практически не использует методы теории вероятности. Границы применимости всех приближений, принятых в данной модели, четко определены и известны. Модель Нельсона, за счет свойств программного обеспечения, может быть использована на всех этапах жизненного цикла ПО, поскольку допускает более детальное описание всех аспектов надежности [26].

В модели Нельсона предполагается область, которой принадлежат входные данные программы, данная область разделена на k непересекающихся областей Z_i , $i = 1, 2, \dots, k$. Пусть p_i – вероятность того, что для очередного выполнения программы будет выбран набор данных из области Z_i . Значения p_i определяются по статистическим показателям входных данных в реальных условиях работы ПО. К моменту оценки надежности было выполнено n_i прогонов программного обеспечения на наборах данных из области Z_i , и n_i^- из данных прогонов завершились отказом [26].

Соответственно надежность программного обеспечения будет оцениваться по следующей формуле:

$$R = 1 - \sum_{i=1}^k \frac{n_i^-}{n_i} p_i. \quad (4.32)$$

Модель Коркорэна. Данная модель предполагает наличие в ПО определенного множества источников программных отказов, которые связаны с различными типами ошибок, и имеют разную вероятность появления. Аргументом модели является число прогонов программы n . При этом оценка надежности программного обеспечения имеет вид [26]:

$$R(n) = \frac{n^+}{n} + \sum_{i=1}^k \delta_i \frac{n_i^- - 1}{n}, \quad (4.33)$$

где n_i^- – число обнаруженных ошибок i -го типа, устраняемых с вероятностью p_i ;

n^+ – число успешных прогонов программного обеспечения;

d_i – коэффициент, определяемый следующим образом:

$$\delta_i = \begin{cases} p_i, & \text{если } n_i^- > 0, \\ 0, & \text{если } n_i^- \leq 0. \end{cases} \quad (4.34)$$

После тестирования, на этапе эксплуатации программного обеспечения при росте числа прогонов n и выполнении условий $n^- \ll n$ и $n^+ + n^- = n$ формула определения надежности имеет следующий вид:

$$R(n) = 1 - \frac{n^-}{n}. \quad (4.35)$$

4.1.5 Эмпирические модели

Данные модели основаны на анализе информации, накопленной за продолжительный период времени и содержащей в себе данные о функционировании ранее разработанных программ.

Наиболее простая эмпирическая модель показывает связь между количеством ошибок в программном обеспечении и его объемом. Данные, полученные в ходе эксплуатации программы свидетельствуют о том, что на каждые 1000 операторов, к началу системного тестирования в ПО приходится примерно 10 ошибок. Уровень надежности ПО является приемлемым для эксплуатации в том случае, если тому же объему операторов будет соответствовать только одна ошибка [26].

Модель фирмы IBM. Фирма IBM использует эмпирическую модель, данная модель оценивает количество ошибок в различных редакциях программы [27]:

$$N = 23M_{10} + 2M_1, \quad (4.36)$$

где M_{10} – число модулей, потребовавших 10 и более исправлений;

M_1 – число модулей, в которых обнаружено меньше 10 ошибок.

Также используется эмпирическая формула для оценки средней наработки ПО на отказ:

$$\tau = \alpha \frac{V_{\text{оп}}}{N}, \quad (4.37)$$

где $V_{\text{оп}}$ – объем программы в операторах;

t – средняя наработка программного обеспечения на отказ в часах;

α – коэффициент, лежащий в диапазоне от 100 до 1000;

N – число ошибок в программном обеспечении, оцененное по одной из приведенных выше моделей;

Модель Холстеда. Оценивает количество после окончания разработки программы оставшихся ошибок [26]:

$$N_{\text{ош}} = K_{\text{но}} V_{\text{оп}} \log_2(\eta_1 + \eta_2), \quad (4.38)$$

где $N_{\text{ош}}$ – количество ошибок в программе;

$K_{\text{но}}$ – коэффициент пропорциональности;

$V_{\text{оп}}$ – количество операторов в программе;

h_1 – количество операторов в программном средстве;

h_2 – количество операндов в программном средстве.

4.1.6 Оценка моделей, применяемых для расчета надежности ПО

Проводя анализ моделей для определения надежности программного обеспечения, можно заключить, что большинство из них определяет надежность ПО только на начальных стадиях жизненного цикла программы. Применение данных моделей для оценки надежности ПО на завершающих стадиях

жизненного цикла программы имеет ограничения по следующим причинам:

– недоступность на стадии производства и использования программного обеспечения информации о процессе отладки, а также обнаружении и устранении ошибок;

– малая интенсивность отказов при приемо-сдаточных испытаниях.

Соответственно имеет смысл рекомендовать для определения надежности программного обеспечения на всех стадиях его жизненного цикла использование по меньшей мере, двух моделей оценки надежности ПО. Модель по оценке надежности ПО должна подбираться для каждой стадии разработки и для каждой конкретной программы. Для этого необходимо наличие данных о имеющихся ошибках, на основании имеющихся данных целесообразно осуществлять подбор модели надежности, после чего также необходимо выполнить тесты, показывающие, пригодность выбранной модели. Для определения надежности программного обеспечения на завершающих стадиях целесообразно применять модели надежности с системно-независимым аргументом, поскольку данные модели дают наиболее точную оценку надежности ПО. Сравнительный анализ методов расчета надежности представлен в приложении П.

Исходя из выше представленной информации, можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на надежность программного обеспечения оказывают внутренние ошибки, а также ошибки которые находятся на первых этапах эксплуатации программ. Соответственно для оценки надежности ПО целесообразно использовать следующие модели: Модель Миллса, Модель Шумана, Модель Липова, Модель Джелинского-Моранды. Данные модели позволят наиболее точно оценить надежность ПО проектируемой АСУ ТП.

В заключении можно подвести итог:

1. Надежность ПО является не только внутренним свойством программы.
2. Надежность программного обеспечения - это функция как самого ПО, так и действий его пользователей.
3. Основными причинами ошибок программного обеспечения являются:

большая сложность программы, а также неправильный перевод информации из одного представления в другое.

4.2 Разработка программы по оценке надежности ПО

Цель: Проектирование и разработка программы на языке С# для расчета основных показателей надежности ПО различными методами.

На основании поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Определить необходимые требования к программе;
2. Разработать макет программы;
3. Выполнить программную реализацию;
4. Осуществить тестирование разработанной программы;
5. На основании полученных результатов сделать вывод о применимости разработанной программы.

4.2.1 Разработка программы

Название программы: Расчет надежности ПО.

Назначение программы: Расчет основных показателей надежности ПО на основании введенных пользователем исходных данных.

Исходные данные для расчета вводятся в специальные поля. После обработки данных программа выводит результат в соответствующее поле вывода. Для корректной работы программы необходимо, чтобы все предлагаемые пользователю поля были заполнены.

Реализация программы осуществляется на платформе Microsoft Visual Studio 2015 с использованием языка программирования С#.

Системные требования, предъявляемые к ПК с установленной программой:

1. Оперативная память: 128МБ и выше.

2. Операционная система Windows 7 или выше.
3. Наличие Net Framework 4.6 или выше.
4. Свободное место на жестком диске: 40КБ и более.

4.2.2 Алгоритм работы программы

После запуска программы, появляется форма, в которой пользователю предлагается заполнить соответствующие поля необходимыми для расчета исходными данными.

В начале выполнения расчета, программа производит проверку исходных данных на полноту и корректность. Если пользовательские данные не прошли проверку, то выводится сообщение об ошибке с указанием поля, в которое необходимо вести данные. Также по умолчанию в полях ввода исходных данных установлен запрет на использование каких-либо символов кроме числовых. После успешно пройденной проверки на корректность и полноту, программа начинает производить вычисления. Программа считывает данные, находящиеся в специальных полях после чего производит расчет согласно выбранной методике.

По окончании расчета результаты выводятся в специально отведенное поле, а выполнение программы прекращается. После окончания выполнения работы программы пользователь имеет возможность сохранить результат расчета в отдельный файл.

4.2.3 Разработка макета приложения

В общем виде макет приложения представлен на рисунке 4.5.

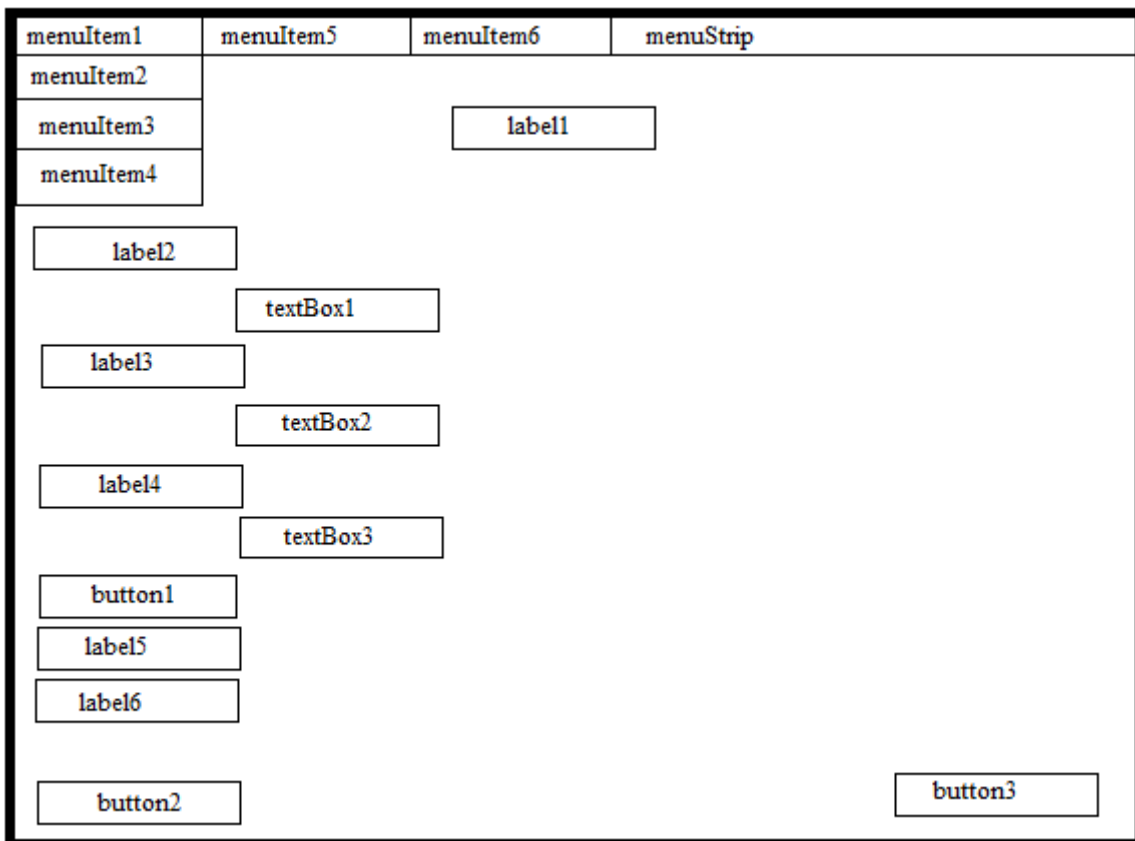


Рисунок 4.5 – Макет разрабатываемого приложения

label1 – принимает текстовое значение используемого метода для расчета;

label2, label3, label4 – принимают текстовое значение названия параметров исходных данных;

label5 – принимает текстовое значение «Результат»;

label6 – по умолчанию скрыт, служит для вывода результата расчета;
 textBox1, textBox2, textBox3 – получают значение введенных пользовательских данных в соответствующую графу;

button1 – принимает текстовое значение «Рассчитать», а также производит расчет по выбранному методу;

button2 – принимает текстовое значение «Очистить», а также производит очистку всех заполненных полей программы;

button3 – принимает текстовое значение «Сохранить», а также служит для вывода меню сохранения результатов расчета;

menuItem1 – принимает текстовое значение «Метод расчета», а также выводит контекстное меню с доступными для расчета методами;

menuItem2, menuItem3, menuItem4 – служат для вывода соответствующей формы с используемым методом расчета;

menuItem5 – принимает текстовое значение «О программе», а также служит для вывода соответствующей формы содержащей основную информацию о программе;

menuItem6 – принимает текстовое значение «Справка», а также служит для вывода соответствующей формы содержащей справочные данные о работе программы.

4.2.4Руководство пользователя

1. Для корректной работы программы необходимо заполнить все предложенные поля в используемой модели;

2. При вводе некорректных параметров для расчета пользователь может получить отрицательные результаты;

3. Для расчета и получения результатов используйте кнопку: «Рассчитать»;

4. Для очистки полей ввода используйте кнопку: «Очистить»;

5. Для сохранения результата используйте кнопку: «Сохранить».

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8AM5A	Юров Антон Валерьевич

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	220400 Управление в технических системах

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценивается стоимость ресурсов разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом концентрирования раствора уранилнитрата, включающая, определение затрат исполнителей, затрат по заработной плате.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Учитываются отчисления в пенсионные, страховые фонды. фонды социального страхования, районные коэффициенты.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	График выполнения работы исполнителями,.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. Менеджмента ИСГТ	Конотопский В.Ю.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM5A	Юров Антон Валерьевич		

5 Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

5.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. Сведём все данные в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень выполняемых работ с указанием доли участия исполнителей

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	НР – 80% С – 20%
2. Разработка технического задания (ТЗ)	НР, С	НР – 30% С – 70%
3. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	НР – 20% С – 80%
4. Обзор научной литературы	С	С – 100%
5. Подбор средств автоматизации ТП	НР, С	НР – 20% С – 80%
6. Разработка схем: структурной, функциональной	НР, С	НР – 10% С – 90%
7. Проведение исследования по тематике работы	С	С – 100%
8. Обработка полученных результатов	НР, С	НР – 20% С – 80%
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	С – 100%
10. Оформление графического материала	С	С – 100%
11. Подведение итогов	НР	НР – 100%

На первом этапе происходит постановка цели и задачи исследования – модернизация АСУ ТП узла концентрирования раствора уранилнитрата. Тематика выбирается научным руководителем и обсуждается со студентом.

На втором этапе студент совместно с научным руководителем разрабатывают техническое задание (ТЗ). Данный документ является основополагающим при проведении дальнейшего исследования и разработки.

На третьем этапе реализуется календарный план выполнения работ, обусловленный сроком обучения в магистратуре.

На четвертом этапе студент производит поиск научной литературы по предоставленной тематике для ознакомления и изучения необходимого материала. В дальнейшем данный материал будет использоваться для проведения исследований и разработки программы.

На пятом этапе производится подбор оборудования и средств автоматизации ТП.

На шестом этапе студент занимается разработкой функциональной и структурной схем системы автоматизации. Данные схемы показывают общую структуру АСУ ТП и связи между ее компонентами. В дальнейшем модернизация установки будет основываться на данных документах. Затем студент начинает выполнение исследовательской части работы (седьмой этап) – в данном случае исследование заключается в достижении требуемых показателей надежности спроектированной системы автоматизации.

На восьмом, девятом и десятом этапе студент, под руководством научного руководителя занимается интерпретацией и обработкой результатов, а также оформлением расчетно-пояснительной записки и графического материала (графические материалы результатов исследования, презентация проекта).

Одиннадцатый этап заключается в подведении итогов проведенной работы, получении студентом обратной связи от научного руководителя и комиссии на защите магистерской диссертации.

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Так как отсутствует нормативная база по проводимым работам, а также достоверная информация о процессе выполнения подобных работ иными исполнителями, воспользуемся экспертным способом оценки продолжительности выполнения запланированных работ.

Произведем оценку минимального и максимального времени выполнения каждого из этапов. Рассчитаем ожидаемое время выполнения работ, воспользовавшись формулой:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (5.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемое время выполнения i -го этапа работ в чел.-дн., t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.; t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Ожидаемое, минимальное и максимальное время исполнения в предложенной выше формуле, оцениваются в рабочих днях на человека. Произведем перевод этих величин в календарные дни, воспользовавшись следующей формулой:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к}, \quad (5.2)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{к}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (5.3)$$

где $T_{кал}$ – календарные дни ($T_{кал} = 365$); $T_{вд}$ – выходные дни ($T_{вд} = 92$); $T_{пд}$ – праздничные дни ($T_{пд} = 26$).

$$T_{к} = \frac{365}{365 - 92 - 26} = 1,48$$

В свою очередь рабочие дни рассчитываются по следующей формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (5.4)$$

где $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$; $K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1 - 1,2$).

Для простоты расчетов примем $K_{Д}$ и $K_{ВН}$, равными единице. Тогда формула для расчета календарных дней преобразуется в следующую:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К} = t_{ож} \cdot T_{К} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \cdot 1,48, \quad (5.5)$$

Воспользовавшись данными из таблицы 5.1, приведенными выше формулами, произведем расчет продолжительности выполнения работ научным руководителем и студентом в календарных днях. Результаты расчетов представлены в таблице 5.2. На основе данной таблицы составим линейный график работ, представленный в таблице 5.3.

Таблица 5.2 – Расчет трудозатрат на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	2	4	2,8	2,24	0,56	3,3152	0,8288
2. Разработка технического задания (ТЗ)	НР, С	8	13	10	3	7	4,44	10,36
3. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	2	4	2,8	0,56	2,24	0,56	2,24
4. Обзор научной литературы	С	14	20	16,4	-	16,4	-	24,272
5. Подбор средств автоматизации	НР, С	14	20	16,4	3,28	13,12	4,8544	19,417
6. Разработка схем: структурной, функциональной	НР, С	10	14	11,6	1,16	10,44	1,7168	15,4512
7. Проведение исследования по тематике работы	С	7	12	9	-	9	-	13,32
8. Обработка полученных результатов	НР, С	7	10	8,2	1,64	6,56	2,4272	9,7088
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	10	14	11,6	-	11,6	-	17,168
10. Оформление графического материала	С	4	8	5,6	-	5,6	-	8,288
11. Подведение итогов	НР	4	5	4,4	4,4	-	6,512	-
Итого:				98,8	16,28	82,52	23,8256	121,045

Таблица 5.3 – Линейный график работ

Этап	НР	С	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
1	3,32	0,83	■												
2	4,44	10,36	■	■											
3	0,56	2,24		■											
4	-	24,27		■	■	■	■								
5	4,85	19,42					■	■	■						
6	1,72	15,45						■	■						
7	-	13,32							■	■	■				
8	2,43	9,71									■	■			
9	-	17,17										■	■		
10	-	8,29											■	■	
11	6,51	-													■

НР – ■; С – ■

5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Произведем оценку текущих результатов работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом. Степень готовности будет рассчитывать по следующей формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{kjm}}{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{kjm}}, \quad (5.6)$$

где TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении; $TP_{общ.}$ – общая трудоемкость проекта; TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении; TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, $m = 2$.

Таблица 5.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этапы работы	$TP_i, \%$	$CG_i, \%$
1. Постановка целей и задач исследования	2,83	2,83
2. Разработка технического задания (ТЗ)	10,12	12,95
3. Разработка календарного плана выполнения работ	2,83	15,78
4. Обзор научной литературы	16,6	32,78
5. Подбор средств автоматизации	16,6	48,98
6. Разработка схем: структурной, функциональной	11,74	60,72
7. Проведение исследования по тематике работы	9,11	69,83
8. Обработка полученных результатов	8,3	78,13
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	11,74	89,87
10. Оформление графического материала	5,67	95,55
11. Подведение итогов	4,45	100

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

В ходе выполнения проекта отсутствуют расходы на командировочные, услуги связи, услуги сторонних организаций и арендная плата за пользование имуществом. Таким образом основу расходов данного проекта составляют:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования.

На первом этапе работ необходимо провести теоретические исследования. Для этого необходим ряд программных пакетов, таких как Microsoft Word, Excel, MathCAD, MATLAB, Visual Studio и т.д. Большинство данных продуктов предоставляются ТПУ бесплатно для студентов и профессоров, а остальные находятся в свободном доступе на интернет ресурсах. Таким образом затраты на материальные расходы данного этапа исследований включают в себя расходы на бумагу, тетради и пр. На втором этапе проводится исследования. Для этого использовался персональный компьютер с программой MATLAB 2015, Visual Studio 2016 которая была предоставлена бесплатно.

В материальные затраты также входят транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), которые обуславливаются затратами на совершение купли-продажи материалов, их доставку. Обычно ТЗР составляют от 5% до 20% от общей цены материалов. Положим норму ТЗР равной 10%.

Таблица 5.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма
Затраты на этапе теоретических исследований			
Бумага для принтера, упак. 500 листов	252	1	252
Тетрадь общая, формат А4	67	2	134
Мультифоры, упак. 100 шт.	100	1	100
Скобы для степлера, упак. 100 шт.	47	1	47
Итого			533
Итого (с учетом ТЗР)			586,3

5.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает в себя заработную плату студента и научного руководителя, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Оклад студента принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, в которой выполняются подобные виды работ или же там, где студент проходил преддипломную практику.

Для расчета заработной платы исполнителя примем величину месячного оклада, равную окладу младшего научного сотрудника на половину ставки, т.е. $МО_C = 14874,45$ руб.; величина заработной платы руководителя – величина месячного оклада доцента, д.т.н. $МО_{НР} = 27484,86$.

Для дальнейшего расчета зарплаты необходимо вычислить среднедневную ставку с учетом среднего количества рабочих дней в месяце. В 2017 году 247 рабочих дней, следовательно, количество рабочих дней в месяце равно 20,6. Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн} = МО/20,6, \quad (5.7)$$

Для исполнителя эта величина составит примерно 361 рубль, а для научного руководителя 1334,22 рубля в день. Теперь произведем расчет основной заработной платы. Затем, учитывая премии, дополнительную заработную плату и районный коэффициент, можно рассчитать полную заработную плату по следующей формуле:

$$ЗП_{полн} = ЗП_{дн} * T_{РД} * K_{ПР} * K_{ДОП} * K_P, \quad (5.8)$$

где $T_{РД}$ – трудоемкость проекта для сотрудника в рабочих днях; $K_{ПР} = 1,1$ – коэффициент премирования; $K_{доп} = 1,13$ – коэффициент дополнительной заработной платы для пятидневной рабочей недели; $K_P = 1,3$ – районный (северный) коэффициент.

Таблица 5.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	27484,86	1334,22	16	1,699	36269,44
С	14874,45	361	83	1,62	48540
Итого					84809,44

5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 84809,44 * 0,3 = 25442,8$ руб.

5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья учитывает затраты на электроэнергию, которая потребляется всем оборудованием в течение работы над проектом. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{Э}}, \quad (5.9)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час ($Ц_{\text{Э}} = 5,782$ руб/кВт·ч); $t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час. Время работы оборудования определяется по формуле:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} * K_t, \quad (5.10)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно

определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Для выполнения работ студентом использовался персональный компьютер и учебный стенд. Определим затраты на потребленную оборудованием электроэнергию и сведем результаты расчетов в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность оборудования, кВт	K_t	Время работы оборудования, ч	Затраты на электроэнергию
Персональный компьютер	0,35	0,9	1125,8	2013,41
Принтер	0,25	0,001	0,7	2,76
Итого				2016,17

5.2.5 Расчет амортизационных расходов

Расчет амортизационных расходов производится по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A * C_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}, \quad (5.11)$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования; $C_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР, F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году, $t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта; n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Персональный компьютер и принтер входят в группу – вычислительная техника, следовательно, они имеют срок полезного использования 2-3 года.

Так как к сроку начала работ компьютер и принтер эксплуатировались более 5 и 10 лет соответственно, то срок их полезного использования истек, следовательно, амортизационные расходы на ПК и принтер оборудования равны нулю.

Таким образом, амортизационные расходы на использование оборудования составят:

$$C_{AM} = \frac{N_A * Ц_{OB} * t_{pф} * n}{F_D} = 0,00 \text{ руб.}$$

5.2.6 Расчет прочих (накладных) расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях. Их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам}) \cdot 0,1 = (586,3 + 84809,44 + 25442,8 + 2016,17 + 0) \cdot 0,1 = 112854,7 \cdot 0,1 = \mathbf{11285,5 \text{ руб.}}$$

5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Рассчитав сумму всех расходов на выполнение запланированных работ, произведем расчет общей себестоимости проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Расчет общей себестоимости проекта

Статья затрат	Обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{мат}$	586,3
Заработная плата	$C_{зп}$	84809,44
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	25442,8
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.}$	2016,17
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	0,00
Прочие расходы	$C_{проч}$	11285,5
ИТОГО:		124140,2

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 124140,2$ руб.

5.2.8 Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР

Так как информация для применения сложных методов расчетов прибыли отсутствует, то прибыль может варьироваться в пределах от 5% до 20% от себестоимости продукта. Заложим в проект прибыль, равную 12% от себестоимости. Тогда:

$$P = 0,12 * C = \mathbf{14896,8 \text{ руб.}}$$

Рассчитаем НДС как 18% от суммы затрат на разработку и заложенной прибыли, т.е.:

$$\text{НДС} = (P + C) * 0,18 = \mathbf{25026,7 \text{ руб.}}$$

Цена разработки НИР – это сумма трех составляющих: полной себестоимости проекта, прибыли и НДС, т.е.:

$$C_{\text{НИР}} = 124140,2 + 14896,8 + 25026,7 = \mathbf{164063,7 \text{ руб.}}$$

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Результатом проведения НИР является автоматизация и модернизация АСУ ТП узла концентрирования раствора уранилнитрата. Данная система позволит оператору управлять технологическим процессом с автоматизированного рабочего места (АРМ). Таким образом, автоматизация узла концентрирования раствора уранилнитрата за счет оперативного контроля на каждом этапе ТП повысит эффективность протекания и управления технологическим процессом сократив тем самым минимальное время технологического цикла на 30%, что в свою очередь повысит производительность труда, а также позволит ввести резервное время на устранение неполадок без существенных экономических потерь.

Кроме того, спроектированная АСУ ТП позволит сократить обслуживающий персонал до двух человек в смену, повысит безопасность технологического процесса за счет высоконадежных средств автоматизации, сигнализации, блокировок и защит с минимальным периодом реагирования, о чем подробно изложено в разделе 3 настоящей работы, согласно данному разделу вероятность безотказной работы системы равна 0.95. Также спроектированная АСУ ТП позволит улучшить условия труда за счет централизации рабочих мест и удобного представления информации.

Для получения количественной оценки экономической эффективности разработанного проекта необходимо проведение специального комплексного исследования, которое выходит за рамки представленной работы.

Результатом данной работы является проект, не предназначенный для продажи и коммерциализации.

5.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

В данном разделе произведем оценку научно-технического уровня разработки при помощи вычисления интегрального индекса научно-технического уровня $I_{НТУ}$. Расчет данного индекса производится как взвешенная сумма количественных оценок НИР по трем признакам: уровень новизны, теоретический уровень и возможность реализации.

Таблица 5.9 – Критерии оценки уровня новизны НИР

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны – n_i	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 5.10 – Критерии оценки теоретического уровня НИР

Теоретический уровень полученных результатов – n_2	Баллы
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 5.11 – Критерии оценки возможности реализации НИР по времени

Время реализации – n_3	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Разрабатываемая система по оценке таблицы 5.9 имеет уровень новизны равный 4, т.к. подобные системы существуют, однако на данном узле не применялись, исходя из чего целесообразно было разработать подходящий алгоритм управления.

Критерии оценки теоретического уровня НИР однозначно равен 6, т.к. результатом данной работы является алгоритмизация всего производственного процесса узла концентрирования раствора уранилнитрата, а также создание приложения для оценки надежности ПО применяемого в контроллерах управления ТП.

Критерий оценки возможности реализации НИР по времени равен 10, т.к. реализация разработки имеет ограниченный срок 2 года.

Таким образом, произведем расчет интегрального индекса НТУ НИР:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 k_i \cdot n_i = 0,4 \cdot 4 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 7,2$$

Поскольку индекс НТУ равен 7,2 балла, то можно сделать вывод о том, что НТУ соответствует высокому уровню проведенной НИР.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM5A	Юрову Антону Валерьевичу

Институт	ИК	Кафедра	АИКС
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	220400Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона)	АСУ концентрирования уранилнитрата и области ее применения	ТП раствора	узла раствора
---	--	----------------	------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>действие фактора на организм человека;</p> <p>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>предлагаемые средства защиты;</p> <p>(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>термические опасности (источники, средства защиты);</p>	<p>метеопараметры;</p> <p>напряженность зрения;</p> <p>напряженность труда;</p> <p>освещенность;</p> <p>электромагнитные излучения;</p> <p>шум.</p> <p>Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия:</p> <p>движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования;</p> <p>электрический ток.</p>
--	--

<p>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</p> <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС; – разработка решений по обеспечению экологической безопасности
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар.</p> <ul style="list-style-type: none"> – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны оператора.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Извеков В.Н.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5А	Юров Антон Валерьевич		

6 Раздел «Социальная ответственность»

Аннотация

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) IS CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

Введение

В данной ВКР представлена разработка АСУ ТП узла концентрирования раствора уранилнитрата, а также приложения для оценки надежности алгоритмов управления. Аппаратная часть системы автоматизации в своей основе имеет промышленный логический контроллер фирмы «Siemens S7-1500», а также различные датчики, первичные измерительные преобразователи, исполнительные механизмы и сигнальную аппаратуру. Контроллер используя заранее написанные и загруженные в него алгоритмы управления осуществляет непрерывное управление технологическим процессом повышения концентрации уранилнитрата в растворе. Все оборудование АСУ ТП за исключением датчиков и первичных измерительных преобразователей располагается на щитах

технологического контроля, контроллер осуществляет связь с АРМ посредством сети Ethernet, за счет чего оператор имеет возможность контролировать все необходимые технологические параметры со своего рабочего места.

В текущем разделе указаны основные вредные и опасные факторы рабочей зоны, их анализ и способы защиты от них, аспекты охраны окружающей среды, защиты от чрезвычайных ситуаций, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1– Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<ul style="list-style-type: none"> · Управление механизмами поста управления, работа с ПЭВМ; · Выполнение визуальных осмотров основных вспомогательных механизмов начала использования при выполнении работ; · Ведение технологического процесса приема и укладки металла в приемные карманы (стеллажи), склады цеха. 	<ul style="list-style-type: none"> · Повышенная температура; · Повышенная напряженность зрения; · Повышенная напряженность труда в течение смены; · Отсутствие или недостаток естественного света; · Электромагнитные излучения; · Повышенный уровень шума. 	<ul style="list-style-type: none"> · Движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; · Электрический ток. 	<ul style="list-style-type: none"> · Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96; · Нормы естественного и искусственного освещения предприятий, СНиП 23-05-95; · Допустимые уровни шумов в производственных помещениях. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ; · Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; · Защитное заземление, зануление, ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ.

Вышеперечисленные факторы могут оказывать влияние на состояние здоровья, приводить к травмоопасной или аварийной ситуации, исходя из чего, следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования

В условиях современного интенсивного использования ЭВМ важное значение имеет изучение психофизиологических особенностей и возможностей человека с целью создания вычислительной техники, обеспечивающей

максимальную производительность труда и сохранение здоровья людей. Игнорирование эргономики может привести к довольно серьезным последствиям.

При внедрении автоматизированной системы управления технологическим процессом важную роль играет планировка рабочего места, которая должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени оператора.

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Санитарные нормы и правила СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, которые были введены 30 июня 2003 года.

В Правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, пост управления оператора по степени опасности поражения электрическим током, согласно ПУЭ можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

Основным опасным производственным фактором на рабочем месте оператора поста управления является высокое напряжение в сети, от которой запитана система управления.

6.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)

Основные последствия механических опасностей:

- защемление или раздавливание;
- порезы;

- отрезание или разрубание;
- захват или наматывание;
- затягивание или задерживание;
- попадание под удар;
- местный укол или полное прокалывание;
- поверхностное повреждение наружных тканей под действием трения;

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) согласно ГОСТ 12.4.011-89 «ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» относятся:

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами.
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

Сигнализация является одним из звеньев непосредственной связи между машиной и человеком. Она способствует облегчению труда, рациональной организации рабочего места и безопасности работы. Сигнализация может быть звуковая, световая, цветовая и знаковая. Сигнализация должна быть расположена и выполнена так, чтобы сигналы, предупреждающие об опасности, были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым может угрожать опасность.

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки.

6.1.3.1 Требования к помещениям для работы с ПЭВМ

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) эти помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м² и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) 4,5 м².

Для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ должны использоваться диффузионно-отражающие материалы с коэффициентом отражения от потолка – 0.7 - 0.8; для стен – 0.5 - 0.6; для пола – 0.3 - 0.5.

6.1.3.2 Микроклимат

В СанПиН 2.2.2-2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронным вычислительным машинам и организации работы» [28] изложены санитарно-гигиенические требования к помещениям для эксплуатации ПЭВМ.

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, запыленность, скорость движения воздуха. Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие. Работа инженера-проектировщика по интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт) относится к категории Ib, а именно к работе, производимой сидя, стоя или связанная с ходьбой и сопровождающаяся некоторым физическим напряжением, при которых расход энергии составляет от 120 до 150 ккал/ч. В таблице 6.2 представлены допустимые параметры микроклимата на рабочем месте .

Таблица 6.2 - Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ПЭВМ

Период года	Температура воздуха, °С, не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный (средне суточная температура меньше 10 °С)	21-23	40-60	0,1
Теплый (среднесуточная температура воздуха 10 °С и выше)	22-24	40-60	0,2

Параметры микроклимата в помещении, где находится рабочее место, регулируются системой центрального отопления и приточно-вытяжной вентиляцией, и имеют следующие значения: влажность 35-42%, скорость движения воздуха 0,1 м/с, температура летом 22...24 °С, зимой 21...23°С.

Основные мероприятия при оздоровлении воздушной среды в рабочем помещении: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха:

- при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека;
- при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Рабочее место для проектирования выбрано в 103-ей аудитории 10-го учебного корпуса. Объем рабочего помещения, где находится рабочее место разработчика, составляет 122,5 м³, при ширине равной 5 м и длине 7 м, площадь, соответственно, равна 35 м². Высота кабинета составляет 3,5 м. В данном кабинете может работать за персональными компьютерами до пяти человек. Следовательно, можно считать, что на одного рабочего приходится 24,5 м³ объема помещения и 7 м² площади, что в результате удовлетворяет требованиям санитарных правил и норм [28], согласно которым для одного работника помещения с персональным компьютером должны быть предусмотрены площадь величиной не менее 4,5 м² и объем не менее 20 м³ с учетом максимального числа одновременно работающих в смену, данная площадь предусмотрена для рабочего места с жидкокристаллическим монитором, для

работы используются мониторы SAMSUNG SyncMaster 713N, они соответствуют стандарту энергоэффективности Energy Star и стандарту на эргономичность и безопасность электронного оборудования TCO'03.

В рабочем помещении отсутствует принудительная вытяжная вентиляция. Имеется лишь естественная, то есть воздух поступает и удаляется через вытяжное вентиляционное отверстие, щели и дверь, а в летний период через окна (форточки). Только естественная вентиляция допускается при условии, что на одного работающего приходится более 40 м³ объема воздуха в помещении. Таким образом, из расчета выше видно, что требования к объему воздуха не выполняются, поэтому в рабочем помещении просто необходимо, чтобы была принудительная вентиляция.

В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. В рассматриваемом кабинете используется водяное отопление со встроенными нагревательными элементами и стояками.

6.1.3.3 Освещение

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное. Совмещенное сочетает оба вида освещения.

На посту управления, где расположено рабочее место оператора, используется совмещенное освещение.

Для определения приемлемого уровня освещенности в помещении необходимо:

– определить требуемый для операторов уровень освещенности внешними источниками света;

– если требуемый уровень освещенности не приемлем для других операторов, работающих в данном помещении, надо найти способ сохранения требуемого контраста изображения другими средствами.

Рекомендуемые соотношения яркостей в поле зрения следующие:

– между рабочими поверхностями не должно превышать 1:3 – 1:5;
– между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 1:10.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк (СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Следует ограничивать прямую блесккость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м². Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Согласно СНИП 23-05-95 нормы на освещение для оператора поста управления берутся для производственных помещений. Эти нормы представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Нормы на освещение для оператора

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		Естественное освещение КЕО ен, % при боковом
			Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент пульсации, Кп, %	
Различение объектов высокой точности	Б	1	300	15	1,0

Расчет системы искусственного освещения на рабочем месте оператора поста управления

Проведем проверочный расчет искусственного освещения рабочего помещения. Источником света в аудитории являются двенадцать светильников типа ОДР с четырьмя люминесцентными лампами типа ЛБ (4x20Вт) в каждом, со световым потоком каждой лампы $F=1980$ лм. Светильники расположены параллельными рядами на высоте $h = 2,5$ м над рабочей поверхностью и на расстоянии друг от друга в 0,9 м (между рядами) и 1,2 м между друг другом в одном ряду. Минимальная освещенность определяется по следующей формуле:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n}{S \cdot z \cdot k},$$

где F – световой поток каждой из ламп, лм;

N – количество ламп;

n – коэффициент использования светового потока;

S – площадь рабочего помещения, м²;

z – коэффициент неравномерности освещения, примем $z = 1,1$ – для светильников с люминесцентными лампами;

k – коэффициент запаса, учитывающий запыленность светильников и их износ. Примем $k = 1,5$, с учетом того, что офис является помещением с малым выделением пыли.

В помещении находятся 12 светильников, следовательно, $N = 12 \cdot 4 = 48$ ламп. Суммарная мощность светильников составляет 1200 Вт. План

расположения светильников в помещении изображен на рисунке 6.1. Светильники имеют квадратную форму 0,5 x 0,5 м.

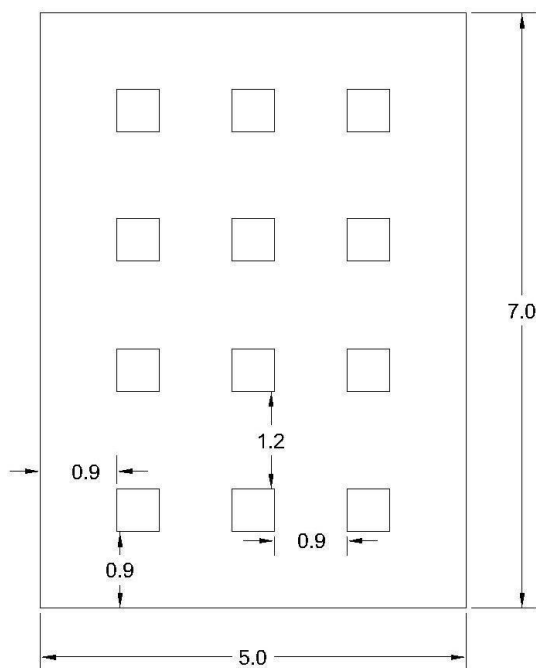


Рисунок 6.1 - План расположения светильников в помещении

Для определения коэффициент использования светового потока η необходимо определить коэффициент отражения стен $\rho_{ст}$, коэффициент отражения потолка ρ_n , что учитывается величиной i –индексом помещения. Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (a + b)},$$

где h – высота подвеса светильников (м);

a, b – стороны помещения (м);

S – площадь рабочего помещения (м).

В данном случае:

$$i = \frac{35}{2,5 \cdot (5 + 7)} = 1.16.$$

Из таблицы «Значения коэффициентов отражения потолка и стен»:

$\rho_{ст} = 50\%$, $\rho_n = 70\%$, что соответствует свежепобеленным поверхностям стен без штор и свежепобеленному потолку офиса.

Из таблицы «Коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами» следует, что коэффициент использования светового потока равен 0,3876.

Подставляя теперь известные значения, получим, что:

$$E = \frac{1980 \cdot 48 \cdot 0,3876}{35 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 638 \text{ Лк.}$$

Определим нормированное значение минимальной искусственной освещенности в офисе. Известно, что минимальная освещенность при использовании персонального компьютера, согласно, составляет $E_T = 300$ лк. С течением времени освещенность за счет уменьшения светового потока ламп и загрязнения светильника уменьшается, поэтому необходимо скорректировать величину освещенности E_T :

$$E_T = 300 \cdot 1,5 = 450 \text{ Лк.}$$

Таким образом, с учетом минимальной освещенности в кабинете должно быть 450 лк. Действительная освещённость в кабинете равна 638 Лк. Следовательно, качество искусственного освещения в рассматриваемом помещении удовлетворяет соответствующим нормативным требованиям.

6.1.3.4 Шум

В производственных условиях имеют место шумы различной интенсивности и частотного спектра, которые генерируются источниками шумов.

Уровень шума в помещении, где работает инженер-проектировщик, должен составлять не более 50 дБ [30].

Шум является одним из раздражающих и отвлекающих факторов, который влияет на процесс и результат работы. Шум в помещении с персональными компьютерами может создаваться от таких устройств как:

монитор компьютера, системный блок компьютера, портативные компьютеры, печатающие устройства, устройства вентиляции, кондиционирования и обогрева воздуха, преобразователи напряжения, а также устройства освещения помещения.

В результате исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Шум может создавать проблемы:

- повышается утомляемость;
- сильное напряжение для слуховых органов;
- негативное влияние на нервную систему всего организма;
- снижение работоспособности;
- ухудшается разборчивость речи между работающими в комнате.

Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим производственный контроль (измерения и оценка). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия по защите от действия шума (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

По собственным ощущениям можно сделать вывод, о том, что рабочее помещение и рабочее место соответствует нормам СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96. В помещении нет техники, которая производит большое количество шума. Самым шумным в помещении является принтер для печати документов, но он работает кратковременно, а также не отвлекает от работы и по субъективным ощущениям уровень шума не превышает нормы.

6.1.3.5 Электромагнитные излучения

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет серьезную опасность для человека, по сравнению с другими вредными производственными факторами (повышенное зрительное

напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы).

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 6.4 и таблице 6.5, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 6.4 – Временные допустимые ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Таблица 6.5 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		

Для оценки соблюдения уровней необходим производственный контроль (измерения). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

Электрические приборы, мониторы компьютеров и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная часть электромагнитного излучения идет от видеокабеля и от системного блока компьютера. В портативных компьютерах (ноутбуки, нетбуки) практически все электромагнитное излучение идет от системного блока, располагающегося под клавиатурой. Все современные машины оснащаются специальной металлической защитой внутри системного блока для уменьшения фона электромагнитного излучения.

Напряженность электромагнитного поля в 50 см вокруг дисплея по электрической составляющей составляет не более 25 В/м в диапазоне частот 5

Гц...2 кГц, и не более 2,5 В/м в диапазоне частот от 2...400 кГц. Плотность магнитного потока в 50 см вокруг дисплея составляет не более 250 нТл в диапазоне частот 5 Гц...2 кГц, и не более 25 нТл в диапазоне частот 2...400 кГц; поверхностный электростатический потенциал не превышает 500 В. Напряженность электростатического поля 15кВ/м. Время работы за дисплеем не должно превышать 4-х часов в сутки.

При защите от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия:

- для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранении здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;

- дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см и центр экрана должен быть на 20 градусов ниже уровня глаз;

- должны использоваться дисплеи со встроенными защитными экранами.

В рабочем помещении пять мониторов SAMSUNG SyncMaster 713N, которые расположены на отдельных стендах и расстояние от боковых поверхностей мониторов 1,5 м, что удовлетворяет требованиям СанПиН. Также данные мониторы жидкокристаллические, поэтому у них отсутствует ионизирующее излучение, помимо этого они соответствуют стандарту энергоэффективности Energy Star и стандарту на эргономичность и безопасность электронного оборудования ТСО'03.

6.1.3.6 Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных

процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

6.1.3.7 Электрический ток

При работе в помещении с персональными компьютерами основную опасность для человека представляют электрические установки, которые находятся в помещении. Опасность представляют компьютеры, мониторы, сетевые фильтры, различное электрическое оборудование. Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

При работе с таким оборудованием следует помнить, что его не рекомендуется использовать, если относительная влажность воздуха длительно превышает 75 % и высокая температура - более 35 °С. Не следует работать с персональным компьютером при наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов.

Инженер-проектировщик работает со следующими электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок, манипулятор «мышь» и клавиатура) и принтером. В данном случае существует опасность электропоражения:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта персонального компьютера и периферийного оборудования;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением;
- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- короткое замыкание в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Все помещения, в зависимости от условий, делятся на [31]:

- особо опасные;
- с повышенной опасностью поражения электрическим током;
- без повышенной опасности поражения электрическим током.

Основными мероприятиями по защите от электропоражения являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- защитного заземления;
- защитного зануления;
- защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Контроль выполнения требований электробезопасности должен проходить на следующих этапах:

- проектирование;
- реализация;
- эксплуатация.

Помещение в котором будет осуществляться основная работа:

- сухое;
- непыльное;
- хорошо проветриваемое;

- нормальные климатические условия (температура, влажность воздуха).

Помещение с такими условиями относится к помещению без повышенной опасности. Все периферийные устройства персонального компьютера имеют изоляцию всех электрических элементов, пол имеет неэлектропроводное покрытие. Персональный компьютер сконструирован так, что при случайном касании, корпуса, лицевой панели и т.д. пользователь не пострадает, так как все незащищенные элементы изолированы, либо выполнены из не электропроводного материала. Персональный компьютер подключен к контуру заземлению питающей сети [31].

В рабочем помещении используются приборы, потребляющие напряжение 220 В переменного тока с частотой 50 Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо не делая никаких самостоятельных исправлений отключить питающую сеть и сообщить ответственному за оборудование;
- запрещается загромождать рабочее место лишними предметами.
- при возникновении несчастного случая следует немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и, вызвав врача, оказать ему необходимую помощь.

6.2 Экологическая безопасность

6.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В результате выполнения ВКР была разработана система, которая функционирует на основе ПЛК Siemens S7-1500. Рассмотрим влияние ПЛК на окружающую среду.

Увеличение производства находится в прямой зависимости от состояния энергетики. Развитие энергетики оказывает существенное влияние на

природную среду, являясь источником различных видов загрязнений воздуха, воды, земной поверхности и ее недр, а также основным потребителем топливных ресурсов, определяющим уровень его добычи.

6.2.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

Программируемые логические контроллеры семейства Simatic S7 спроектированы для использования в стационарных, защищенных от внешних воздействий условиях. Условия эксплуатации превосходят требования DIN IEC 60721-3-3.

- класс 3М3 (механические требования)
- класс 3К3 (климатические требования)

Программируемые логические контроллеры SIMATIC и их компоненты соответствуют требованиям стандартов ГОСТ Р МЭК 60950-2002, ГОСТ 26329-84 (п. п. 1.2; 1.3), ГОСТ Р 51318.22-99, ГОСТ 51318.24-99, ГОСТ Р 51317.3.2-99, ГОСТ Р 51317.3.3-99. Основное влияние на окружающую среду заключается в образовании и поступлении твердых отходов в виде отработанных ПК, их компонентов и содержащихся в них вредных веществ.

6.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Снижение загрязнения возможно за счет совершенствования оборудования, производящего электроэнергию, применения более экономичных и результативных технологий, использования новых методов получения электроэнергии и внедрения современных методов и способов очистки и обезвреживания отходов производства. Кроме того, эта проблема должна решаться и за счет эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями, а это использование более экономичного оборудования,

а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Программируемые логические контроллеры фирмы Siemens, могут утилизироваться, так как не содержат токсических материалов. Для безопасной с точки зрения охраны окружающей среды утилизации и удаления старых устройств необходимо обратиться к компании фирмы Siemens, имеющей сертификат на утилизацию и удаления лома электронного оборудования.

Организация, в которой предполагается использовать разработанную систему, влияет на окружающую среду как потребитель электроэнергии, поскольку здесь работает большое количество электрооборудования и осветительных приборов.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

В современных компьютерах, повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое.

Проблема эффективного использования электроэнергии в организации решается за счет использования ПЛК, которые более экономичны по сравнению с релейными схемами.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

На объекте возможные следующие ЧС:

- пожар;
- взрыв.

Спроектированная АСУ ТП питается от сети переменного напряжения 220В, а также имеет значительное количество электрических линий связи, что не исключает возникновение короткого замыкания на объекте, которое может привести к возникновению пожара.

Для предупреждения короткого замыкания, на объекте обеспечены следующие меры:

- выполнено защитное заземление;
- установлены автоматические выключатели с соблюдением необходимых уставок по максимально допустимому току, а также обеспечена их селективность.

В случае возникновения на объекте ЧС будут произведены следующие действия:

- немедленное аварийное отключение устройства;
- обесточивание аварийного участка во избежание короткого замыкания.

В данном разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС - пожар, определение категории помещения по пожаровзрывобезопасности в котором происходит управление технологическим процессом, то есть пост управления и регламентирование мер противопожарной безопасности.

Рабочее место оператора поста управления, должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности помещение (аудитория 103 10-го учебного корпуса) относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

6.3.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований

Пожар в помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании.
- старение изоляции.
- увлажнение изоляции.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

Пожарная опасность переходных сопротивлений – возможность воспламенения изоляции или других близлежащих горючих материалов от тепла, возникающего в месте аварийного сопротивления (в переходных клеммах, переключателях и др.).

6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Для тушения пожаров на участке производства необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

Помещение оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре. В качестве пожарных извещателей в помещении устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1.

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

План эвакуации представляет собой заранее разработанный план (схему), в которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы,

установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации по п. 3.14 ГОСТ Р 12.2.143-2002.

Согласно Правилам пожарной безопасности, в Российской Федерации ППБ 01-2003 (п. 16) в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара.

Выше было описано, что в качестве рабочего помещения выбрана 103-я аудитория 10-го учебного корпуса. В данной аудитории достаточно большое количество мебели, которая может гореть: столы, дверной проем, стенды с контроллерами (столешница стенда из дерева). Также в помещении большое количество проводов и множество контроллеров с дополнительными сопутствующими модулями. Данное помещение можно отнести к категории В пожаро- и взрывобезопасности.

Для предупреждения пожаров, возгораний и задымлений в аудитории установлены пожарные датчики, по одному датчику на 9 м².

Организационные мероприятия пожарной профилактики предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся:

– соблюдение всех без исключения противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В рабочем помещении, а также в коридоре и других кабинетах 1-го этажа, все оборудования предупреждения пожара и его тушения показаны на рисунке 6.2, в рабочем помещении имеется порошковый огнетушитель ОП-10, который прошел проверку и испытания. На первом этаже в двух местах установлены пожарные краны, а также пожарные извещатели, которые раз в год проверяются квалифицированным персоналом.

– профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования, которое проводится только аттестованным и квалифицированным персоналом.

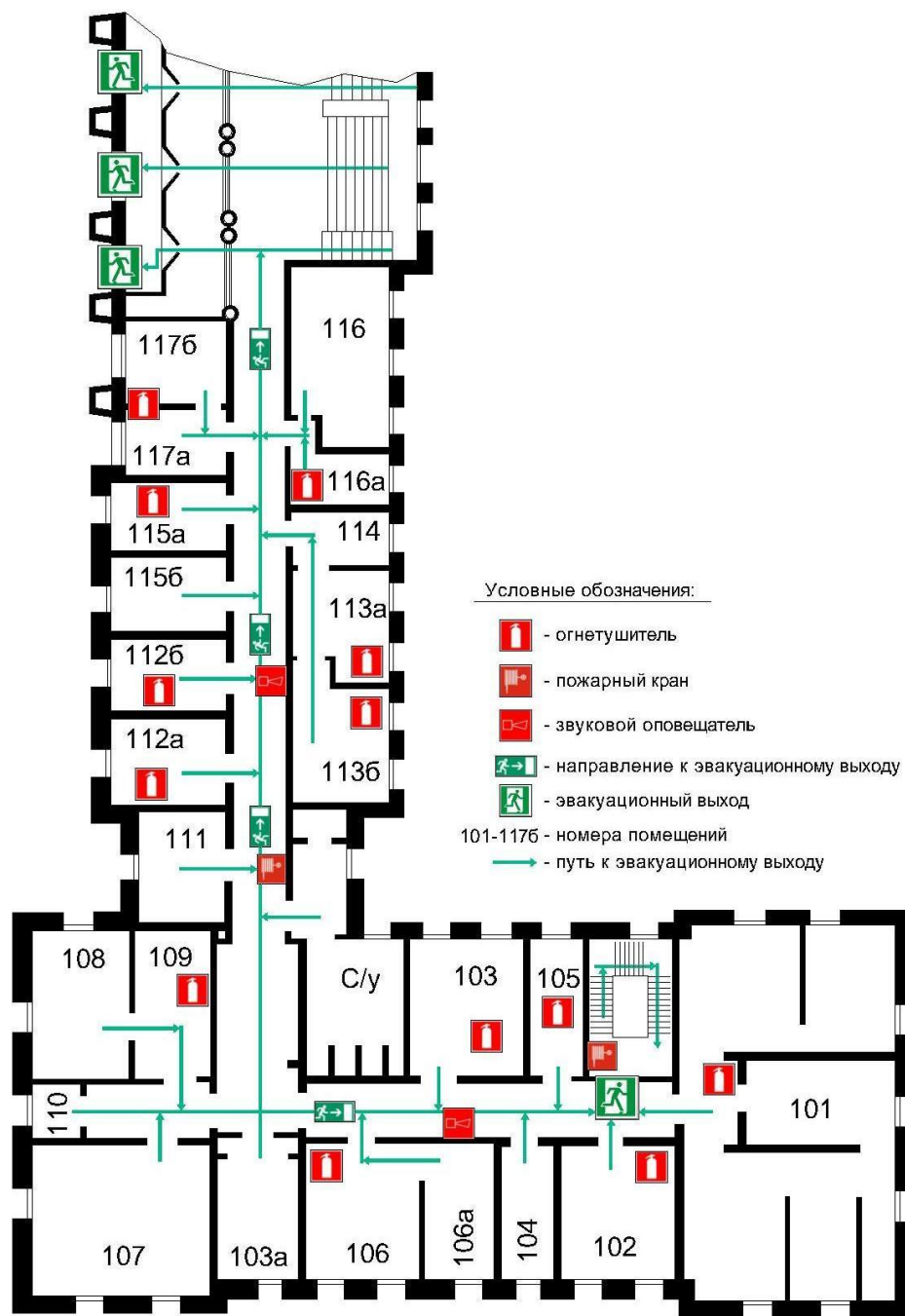


Рисунок 6.2 - План эвакуации людей при пожаре из правого крыла 10-го учебного корпуса

Каждый находящийся в помещении при обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т. п.) должен:

- незамедлительно сообщить об этом по телефону в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
- поставить в известность руководство и дежурные службы объекта;
- принять по возможности меры по эвакуации людей, тушению пожара и сохранности материальных ценностей;
- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Нормы трудового права регулируют любые отношения, связанные с использованием личного труда.

Формы их реализации разнообразны:

- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;

- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Настоящий коллективный договор является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения работников ФГАОУ НИ ТПУ с работодателем.

Основной задачей коллективного договора является создание необходимых организационно-правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений.

По заключенному коллективному договору работодатель обязан:

- соблюдать трудовое законодательство и иные нормативные правовые акты, содержащие нормы трудового права, локальные нормативные акты, условия коллективного договора, соглашений и трудовых договоров;
- предоставлять работникам работу, обусловленную трудовым договором;
- обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда;
- обеспечивать работников оборудованием, инструментами, технической документацией и иными средствами, необходимыми для исполнения ими трудовых обязанностей;
- обеспечивать работникам равную оплату за труд равной ценности, постоянно совершенствовать организацию оплаты и стимулирования труда, обеспечить материальную заинтересованность работников в результатах их труда;
- выплачивать в полном размере причитающуюся работникам заработную плату в сроки, установленные в соответствии с ТК РФ, коллективным договором, настоящими Правилами, трудовыми договорами;

- вести коллективные переговоры, а также заключать коллективный договор в порядке, установленном ТК РФ;

- знакомить работников под роспись с принимаемыми локальными нормативными актами, непосредственно связанными с их трудовой деятельностью;

- создавать условия, обеспечивающие участие работников в управлении организацией в предусмотренных ТК РФ, иными федеральными законами и коллективным договором формах;

- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами;

- возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в порядке и на условиях, которые установлены ТК РФ, федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;

- принимать необходимые меры по профилактике производственного травматизма, профессиональных или других заболеваний работников, своевременно предоставлять льготы и компенсации в связи с вредными (опасными, тяжелыми) условиями труда (сокращенный рабочий день, дополнительные отпуска и др.), обеспечивать в соответствии с действующими нормами и положениями специальной одеждой и обувью, другими средствами индивидуальной защиты;

- постоянно контролировать знание и соблюдение работниками всех требований инструкций по охране труда, производственной санитарии и гигиене труда, противопожарной безопасности;

Работодатель обязуется проводить аттестацию и сертификацию рабочих мест один раз в пять лет с участием представителя профкома.

Если по результатам аттестации рабочее место не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и признано условно аттестованным, разрабатывать совместно с профкомом план мероприятий по улучшению и

оздоровлению условий труда на данном рабочем месте и обеспечивать их выполнение.

Ежегодно издавать приказ о мероприятиях по охране труда и промышленной безопасности, считать эти мероприятия соглашением по охране труда на год.

Обеспечивать за счет средств работодателя:

- Проведение инструктажей по охране труда, обучение лиц, поступающих на работу с вредными и (или) опасными условиями труда, безопасным методам и приемам выполнения работ со стажировкой на рабочем месте и сдачей экзаменов, проведение периодического обучения по охране труда и проверку знаний требований охраны труда в период работы.

- Проведение обязательных периодических медицинских осмотров (обследований) работников, в том числе женщин в женской консультации, в рабочее время по графику медицинских осмотров, с сохранением за ними места работы (должности) и среднего заработка на время прохождения указанных медицинских осмотров.

- Наличие на производственных участках аптечек для оказания первой помощи пострадавшим и обработки микротравм; наличие в аптечках рекомендованного МЛПУ «Городская клиническая больница №1» перечня средств и медикаментов, их ежегодную замену.

Перечень изменений и дополнений к нормативам, утвержденным законодательством РФ выдачи спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты определяется приложением к коллективному договору.

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

6.4.2.1 Эргономические требования к рабочему месту оператора ПЭВМ

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Организация рабочего места программиста или оператора регламентируется следующими нормативными документами:

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места программиста или оператора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Моторное поле - пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук - это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

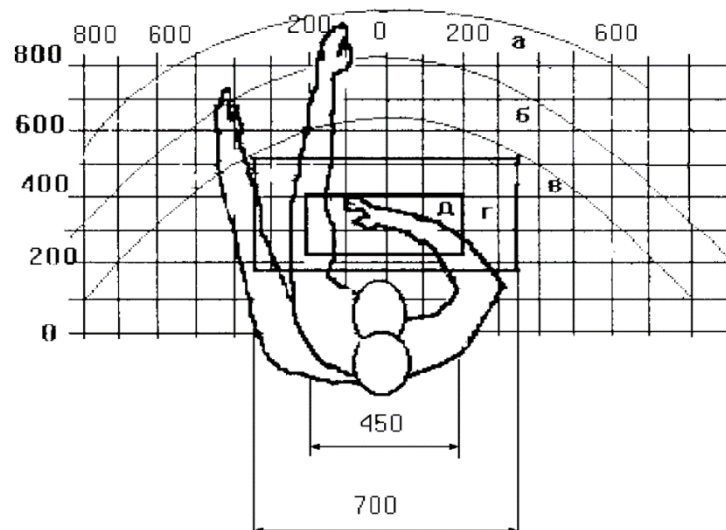


Рисунок 6.3 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а - зона максимальной досягаемости;
- б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в - зона легкой досягаемости ладони;
- г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне "а" (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура - в зоне "г"/"д";
- манипулятор "мышь" - в зоне "в" справа;
- документация: необходимая при работе - в зоне легкой досягаемости ладони – "в", а в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;

- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;

- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;

- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей).

- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760 мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего стула (кресла).

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также регулируемым по расстоянию спинки от переднего края сиденья. Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;

- поверхность сиденья с закругленным передним краем;

- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5° ;

- высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;

- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $0 \pm 30^\circ$;

- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;

- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм;

- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой с нескользящим, неэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнения.

Кресло следует устанавливать на такой высоте, чтобы не чувствовалось давления на копчик (это может быть при низком расположении кресла) или на бедра (при слишком высоком).

Работающий за ПЭВМ должен сидеть прямо, опираясь в области нижнего края лопаток на спинку кресла, не сутулясь, с небольшим наклоном головы вперед (до 5-7°). Предплечья должны опираться на поверхность стола, снимая тем самым статическое напряжение плечевого пояса и рук.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Необходимо предусматривать при проектировании возможность различного размещения документов: сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т.п. Кроме того, в случаях, когда видеотерминал имеет низкое качество изображения, например, заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм), чем расстояние от глаза до документа (300 - 450 мм). Вообще при высоком качестве изображения на видеотерминале расстояние от глаз пользователя до экрана, документа и клавиатуры может быть равным.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6...0,7 м);
- углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от -10° до +20° относительно вертикали;

- в левом и правом направлениях.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20° ;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом $80^\circ \dots 100^\circ$;
- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами:

- нет хорошей подставки для документов;
- клавиатура находится слишком высоко, а документы – низко;
- некуда положить руки и кисти;
- недостаточно пространство для ног.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана система автоматического управления узла концентрирования раствора уранилнитрата.

Система автоматического управления основывается на программируемом логическом контроллере Siemens SIMATIC S7-1516-3 PN/DP, который способен осуществлять контроль, диагностику, а также мониторинг всего процесса повышения концентрации раствора уранилнитрата. Проведен сравнительный анализ контроллеров различных фирм, на основании чего был сделан вывод о их непригодности для использования в данном технологическом процессе, поскольку рассмотренные контроллеры не обладали поддержкой мобильных панелей оператора с НМІ.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрены методы повышения концентрации раствора уранилнитрата с основными параметрами технологических величин во время производства. Рассмотрены основные вопросы связанные с надежностью функционирования АСУ ТП, проведен расчет аппаратной надежности с использованием различных методов оценки надежности, в том числе и с использованием ЭВМ по составленной программе на языке C++. Расчет аппаратной составляющей показал необходимость резервирования оборудования на всех контурах контроля и регулирования. Коэффициент надежности для проектируемой АСУ ТП с резервированием в соответствии с заданием составил 0,95. Коэффициент надежности системы можно считать достоверным, поскольку СКО результатов от машинных расчетов составило 0,00034%. Проведен сравнительный анализ методов расчета надежности ПО. На основании, которого на языке C# разработано приложение для оценки программной надежности алгоритмов управления АСУ ТП.

Также были рассмотрены вопросы технико-экономического обоснования проекта и выполнен раздел социальная ответственность, аспекты которого рассматривают условия при выполнении проектирования.

Список использованных источников

1. Получение урана [Электронный ресурс] / Уран, энергетика и промышленность. URL: <http://ueip.org/technology/poluchenie-urana.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.
2. Раствор уранилнитрата [Электронный ресурс] / Большая энциклопедия нефти и газа. URL: <http://www.ngpedia.ru/id376254p1.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.
3. Короткевич В.М., Лазарчук В.В., Шикерун Т.Г., Шамин В.И., Михайлова Н.А., Дорда Ф.А. Экстракционная переработка концентрированных растворов уранилнитрата с высоким содержанием примесей. Известия ТПУ. Выпуск №3/ том 311/2007. Томск-2007.
4. Получение оксидов урана [Электронный ресурс] / Традиционная химия. URL: <http://www.chemitradition.ru/cholits-630-2.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.
5. Концентрирование растворов уранилнитрата [Электронный ресурс] / Справочник химика 21. URL: <http://chem21.info/info/1806659/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.
6. ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов (с Поправками). М.: Стандартинформ, 2014. – 41 с.
7. Ротаметр РМ-06 [Электронный ресурс] / Прибормаркет. URL: <http://www.pribormarket.ru/catalog/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.
8. DMP 330L [Электронный ресурс] / Сенсоррус. URL: http://www.bdsensors.ru/products/product_info.php?name=dmp330l/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.

9. Термопреобразователи сопротивления [Электронный ресурс] / ЭЛЕМЕР. URL: http://www.elemer.ru/production/temperature/txxu/txxu_205n.php, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.

10. Емкостные измерители уровня CLM-36 [Электронный ресурс] / Dinel. URL: http://www.dinel.cz/_file/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.

11. Вибрационные датчики уровня LVL-АН [Электронный ресурс] / Sensoren. URL: http://www.sensoren.ru/vibracionnie_datchiki_urovnya_pepperl_fuchs_vibracon_mini_lv1_a.html, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.

12. Расходомер AXF 025G [Электронный ресурс] / Yokogawa URL: <http://www.yokogawa.ru/upload/iblock>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.

13. Modicon M340 [Электронный ресурс] / Schneider Electric. URL: <http://www.schneider-electric.com/products/ru/ru/3900-plk-pk-sovmestimye-kontrollery-udalennyj-vvod-vyvod/3950-plk/1468-modicon-m340/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус, англ, нем. Дата обращения: 10.02.2017 г.

14. Процессорные модули TC 507 P300 ETH I [Электронный ресурс] / ЭлеСи, автоматизация технологических процессов. URL: <http://elesy.ru/products/products/plc/tc/ti.aspx>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус, англ. Дата обращения: 10.02.2017 г.

15. Siemens S7-1500: бесподобное преимущество по мощности и эффективности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.festo-didactic.com/ru-ru/4441/501/1231/plc-boards-a4-size/siemens-s7-1500.htm?fbid=cnUucnUuNTcxLjI5LjE4LjExNTQuNzg0NQ>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.

16. SIMATIC S7-1500 [Электронный ресурс]. URL: http://iadt.siemens.ru/products/automation/simatic/SIMATIC_S7/S7_1500/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2017 г.

17. Totally Integrated Automation Portal V13 SIMATIC STEP 7 Professional [Электронный ресурс]. URL: http://iadt.siemens.ru/assets/files/infocenter/catalogs_and_brochures/as/ProductInfo/02_TIA_STEP7_V13.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2014 г.
18. ГОСТ 24.701-86. Надежность автоматизированных систем управления. М.: Стандартиформ, 2009. – 64 с.
19. Афанасьева Т.А. Надежность химико-технологических производств / Иван. гос. хим.-технол. ун-т: монография – Иваново, 2007. – 199с.
20. Шкляр В.Н. Надёжность систем управления: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.
21. Чупин А.В., Ямпольский А.А. Надёжность систем управления: учебно-методический комплекс / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово: Издательство Кемеровского технологического института пищевой промышленности, 2004. – 101 с.
22. Г. Майерс. Надежность программного обеспечения. Москва, Мир, 1980 год.
23. Карповский Е.Я., Чижов С.А. Надежность программной продукции. – К.: Тэхника, 1990. – 160 с.
24. Фатуев В.П. Надежность автоматизированных информационных систем: Учебное пособие // Высоцкий В.И., Бушинский В.И. – Т.: ТГУ, 1998. – 104 с.
25. Иыуду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем. – М.: Высшая школа, 1989. – 216 с.
26. Шураков В.В. Надежность программного обеспечения систем обработки данных: Учебник для вузов. – М.: Статистика, 1981. – 216 с.
27. Майерс Г. Надежность программного обеспечения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 356 с.
28. СанПиН 2.2.2-2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

29. СанПиН 2.2.4.548-96 ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МИКРОКЛИМАТУ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.

30. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение".

31. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки".

32. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

Приложение А

Параметры технологического контроля

Таблица А.1 – Параметры технологического контроля

№ поз. наименование	Технологический контроль и регулирование			Сигнализация и блокировки
	Параметр	Пределы измерения (ТЗ)	Организация контроля	
1	2	3	5	6
Выпарной аппарат А-1	Давление	-0,5 ... 1 кгс/см ²	Показание местное и на ЩТК2	Световая и звуковая при P>0,7 кгс/см ²
	Температура плава	20 ... 120 С°	Показание на ЩТК2	
	Температура стенки	20 ... 120 С°	Показание на ЩТК2	Управление нагревателями аппарата
	Верхний, средний, нижний уровень плава		Показание на ЩТК2	Световая и звуковая верхнего и нижнего уровня
Выпарной аппарат А-2	Давление	-0,5 ... 1 кгс/см ²	Показание местное и на ЩТК3	Световая и звуковая при P>0,7 кгс/см ²
	Температура плава	20 ... 120 С°	Показание на ЩТК3	
	Температура стенки	20 ... 120 С°	Показание на ЩТК3	Управление нагревателями аппарата
	Уровень плава	0 ... 100 % V _{ан}	Показание местное и на ЩТК3	
	Верхний уровень плава		Сигнал на ЩТК3	Световая и звуковая верхнего уровня
Конденсатор А-3-1	Давление	- 1 ... 1,5 кгс/см ²	Показание местное и на ЩТК1	Световая и звуковая при P>0,7 кгс/см ²
	Температура	20 ... 100 С°	Показание на ЩТК1	
Конденсатор А-3-2	Давление	- 1 ... 1,5 кгс/см ²	Показание местное	
	Температура	20 ... 100 С°	Показание на ЩТК1	
Расход воды	Расход воды	0... 0,25 м ³ /ч	Показание местное	
Подогреватель воздуха А-4	Расход сжатого воздуха	3 ... 16 м ³ /ч	Показание местное	
	Давление сжатого воздуха	0 ... 10 кгс/см ²	Показание местное	
	Температура сжатого воздуха	20 ... 120 С°	Показание на ЩТК1	

Продолжение таблицы А.1

Насос-дозатор А-6	Давление нагнетания	0 ... 25 кгс/см ²	Показание местное и на ЩТК1	Отключение насоса- дозатора при $P > P_{зад.}$, световая и звуковая сигнализация.
	Расход расплава	10 ... 40 л/ч	Показание местное и на ЩТК1	Управление расходом
	Температура стенки насоса	20 ... 120 С°	Показание на ЩТК1	Управление нагревателем, световая сигнализация.
Трубопроводы на подаче расплава	Температура стенки	20 ... 120 С°	Показание на ЩТК1	Управление нагревателями трубопроводов, световая сигнализация.
Реакционная труба	Давление	-0,5 ... 1 кгс/см ²	Показание на ЩТК1	Световая и звуковая сигнализация при $P > P_{зад.}$

Приложение В

Структурная схема автоматизации

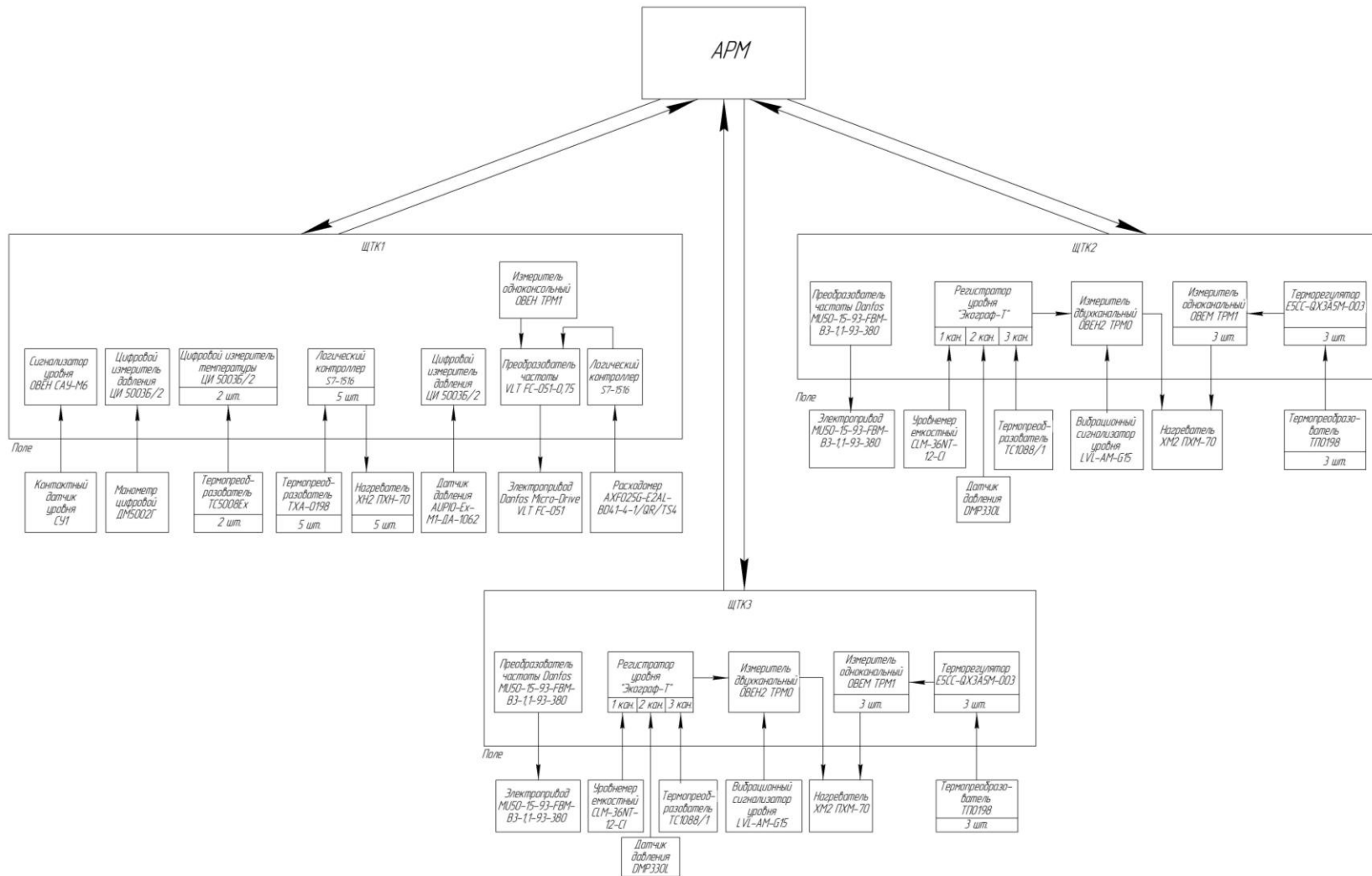


Рисунок В.1 – Структурная схема автоматизации

Приложение Г

Блок-схема алгоритма технологического процесса

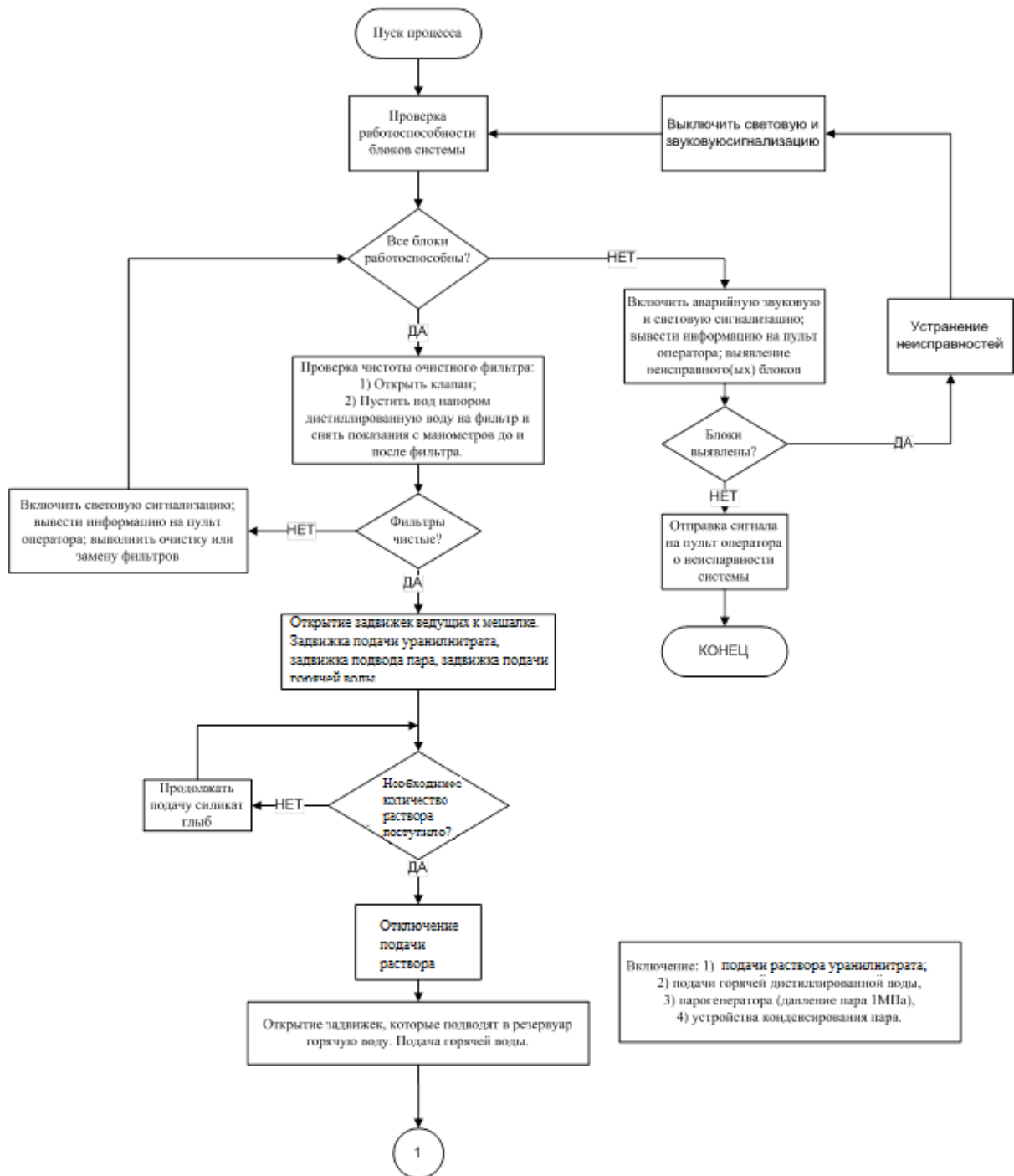


Рисунок Г.1 – Блок-схема алгоритма производственного процесса

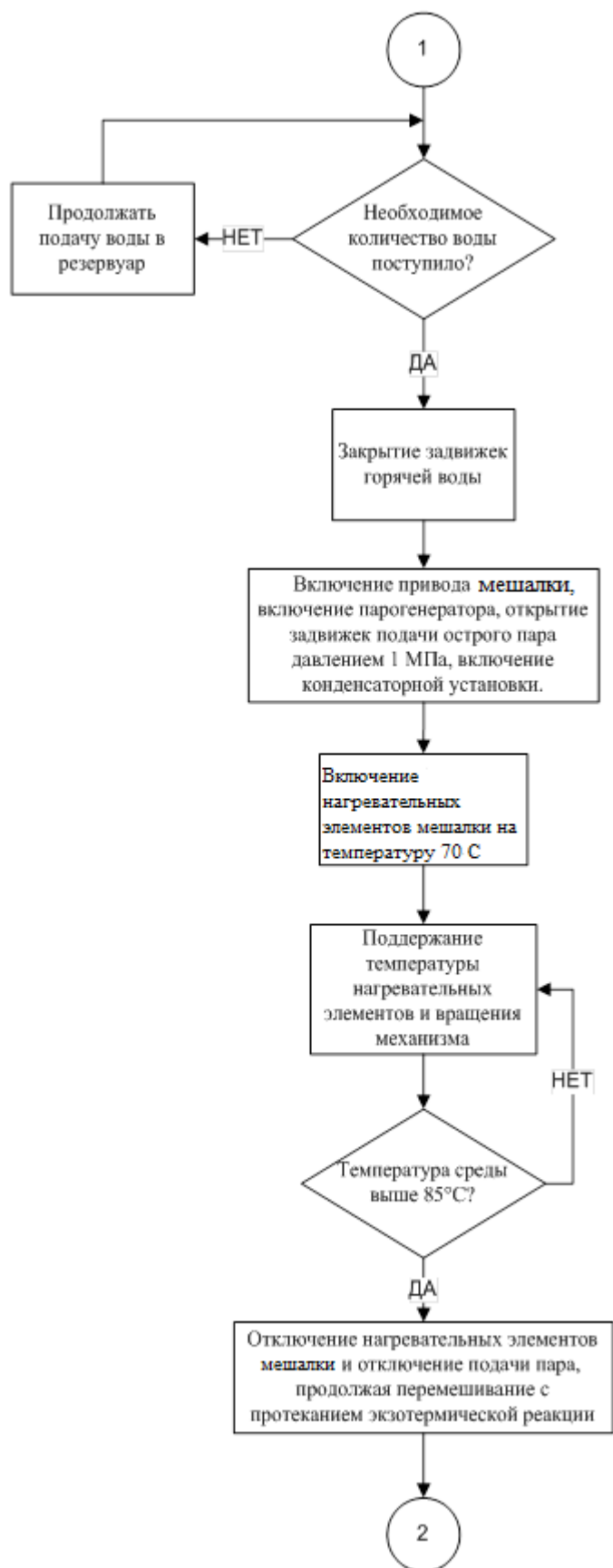


Рисунок Г.2 – Блок-схема алгоритма производственного процесса

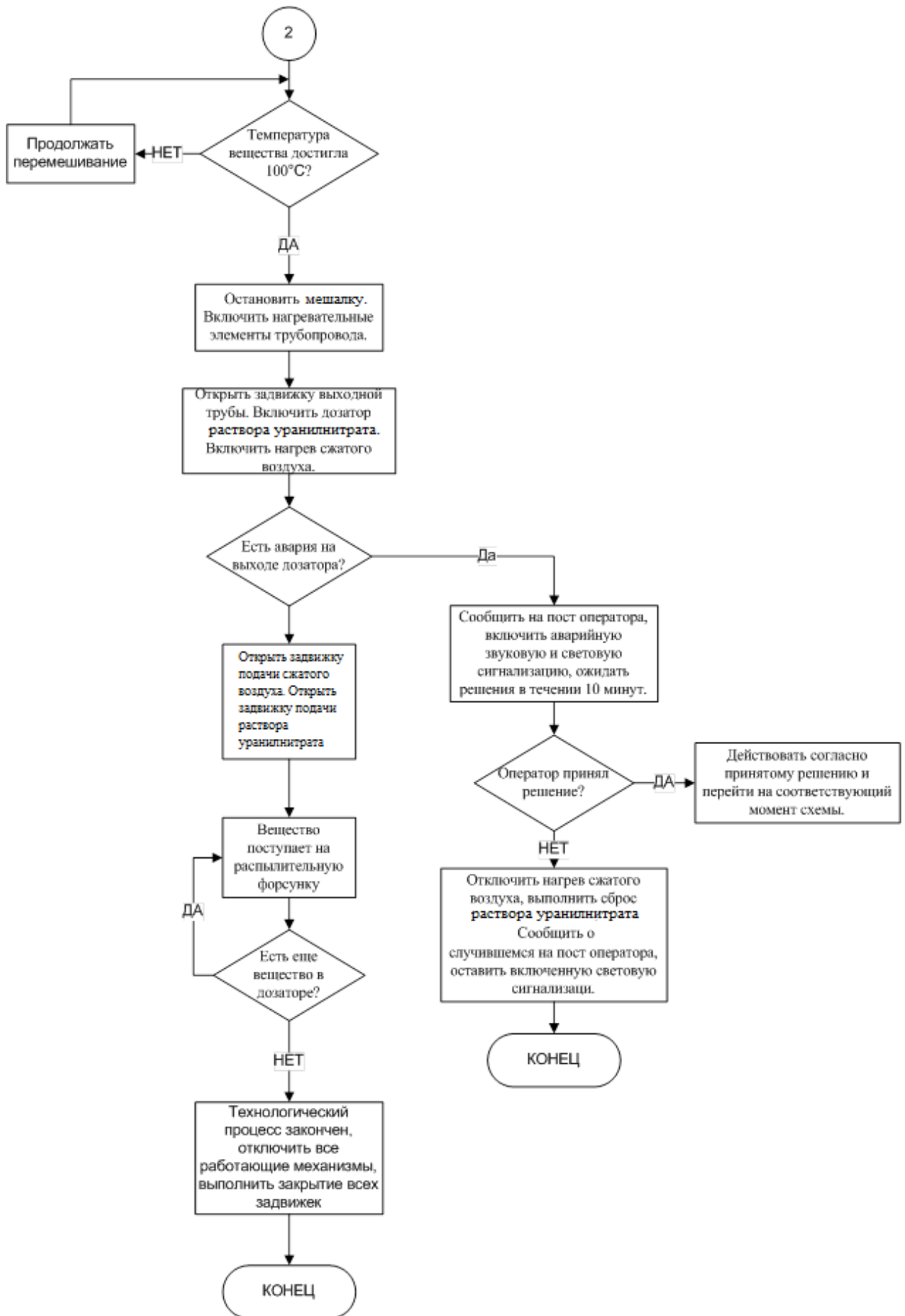


Рисунок Г.3 – Блок-схема алгоритма производственного процесса

Приложение Д

Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом

Термопреобразователи предназначены для преобразования значения температуры различных, в том числе агрессивных, средств унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА.

Термопреобразователь ТС1088/1;

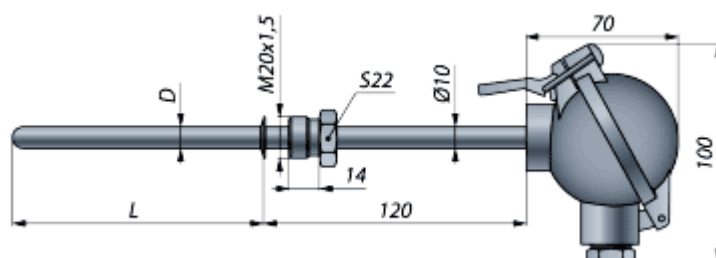


Рисунок Д.1 – Термопреобразователь ТС 1088/1

Термопреобразователи сопротивления (ТС, термометры сопротивления) предназначены для контроля и измерения температуры жидких, твердых, газообразных и сыпучих, неагрессивных к материалу корпуса.

ТС могут быть использованы в теплоэнергетике, химической, металлургической и других отраслях промышленности, а также на объектах атомных электростанций.

Основные характеристики:

Технологии: металлообработка любой сложности; лазерная сварка; пайка серебряным припоем;

Материалы:

Термоэлементы пленочные и проволочные: Pt50, Pt100, Pt500, Pt1000;

Термоэлементы проволочные: 46П (гр. 21), 50П, 100П, 50М, 53М (гр. 23), 100М;

Тонкостенные трубы из нержавеющей стали 12X18Н10Т диаметром 2...16 мм;

Металлорукав из нержавеющей стали 12X18Н10Т диаметром 2...16 мм;

Электрическое сопротивление изоляции:

$t = \text{до } 35\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ — } 100 \text{ МОм};$

$t = 100...300\text{ }^{\circ}\text{C} — 10\text{ МОм};$

$t = 301...500\text{ }^{\circ}\text{C} — 2\text{ МОм}.$

Термопреобразователь ТП 0198;



Рисунок Д.2 – Термопреобразователь ТП 0198

Преобразователи термоэлектрические (ТП, термопары) предназначены для контроля и измерения температуры жидких, твердых, газообразных и сыпучих сред, неагрессивных к материалу корпуса преобразователя.

ТП-могут быть использованы в теплоэнергетике, химической, металлургической и других отраслях промышленности, а также на объектах атомных электростанций.

Основные характеристики:

технологии:

- металлообработка любой сложности,
- изготовление кабельных термопреобразователей полуавтоматическим

методом,

- лазерная сварка,
- пайка серебряным припоем;
- при изготовлении преобразователей термоэлектрических ТП-0198 в

качестве чувствительного элемента применяется кабель термопарный с минеральной изоляцией в стальной оболочке (КТМС).

диапазон измеряемых температур по ГОСТ 6616-94:

- ХА (К) — термопара ХА (хромель-алюмель) — $-200...+1250$ °С (кратковременно до 1300 °С);
- НН (N) — термопара НН (нихросил-нисил) — $-270...+1250$ °С (кратковременно до 1300 °С);
- ЖК (J) — термопара ЖК (железо-константан) — $-200...+750$ °С (кратковременно до 900 °С);
- ХК (L) — термопара ХК (хромель-копель) — $-200...+600$ °С (кратковременно до 800 °С);
- ПП (S,R) — термопара (платинородий-платиновые) — $0...+1300$ °С (кратковременно до 1600 °С);
- ПР (В) — термопара (платинородий-платинородиевые) — $+600...+1700$ °С;
- показатель тепловой инерции — в соответствии с ГОСТ 6616-94 для конкретных модификаций;
- климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 — УХЛ2;
- степень защиты от воздействия воды и пыли по ГОСТ 14254-96 — IP 54, IP65;
- маркировка — на самоклеющейся пленке (материал шильдика устойчив к воздействию температур от -40 до $+120$ °С).

Термопреобразователь ТС 5008Ех;



Рисунок Д.3 – Термопреобразователь ТС 5008Ех

Датчики температуры ТС5008 общепромышленного исполнения предназначены для непрерывного пропорционального преобразования

температуры жидкостей и газов в унифицированный токовый выходной сигнал в условиях неагрессивных сред в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Датчики температуры ТС5008Ех являются взрывозащищенными с видом "Взрывонепроницаемая оболочка", и имеют маркировку взрывозащиты "1ExdПВТ5". Дополнительно приборы могут поставляться в комплектации с цифровым измерителем ЦИ5003. Приборы соответствуют требованиям электромагнитной совместимости группе (II) А по ГОСТ Р 50746-2000.

Основные характеристики:

Диапазоны показаний прибора:

нижний предел - -50; -25; 0 °С

верхний предел - 0; 25; 50; 100; 150; 200; 300; 400 °С

Предел допускаемой основной погрешности: $\pm 0,25$; 0,5

Степень защиты - IP65

Масса приборов - не более 0,8 кг

Средний срок службы - 8 лет

Материал корпуса и элементов защитной арматуры: нержавеющая сталь

По устойчивости к климатическим воздействиям приборы имеют исполнение У2 по ГОСТ 15150-69 (но для работы при температуре от -40 до +70 °С)

Датчики устойчивы к воздействию синусоидальной вибрации частотой от 5 до 100 Гц с амплитудами от 2,5 до 0,1 мм.

Резьба присоединительного штуцера: метрическая резьба М20х1,5-8g, М12х1,5-8g

Длина погружной части:

50мм, 100мм, 150мм, 200мм, 250мм, 300мм, 350мм, 400мм, 450мм, 500мм

- по заказу

Электротехнические параметры

Выходной сигнал – постоянный ток:

05- для трехпроводной линии связи 0-5 мА

42 - для двухпроводной линии связи 4-20 мА

Сопротивление нагрузки приборов:

с выходным сигналом 4-20 мА - от 0,2 до 1000 Ом

с выходным сигналом 0-5 мА - от 0,2 до 2500 Ом

Напряжение питания: 17-42 В.

Потребляемая мощность датчиков:

выходной сигнал (4-20)мА не более 0,85 ВА;

выходной сигнал (0-5) мА не более 0,36 ВА.

Термопреобразователь ТХА-0198;



Рисунок Д.4 – Термопреобразователь ТХА-0198

Термопара для измерения температуры.

Диапазон измерения температуры: $-40...600^{\circ}\text{C}$, $-40...800^{\circ}\text{C}$,
 $-40...1000^{\circ}\text{C}$

Градуировка: ХА

Длина: 50 мм

Диаметр: 2 мм, 6 мм

Изоляция: AISI 304, Inconel600

Таблица Г.1 – Технические характеристики

Параметр	Значение
Температура	$-40...600^{\circ}\text{C}$, $-40...800^{\circ}\text{C}$, $-40...1000^{\circ}\text{C}$
Градуировка	ХА
Диаметр	2 мм, 6 мм
Длина	50 мм
Длина выводов	Длина выводов
Изоляция	AISI 304, Inconel600

Приложение Е
Измерение и сигнализация уровня
Уровнемер емкостной CLM-36NT-12-CI;



Рисунок Е.1 – Уровнемер емкостной CLM-36NT-12-CI

Ёмкостные измерители уровня CLM-36 предназначены для непрерывного измерения высоты уровня жидких и сыпучих веществ в резервуарах, баках, башнях, ямах и т.п.

Таблица Е.1 – Основные характеристики

Напряжение питания: - вар. N, NT - вар. Xi, XiT	9 ÷ 36 В DC 9 ÷ 30 В DC
Токовый выход: - не погруженный электрод - погруженный электрод	4 мА 20 мА
Предельные параметры варианта Xi	Ui = 30ВDC, Ii = 132мА, Pi = 0,99Вт, Ci = 370нФ, Li = 0,9мН
Чувствительность	20, 30, 50, 100, 150, 300, 500, 1000 пФ
Макс. ёмкость погруженного электрода (диапазон)	70, 250, 600, 1200, 3000, 7000, 18000, 36000 пФ
Диапазон регулировки исходной ёмкости	мин. 1:2
Нелинейность	макс. 1 %
Температурная погрешность	макс. 0,05% / К
Погрешность напряжения	макс. 0,3 мА / В
Сопротивление на входе / эл. прочность (электрод - корпус)	1 МΩ / 250 В AC
Разделительная ёмкость / эл. прочность (корпус-питающие приводы)	вар. N 51 нФ / 250 В AC вар. Xi 26 нФ / 500 В AC
Разрешенный диапазон температур в пространстве зона 0 (ЧСН ЕН 50284)	от -20 до +60°С
Разрешенный диапазон давлений в пространстве зона 0 (ЧСН ЕН 50284)	от 0,8 до 1,1 бар (от 0,08 до 0,11 МПа)
Защита: - головка - коннектор тип GDM 2009 - коннектор тип GDM-K 2000	IP 67 IP 65 IP 67
Коннектор по DIN 43 650 Hirschmann: - стандарт - по заказу	GDM 2009 GDM-K 2000
Макс. сопротивление нагрузки (при U = 24 В)	Rmax = 750 Ω

Вибрационный сигнализатор уровня LVL-AH-G1S;



Рисунок Е.2 – Вибрационный сигнализатор уровня LVL-AH-G1S

Принцип работы вибрационных сигнализаторов уровня: вилка датчика вибрирует под пьезоэлектрическим воздействием на своей механической резонансной частоте, которая передается во встроенный блок электроники. Если вилка будет покрываться измеряемой средой, то частота колебания изменится. Затухание частоты, в свою очередь, будет уловлено электроникой и при этом сработает функция на выходе датчика.

Вибрационные датчики уровня PepperlFuchsLVL-A обладают следующими преимуществами: простой и быстрый монтаж, надежность конструкции, долговечность, минимум обслуживания, независимость результата измерения от различных факторов (пена, турбулентность, направления потока и т.д.). Датчики LVL-A отличаются от серии LVL-T1 еще более компактным корпусом и укороченной вибровилкой, кроме того, они значительно дешевле.

Вибрационные сигнализаторы уровня Vibracon LVLA являются недорогим решением для задач по сигнализации уровня жидких веществ в различных емкостях, контроля наполняемости труб, защиты насосов от сухого хода и т.д. Вибрационные сигнализаторы P+F LVL-A для удобного монтажа в систему поставляются в резьбовых исполнениях.

Основные характеристики:

Температура процесса: до 100 °С. Монтаж: G1/2" A, G3/4" A, G1" A, 1/2" NPT, 3/4" NPT, R1/2", R3/4", нерж. сталь 1.4435. Питание, выход: В3: 24.5.. 31 V DC (AS-Interface). E5: PNP, 10.. 35 V DC, WA: 19.. 253 V AC, 50/60 Hz

Приложение Ж
Приборы для измерения давления
Манометр МВПЗА-Кс;



Рисунок Ж.1 – Манометр МВПЗА-Кс

Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие МПЗА-Кс, ВПЗА-Кс и МВПЗА-Кс предназначены для измерения избыточного и вакуумметрического давления углеводородного газа и водогазонефтяной эмульсии с содержанием сероводорода (H_2S) и углекислого газа (CO_2) до 25 % объемных каждого, неорганических солей и парафина до 10 % весовых.

Основные характеристики:

- диаметр корпуса - 100 мм;
- класс точности приборов - 1,5 (по заказу - 1,0);
- степень защиты - IP53 (по заказу IP54);
- масса приборов - не более 0,5 кг;
- гарантийный срок эксплуатации - 3 года (со дня ввода прибора в эксплуатацию при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, транспортирования, хранения и монтажа, указанных в руководстве по эксплуатации);
- средний срок службы - 8 лет;
- материалы деталей:
 - корпус - нержавеющей сталь;
 - стекло - силикатное;

- безопасное (по заказу для приборов со степенью защиты IP54);
- трубчатая пружина - 36НХТЮ;
- держатель - нержавеющая сталь;
- механизм - нержавеющая сталь, алюминиевый сплав;
- по устойчивости к климатическим воздействиям приборы имеют исполнение УХЛ1 по ГОСТ 15150-69 (но для работы при температуре от -50 до +50 °С);
- приборы выдерживают воздействие вибрации в диапазоне частот от 5 до 25 Гц с амплитудой 0,1 мм (группа L3 по ГОСТ Р 52931-2008);
- варианты исполнения: с радиальным штуцером без фланца (для степени защиты IP53 и IP54); с радиальным штуцером с фланцем (для степени защиты IP54).

Датчик давления DMP 330L;



Рисунок Ж.2 – Датчик давления DMP 330L

DMP 330L – является экономичным датчиком давления для различных отраслей промышленности, пропорционально преобразующим давление рабочей среды в электрический сигнал 4...20 мА или 0...10 В. Возможно измерение избыточного давления (верхний предел диапазона измерений – от 1 до 400 бар), а также вакуумметрического. Корпус датчика изготовлен из нержавеющей стали. Стандартное уплотнение - витон (FKM). Возможны различные варианты подключения к источнику давления. Датчик DMP 330L надёжно обеспечивает измерение с погрешностью 0,5 % давления жидкостей, газов и паров, неагрессивных к нержавеющей стали.

Основные характеристики:

- диапазоны: 0..1 до 0..400 бар, избыточное, разрежение;
- перегрузка: до 3X;
- осн. погрешность: 0,5 % ДИ;
- выходной сигнал: 4..20 мА; 0..10 В и др.;
- присоединение: М20х1,5; G 1/2", G 1/4" ;
- сенсор: Керамический тензорезистивный.

Применение: Неагрессивные к нержавеющей стали жидкости, газы и пар.

Датчик давления АИР-10-Ех-М1-ДА-1062;



Рисунок Ж.3 – Датчик давления АИР-10-Ех-М1-ДА-1062

Преобразователи давления измерительные АИР-10 (далее — АИР-10) используются в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и предназначены для непрерывного преобразования в унифицированный выходной токовый сигнал следующих величин:

- абсолютного давления — АИР-10-ДА;
- избыточного давления — АИР-10-ДИ;
- избыточного давления-разряжения — АИР-10-ДИВ;
- дифференциального давления — АИР-10-ДД.

Основные характеристики:

- 8 диапазонов измерения давления для каждой модели;

- отношение значения максимального верхнего предела к минимальному — 25:1;
- основная погрешность — от $\pm 0,1$ %;
- конфигурирование — с помощью микропереключателей на любые из 8 диапазонов (в пределах верхнего предела измерения);
- единицы измерения — кПа (Мпа) или кгс/см²;
- установка «0» как с помощью кнопки, расположенной под крышкой прибора, так и с помощью специально магнитного брелока без снятия крышки (выбираемая опция);
- возможность настройки прибора на нестандартные диапазоны измеряемых давлений (осуществляется через интерфейс RS-232 при помощи программного обеспечения).

Манометр цифровой ДМ5002Г;



Рисунок Ж.4 – Манометр цифровой ДМ5002Г

Манометры цифровые ДМ5002 предназначены для измерения избыточного и вакуумметрического давления неагрессивных, некристаллизующихся жидкостей, пара и газа, т.ч. кислорода в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Приборы имеют защиту в соответствии с требованиями электромагнитной совместимости по ГОСТ Р 51317 и соответствуют группе А по ГОСТ Р 51522. Приборы могут применяться в качестве образцового (рабочего эталона 3-го разряда) при поверке рабочих средств с погрешностью 0,4. Имеется разработанная и утвержденная во ВНИИМС методика поверки 5ШО.283.342МП.

Функциональные назначения приборов: цифровая индикация текущего значения давления, преобразование давления жидкостей и газов в унифицированный токовый выходной сигнал, сигнализация повышения или понижения давления установленных граничных значений.

Описание:

- диаметр корпуса - 100 мм;
- предел допускаемой основной погрешности: $\pm 0,1$; $\pm 0,15$; $\pm 0,2$; $\pm 0,25\%$;
- степень защиты - IP54;
- масса приборов - не более 1,8 кг;
- средний срок службы - 8 лет;
- материал корпуса: алюминиевый сплав;
- приборы выдерживают воздействие вибрации в диапазоне частот от 10 до 55 Гц с амплитудой 0,35 мм (группа N2 по ГОСТ 12997-84).

Приложение И
Измерение расхода
Расходомер «Ротаметр РМ-06» РМ-0,25 ЖУЗ;



Рисунок И.1 - Расходомер «Ротаметр РМ-06» РМ-0,25 ЖУЗ

Ротаметры для местного измерения расхода без дистанционной передачи показаний. Ротаметр типа РМ-06 представляют собой приборы постоянного перепада давления и предназначены для измерения объемного расхода плавноменяющихся однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей с дисперсными включениями инородных частиц. Ротаметр РМ-06 применяется в различных промышленных областях. Может использоваться для измерения объемного расхода различных жидкостей и газа, поэтому ротаметр сегодня устанавливают в производственных цехах и иных помещениях, в которых расположен трубопровод, нуждающийся в постоянном контроле.

Ротаметр РМ-06 должны при установке всегда располагаться вертикально, вследствие принципа измерения. Показания ротаметров должны считываться операторам.

Ротаметр РМ-06 имеет некоторые преимущества по сравнению с другими, это прежде всего, встроенный игольчатый регулировочный вентиль для точной регулировки измеряемого расхода.

Материал деталей, соприкасающихся с измеряемой средой:

- Ст. 12х18Н9Т ГОСТ 5632-72;
- дюралюминий анодированный ГОСТ 4784-74;
- АГ-4В ГОСТ 20437-75;
- эбонит ГОСТ 2748-77;

- титан ВТ-1-0 ГОСТ 190013-81;
- стекло химико-лабораторное ГОСТ 21400-75;

Расходомер AXF025G-E2AL1L-BD41-4-1/QR/TS4;



Рисунок И.2 – Расходомер AXF025G-E2AL1L-BD41-4-1/QR/TS4

Электромагнитные расходомеры серии AXF – предназначены для измерения расхода агрессивных сред. Значительное повышение эксплуатационной надежности достигается за счет сменности электродов в сочетании с диагностикой степени налипания рабочей среды на электроды.

В расходомерах AXF реализован метод 2-частотного возбуждения, свободный от помех, генерируемых рабочей средой, а по дополнительному заказу предлагается использовать недавно разработанный метод расширенного 2-частотного возбуждения, обеспечивающий более высокую стабильность и чувствительность в более сложных условиях эксплуатации.

Стандартное 2-частотное возбуждение:

- размер от 2,5 до 400 мм (0,1 - 16 д.);
- расширенное 2-частотное возбуждение:
- размер от 25 до 200 мм (1 - 8 д.);
- сопротивление нагрузки: ≤ 200 Ом;
- один токовый выход: 4 - 20 мА пост. тока (сопротивление нагрузки: 0 – 750 Ом, включая сопротивление кабеля);
- выход контактов транзистора (разомкнутый коллектор);
- нагрузка контактов: -30 В (OFF), 200 мА (ON);

- частота выхода: 0,0001 - 10000 (имп./с.);
- нагрузка контактов: -30 В (OFF), 200 мА (ON);
- данные (значения параметров, сумм и т.п.) сохраняются в ЭСПЗУ.

Никакой резервный аккумулятор не требуется.

Защита общего назначения/Санитарно-технический/ Огнестойкий тип TIS: в соответствии с IP66, IP67, IIS C0920 для водонепроницаемого исполнения.

Взрывозащищенный тип, кроме TIS:

- сигнал коммуникационной связи BRAIN или HART (Налагаемый на сигнал пост. тока 4 - 20 мА);
- расстояние до силовой линии: ≥ 15 см (6 дюймов) (Параллельной проводки следует избегать.).

Протяженность коммуникационной линии:

- до 1,5 км (0,9 миль) при использовании нескольких кабелей «витая пара». Протяженность коммуникационной линии зависит от типа используемых кабелей.
- сопротивление нагрузки: 250 – 600 Ом (включая сопротивление кабеля).

Приложение К

Регистратор уровня «Экограф-Т» А1В3ВДА1



Рисунок К.1 – Безбумажный регистратор «Экограф – Т»

Регистраторы безбумажные Экограф-Т являются экономичной альтернативой для приборов самопишущих, использующих бумагу, могут использоваться для записи и контроля параметров технологических процессов (температуры и других физических величин) во всех отраслях промышленности. Приборы позволяют осуществлять по трем или шести каналам (в зависимости от модификации):

- преобразование сигналов постоянного напряжения и силы постоянного тока по ГОСТ 26.011 в значения параметра;
- позиционное регулирование;
- измерение температуры с помощью термометров сопротивлений (ТС), подключенных по трех- или четырехпроводной линии связи;
- измерение температуры с помощью термопар (ТП) с компенсацией температуры холодных спаев;
- обмен данными с ЭВМ по интерфейсам: RS-232, USB, RS-485 и Ethernet;
- измерение и регистрацию мгновенного расхода (корнеизвлечение);
- регистрацию, отображение и архивирование результатов измерения аналоговых входных сигналов, состояния цифрового входа и системных сообщений;
- представление результатов измерения в аналоговом и цифровом виде и отображение на видеографическом цветном дисплее;

– реагирование на внешние события посредством использования цифрового входа.

Прибор оснащен программно-кодовой защитой от несанкционированного доступа в базу данных. Прибор является устройством непрерывного действия и предназначен для работы при температуре окружающего воздуха от 0 до 50 °С.

Приборы эксплуатируются в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха от 0 до 50 °С;
- относительная влажность не более 80 % при 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

Входное сопротивление приборов:

- при входном сигнале напряжения постоянного тока: а) напряжение не более 1 В, МОм, не менее 2,7; б) напряжение более 1 В, кОм, не менее 980;
- при входном сигнале силы постоянного тока, Ом, не более 50;
- при входном сигнале от термопар, МОм, не менее 2,7.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности компенсации температуры свободных концов термопары (для входных сигналов с компенсацией температуры «холодного спая») не более $\pm 2,0$ °С. 2.6 Сопротивление каждого провода линии связи при подключении ТС, Ом, не более:

- трехпроводная линия связи 40;
- четырехпроводная линия связи 200.

Степень защиты приборов по ГОСТ 14254-96: с фронтальной стороны – IP54, – с обратной стороны – IP20.

Приборы обеспечивают счет текущего времени. Работа в режиме реального времени, отклонение < 10 мин за год. Возможна синхронизация времени. Приборы обеспечивают хранение введенных значений и результатов измерения в течение 10 лет (литиевая батарея). Хранение данных происходит во внутренней памяти и на флэш-карте. Долговременное архивирование

происходит в ПК, причём данные переносятся через последовательный интерфейс.

Прибор имеет возможность подключения последовательных интерфейсов: USB, RS-232 или RS-485, Ethernet. Использование интерфейсов позволяет организовать обмен данными с удалённого ПК. Длина линии связи при использовании RS-485 - до 1000 м.

Приборы имеют возможность устанавливать внешнюю термокомпенсацию в задаваемых точках, °С. 2.11 Измерение производится параллельно по всем каналам с периодом 100 мс.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока (50/ 60 Гц) напряжением от 115 до 242 В, частотой 50/ 60 Гц или постоянным напряжением от 20 до 28 В (переменным 50/60 Гц), в зависимости от исполнения.

Прибор позволяет устанавливать цифровой фильтр в пределах от 0 до 999,9 с в зависимости от уровня помех аналогового входного сигнала.

Отображение результатов измерений в приборе осуществляется в режимах аналоговой регистрации и цифровой индикации (максимально пять разрядов). В режиме аналоговой регистрации результаты измерения отображаются на дисплее в виде двумерных графиков (далее кривых). Каждая кривая соответствует одному из каналов измерения и имеет свой цвет. Регистрация в приборах осуществляется в прямоугольных координатах. Термопары и контур тока 4-20 мА контролируются при обрыве. Имеется индикация обрыва цепи кабеля на дисплее.

Масса приборов должна быть не более 1,0 кг.

Приборы сохраняют свои характеристики при воздействии внешнего постоянного или переменного магнитного поля частотой 50 Гц и напряженностью до 40 А/м;

Максимальная мощность, потребляемая прибором при номинальном напряжении питания, не более 25 В·А.

Период регистрации (цикл памяти) устанавливается с помощью клавиатуры: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30 с; 1, 2, 3, 4, 5, 10, 30 мин; 1 ч.

Приложение Л

Терморегулятор E5CC-QX3A5M-003



Рисунок Л.1 – Терморегулятор E5CC-QX3A5M-003

Регулятор температуры предназначен для управления сложными температурными профилями с применением уникального алгоритма регулирования по градиенту температуры (GTC) компании Omron и может легко и без какого-либо программирования обмениваться данными с ПЛК и человеко-машинными интерфейсами производства Omron и других производителей. Кроме того, в E5CC-QX3A5M-003 реализованы все технологии интеллектуального регулирования температуры, ориентированные на простоту в использовании, среди которых 2-ПИД регулирование, функция компенсации возмущений и различные способы настройки.

- Интерфейсы связи для работы с широким спектром промышленных сетей.
- Функции связи, не требующие программирования, интеллектуальные активные компоненты (SAP) и библиотеки функциональных блоков сокращают время проектирования.
- Модели с винтовыми клеммами и модели с безвинтовыми клеммами с пружинными зажимами.
- Один прибор поддерживает входные сигналы различного типа: Pt, термопара, mA, V.
- Регулирование по градиенту температуры.

Приложение М

Цифровой измеритель температуры ЦИ5003Б/2



Рисунок М.1 - Цифровой измеритель температуры ЦИ5003Б/2

Приборы предназначены для измерения унифицированного выходного токового сигнала 4-20 мА датчиков физических величин (давления, температуры, влажности, расхода, уровня и т.п.) и отображения текущего значения физической величины на цифровом табло. Удалённость от датчика физических величин до 1000 метров. Измерение производится включением входной двухполюсной цепи прибора в разрыв токовой петли и не требует дополнительного питания для ЖК индикатора. Место включения прибора в разрыв токовой петли не регламентируется. При использовании для индикации светодиодной панели дополнительное питание прибора гальванически развязано с измерительной цепью. Для работы в системах автоматического управления, контроля и регулирования производственных процессов модификации прибора имеют дополнительно стандартный цифровой интерфейс, а также электроконтактное устройство для сигнализации или управления внешними электрическими цепями.

Расположенные на передней панели прибора сенсорные элементы управления позволяют произвести настройку прибора, корректировку погрешности и перекалибровку, а также установку значений уставок срабатывания электроконтактного устройства.

Приборы имеют защиту в соответствии с требованиями электромагнитной совместимости по ГОСТ Р 51317 и соответствуют группе А по ГОСТ Р 51522.

Основные характеристики:

ЦИ5003Б/2 - цифровая индикация текущего значения физической величины (давления, температуры и т.д.) на светодиодном дисплее, гальваническая развязка входной цепи и цепи питания, сигнализация повышения или понижения физической величины установленных граничных значений

Класс точности - предел допускаемой основной погрешности $\pm 0,1\%$

Степень защиты IP40; со стороны передней панели IP54

Масса приборов не более 0,2 кг

Средний срок службы 10 лет

Материал корпуса: ударопрочный полистирол

Климатическое исполнение

УХЛ3.1 - для ЦИ5003А (диапазон рабочих температур -10 до +55 °С) по ГОСТ 15150-69

УЗ - для ЦИ5003Б/1 и ЦИ5003Б/2 (диапазон рабочих температур -30 до +55 °С) по ГОСТ 15150-69

Электротехнические параметры

Электротехнические параметры приборов:

входной сигнал – постоянный ток: 4-20 мА

Напряжение питания 9-36 В

Потребляемая мощность приборов не более: 3,6 ВА

Приложение Н

Нагреватель ХН 2 ПХН-70, 0-33



Рисунок Н.1 – Нагреватель ХН 2 ПХН-70

Хомутовые (ХН) и полухомутовые (ПХН) нагреватели предназначены для комплектации отечественных и импортных промышленных установок или для специального использования. Применяются для нагрева прессформ, литейных форм, экструдеров, трубопроводов, клеевых машин и т.д.

Основные характеристики:

Конструктивно ХН и ПХН представляют собой металлический корпус, внутри которого расположен изолированный от корпуса нагревательный элемент. Корпус нагревательного элемента имеет различную ширину и диаметр. Для корпуса ХН и ПХН применяется нержавеющая сталь (сталь 12Х18Н10Т). Нагревательный элемент изготовлен из материала с высоким удельным электрическим сопротивлением. Для электроизоляции применяются жаростойкие неорганические материалы. Закрепляется элемент на трубопроводах по типу хомутового зажима. Корпус ХН и ПХН выполняется не герметичным. Вероятность безотказной работы в течении заданного времени и средняя наработка на отказ зависят от удельной мощности и рабочей температуры ХН и ПХН. Удельный тепловой поток с поверхности — до 3 Вт/см². ХН и ПХН выпускаются на номинальные напряжения 12; 24; 36; 42; 48; 127; 220; 380 В.

Приложение II

Сравнительный анализ методов расчета ПО

Таблица П.1 – Сравнительный анализ методов расчета ПО

Непрерывные динамические модели		
Модель	Достоинства	Недостатки
Модель Джелински-Моранды	Основным достоинством модели является простота расчетов.	Недостаток этой модели состоит в том, что при неточном определении величины N интенсивность отказов программы может стать отрицательной, что приводит к бессмысленному результату. Кроме того, предполагается, что при исправлении обнаруженных ошибок не вносятся новые ошибки, что тоже не всегда выполняется.
Модель переходных вероятностей Маркова	Достоинство модели состоит в том, что рассматривается достаточно большая система ПО, насчитывающая около 10^5 кодов, что позволяет надеяться на значимость статистических выводов.	К недостаткам модели относится то, что она предсказывает поведение системы во время функционирования в среднем. На практике интенсивность исправления ошибок запаздывает по отношению к их обнаружению, что в известной мере затрудняет процесс.
Дискретные модели		
Модель	Достоинства	Недостатки
Модель Шумана	К преимуществам модели можно отнести то, что по ней можно определить все неизвестные параметры, то есть нет необходимости обращаться к другим моделям, что сокращает время расчета надежности.	К недостаткам относится предположение, что при корректировке не вносятся новые ошибки, а это не всегда имеет место в реальных программах. Кроме того, в процессе тестирования необходимо регистрировать большое количество данных, необходимых для расчета по формулам этой модели.

Продолжение таблицы П.1

Модель Муса	К преимуществам модели можно отнести то, что нет необходимости фиксировать моменты отказов. В случае появления отказов ошибки регистрируются, а исправляются лишь по завершении этапа тестирования.	К недостаткам модели относится то, что для определения первоначального числа ошибок в программном обеспечении необходимо вести расчеты по другой модели, что приводит к дополнительным затратам времени.
Статические модели		
Модель	Достоинства	Недостатки
Модель Миллса	Достоинством модели Миллса является простота применяемого математического аппарата и наглядность.	Необходимость внесения искусственных ошибок (этот процесс плохо формализуем), достаточно вольное допущение величины K , которое основывается исключительно на интуиции и опыте человека, производящего оценку, то есть допускает большое влияние субъективного фактора.
Модель Нельсона	Основным преимуществом этой модели является то, что она была специально создана для определения надежности программного обеспечения, а не исходила из теории надежности аппаратуры, как другие модели (кроме модели Миллса), поэтому может использоваться для расчета надежности программного обеспечения на всех этапах его жизненного цикла.	На ранних стадиях использовать эту модель не очень удобно, так как для объективной оценки надежности требуется большое число прогонов ПО.

Продолжение таблицы П.1

Модель Коркорэна	К преимуществам модели можно отнести то, что она учитывает существование в программном обеспечении нескольких источников ошибок, а также то, что расчет надежности с математической точки зрения проще, чем в других моделях.	К недостаткам можно отнести необходимость определения статистическим методом вероятность того, что для очередного прогона программы будет выбран набор данных из предполагаемой области, что затрудняет расчеты.
Эмпирические модели		
Модель	Достоинства	Недостатки
Модель фирмы IBM, Модель Холстеда	Преимущество эмпирических моделей в том, что они не содержат сложных формул и вычисления по ним просты.	К недостаткам эмпирических моделей относится то, что они очень грубы, весьма приближительны. Кроме того, они не отражают динамики вычислительного процесса при эксплуатации программ.

Приложение Р

Алгоритм расчета надежности методом последовательного перебора

```
1  #include <iostream>
2  #include <math.h>
3  #include <conio.h>
4  #include <cmath>
5  int main()
6  {
7      const int n = 12;
8      const int t = 2000;
9      double P = 0;
10     double shema[] = { 0.0000667, 0.0000667, 0.00001, 0.00001, 0.000005, 0.00001,
11     0.00001, 0.00001, 0.00001, 0.00001, 0.00001, 0.00001 };
12     double p_i[n];
13     double q_i[n];
14     double p_P = 0;
15     for (int i = 0; i < n; i++)
16     {
17         p_i[i] = 0;
18         q_i[i] = 0;
19     }
20     for (int i = 0; i < n; i++)
21     {
22         p_i[i] = exp((-1)*shema[i] * t);
23         q_i[i] = 1 - p_i[i];
24     }
25     p_P = 1 - q_i[0]* q_i[2]* q_i[5] * q_i[7] * q_i[9];
26     P = pow(p_P,2)*p_i[4]*p_i[11];
27     for (int i = 0; i < n; i++)
28     {
29         std::cout << "p_i[" << i << "] = " << p_i[i] << "\t" << "q_i[" << i << "] = " << q_i[i] << "\n";
30     }
31     std::cout << "P(t) = " << P << "\t";
32     _getch();
33     return 0;
34 }
```

Рисунок Р.1 – Алгоритм расчета надежности методом последовательного перебора на С++

Приложение С

Алгоритм расчета для оценки надежности ПО

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;

namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            int S, n, V, N;
            if (textBox1.Text == "")
                MessageBox.Show("Введите количество искусственно внесенных ошибок!");
            else
            {
                S = Int32.Parse(textBox1.Text);
                if (textBox2.Text == "")
                    MessageBox.Show("Введите число собственных найденных ошибок!");
                else
                {
                    n = Int32.Parse(textBox2.Text);
                    if (textBox3.Text == "")
                        MessageBox.Show("Введите число обнаруженных к моменту оценки
искусственных ошибок!!");
                    else
                    {
                        V = Int32.Parse(textBox3.Text);
                        N = (S * n) / V;
                        label5.Visible = true;
                        label5.Text = "Первоначальное число ошибок в программе равно:" + N;
                    }
                }
            }
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            textBox1.Clear();
            textBox2.Clear();
            textBox3.Clear();
            label5.Visible = false;
        }

        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            SaveFileDialog sfd = new SaveFileDialog();
            sfd.InitialDirectory = @"C:\";
            sfd.RestoreDirectory = true;
            sfd.FileName = "";
        }
    }
}
```

```

sfd.DefaultExt = "txt";
sfd.Filter = "txt files (*.doc) | *.doc";

if (sfd.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{
    Stream fileStream = sfd.OpenFile();
    StreamWriter sw = new StreamWriter(fileStream);
    sw.WriteLineAsync(label6.Text);
    sw.WriteLineAsync(label11.Text);
    sw.WriteLineAsync(textBox1.Text);
    sw.WriteLineAsync(label2.Text);
    sw.WriteLineAsync(textBox2.Text);
    sw.WriteLineAsync(label3.Text);
    sw.WriteLineAsync(textBox3.Text);
    sw.WriteLineAsync(label4.Text);
    sw.WriteLineAsync(label5.Text);

    sw.Close();
    fileStream.Close();
}
}

private void textBox1_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    char ch = e.KeyChar;
    if (!char.IsDigit(ch) && ch != 8)
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void textBox2_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    char ch = e.KeyChar;
    if (!char.IsDigit(ch) && ch != 8)
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void textBox3_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    char ch = e.KeyChar;
    if (!char.IsDigit(ch) && ch != 8)
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void модельДжелинскогоМорандыToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
{
    Модель_Джелинского_Моранды программа = new Модель_Джелинского_Моранды();
    программа.ShowDialog();
}

private void модельШуманаToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Модель_Липова программа = new Модель_Липова();
    программа.ShowDialog();
}
}

```



```
private void модельШуманаToolStripMenuItem1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Модель_Шумана программа = new Модель_Шумана();
    программа.ShowDialog();
}

private void оПрограммеToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    О_программе программа = new О_программе();
    программа.ShowDialog();
}

private void справкаToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Справка программа = new Справка();
    программа.ShowDialog();
}
}
```

Приложение Т

Результат расчета ПО

Метод расчета О Программе Справка

Модель Миллса

Количество искусственно внесенных ошибок:
4

Количество собственных найденных ошибок:
4

Количество обнаруженных ошибок:
2

Рассчитать

Результат:
Первоначальное число ошибок в программе равно:8

Очистить Сохранить

Рисунок Т.1 – Главное окно программы

Метод расчета О Программе Справка

Модель Джелинского-Моранды

Количество первоначальных ошибок:
2

Коэффициент пропорциональности:
1

Количество ошибок спустя время:
3

Время обнаружения i-ой ошибки:
2

Рассчитать

Результат:
Функция плотности распределения
времени:0,0497870683678639

Очистить Сохранить

Рисунок Т.2 – Результат расчета (Модель Джелинского-Моранды)

Модель Липова

Количество искусственных ошибок:
3

Собственные ошибки до начала теста:
43

Количество тестов:
3

Собственные ошибки к концу теста:
1

Количество внесенных ошибок:
1

Рассчитать

Результат:
Вероятность обнаружения собственных и внесенных ошибок: 33,6521739130435;
Вероятность обнаружения ошибки в каждом из m тестов: 2

Очистить Сохранить

Рисунок Т.3 – Результат расчета (Модель Липова)

Модель Шумана

Количество строк в программе:
2000

Количество строк содержащих ошибку:
15

Количество дней работы:
1

Ошибок за время работы:
1

Коэффициент пропорциональности:
1

Рассчитать

Результат:
Вероятность безотказной работы программы: 0,993024442933235;
Среднее время работы программы: 142,857142857143;
Интенсивность отказа программы: 0,007

Очистить Сохранить

Рисунок Т.4 – Результат расчета (Модель Шумана)

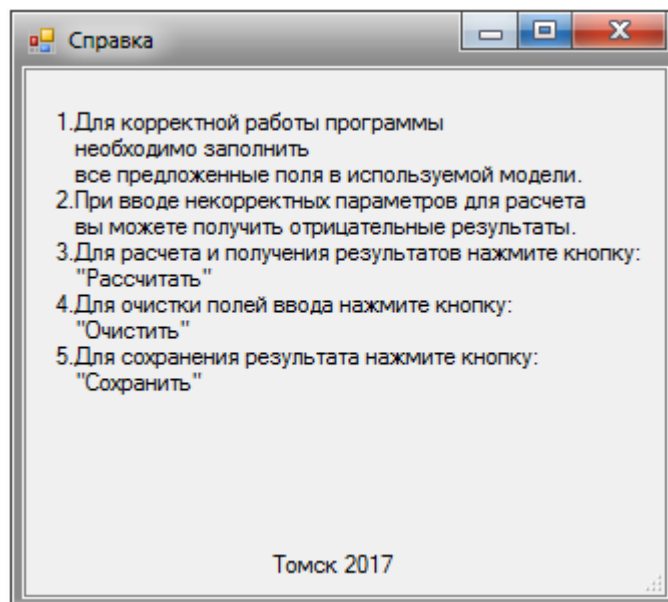


Рисунок Т.5 – Диалоговое окно (Справка)

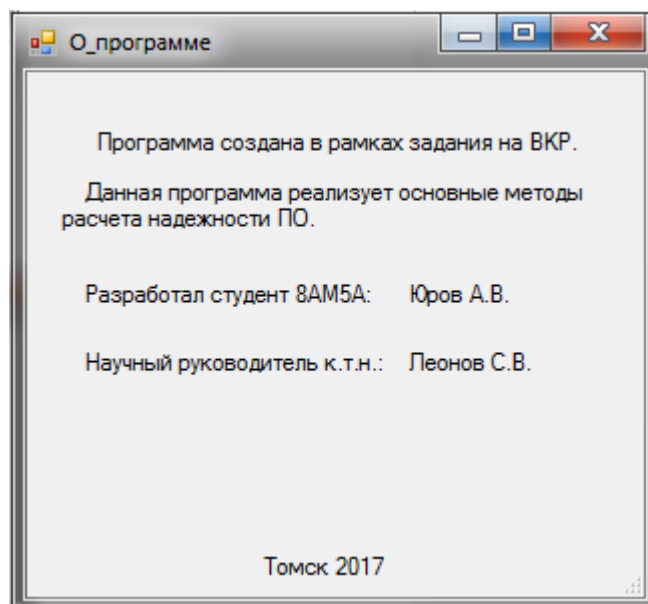


Рисунок Т.6 – Диалоговое окно (О программе)

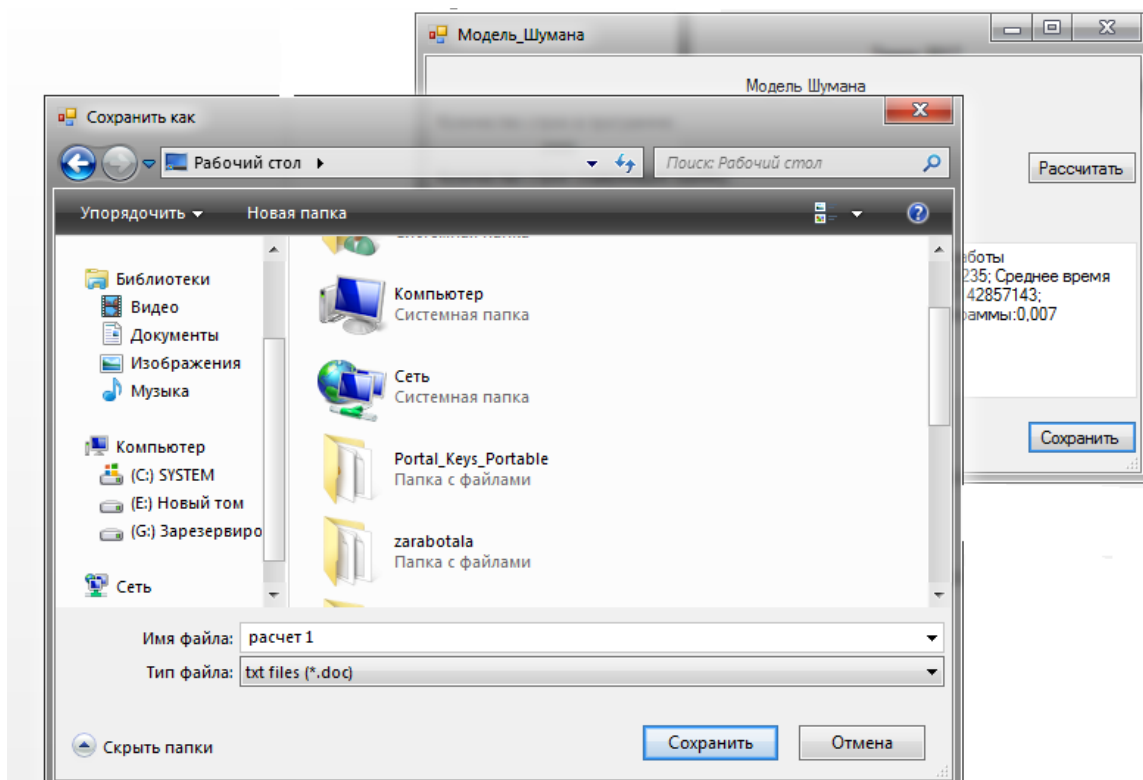


Рисунок Т.7 – Сохранение результатов расчета

Приложение У

Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке

Раздел 4

Оценка программной надежности АСУ ТП. Разработка приложения для расчета надежности ПО

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM5A	Юров А.В.		

Консультант – лингвист кафедры Английского языка (ИЯИК):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Денико Р.В.			

4 Evaluation of the software reliability of the automated process control system. Development of application for software reliability calculation

4.1 The concept of program reliability

A program that does not contain errors is considered correct. Such a program is considered absolutely reliable, as it does not give incorrect results. Based on this fact, the idea was formed that the number of errors in the program can be considered as the most natural measure of reliability [22]. The reliability of the program does not depend on the number of errors in it, because:

1. The number of errors in the program is a value "unobservable", i.e. their result is evident, we can not see the mistakes themselves.

2. The program may not function correctly due to one, or several errors at once.

3. Errors can be interconnected and compensate each other, so after correcting one error the program can start to "work worse".

4. Reliability is a characteristic and shows the frequency of errors, while errors can appear at different frequencies: some errors may remain undetected even after several months and years of operation. There are also examples of programs that have zero reliability, in which one single error leads to incorrect operation of the program for any initial data [22].

It should also be noted that if the number of errors is regarded as a measure of reliability, then in the terminology of probability theory - a given number is a random variable, but the question of which space of elementary events it is assigned to is not mentioned anywhere. It is important to note that when correcting an error or correcting a code, a program with a new reliability indicator is obtained.

Therefore, it can be concluded that the number of errors in the program describes not the program itself, but its manufacturers, as well as the tools used.

4.1.1 Classification of software reliability models

Reliability models are used to quantify software reliability indicators. Reliability models are mathematical models constructed to evaluate the dependency of the program reliability on the known parameters known in the course of program execution. It is necessary to take a more detailed approach to the choice of methods for evaluating software reliability, as well as take into account the applicability of selected techniques for different stages of the program life cycle, establish the sharing order for determining reliability throughout the life of the program.

Before software development, it is necessary to define the concept of the program life cycle as a set of the following stages:

- development - at this stage, design, programming, testing;
- production - at this stage, replication, delivery, commissioning;
- use - at this stage, maintenance, decommissioning of the program is carried out.

Software reliability assessment models in most cases pay particular attention to the stages of the program life cycle associated with the development stage. This fact is due to the need to achieve a given level of reliability as early as possible in order to incur costs at further stages of the program life cycle, which are required only to maintain the achieved level of reliability.

After passing through all stages of the life cycle, new properties appear in the software: in designing, a data processing algorithm is described that, at the programming stage, accepts software properties and becomes a software tool at the testing stage. After that the development stage ends and the stage of production begins, at which the program is replicated and transformed into a software product and subsequently delivered to the consumer. At the stage of using software, the finished product is transformed from an object of labor into a tool of labor. The maintenance phase - provides a set of actions aimed at maintaining the operability of the software by the user [23].

Based on the foregoing, it should be noted that there is a need to determine the reliability of software at all stages of its life cycle.

The current classification of software reliability models is presented in Figure

4.1.

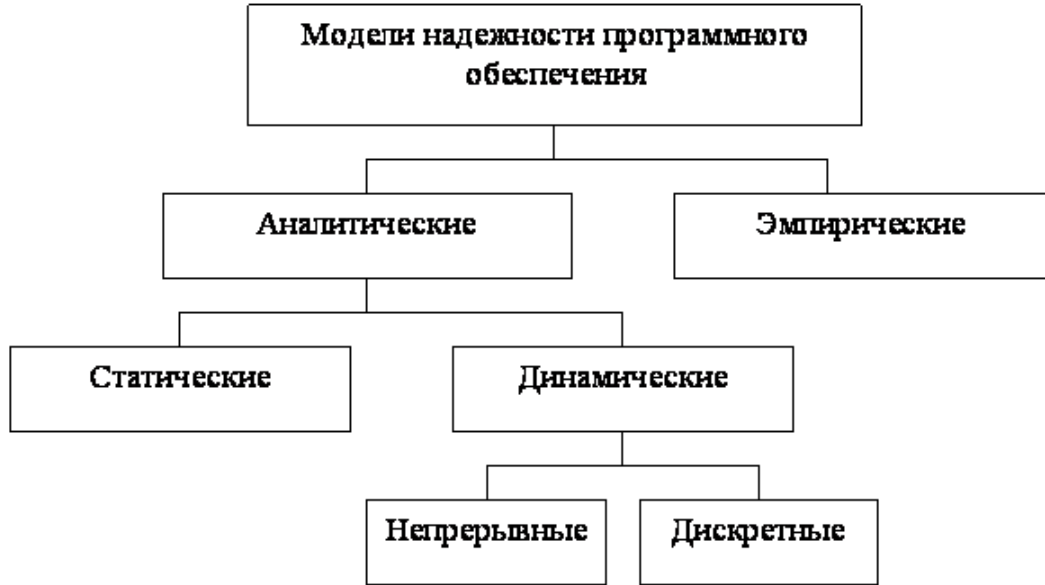


Figure 4.1 - Classification of software reliability models

4.1.2 Continuous dynamic models

The functioning of the software is described by the graph of states shown in Figure 4.2. Where S_i is the state of the system when the i -th failure occurred, λ_i is the intensity of the next $(i + 1)$ failure of the account.

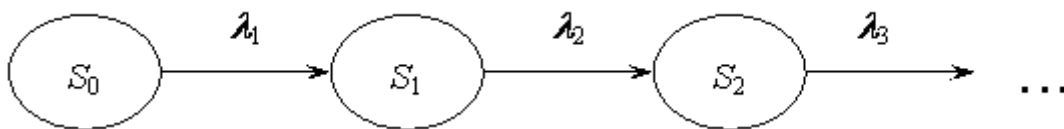


Figure 4.2 - Graph of software operation states

Let us determine the dependence of the intensity of the onset of the next failure on the number of failures that have already occurred, for example:

$$\lambda_i = \lambda_0 r^i, \quad (4.1)$$

Where $r < 1$.

Values of λ_0 and r are estimated statistically from data on failure times.

Consider the processes that occur as a result of failures and recovery software. If λ_i is taken as a random variable with the distribution function $1(t)$, then this function is monotonically decreasing, since the failure rate decreases with time. After correcting the program, the instantaneous failure rate decreases abruptly (points 1 and 2 in Figure

4.3).

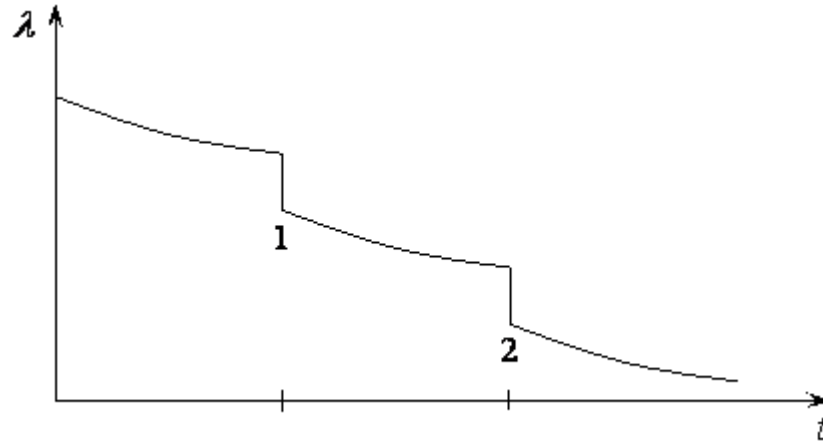


Figure 4.3 - Time dependence of the failure rate

Let's consider existing models, for calculation of indicators of software reliability.

Model Jelinsky-Morandi. This model is based on the assumption that the time until the next failure is distributed exponentially, and the intensity of the program failures is proportional to the number of errors remaining in the program [24].

According to these assumptions, the probability of failure-free operation of the software as a function of time t_i is:

$$P(t_i) = e^{-\lambda t}, \quad (4.2)$$

Failure rate:

$$\lambda_i = C_D(N - (i - 1)). \quad (4.3)$$

where: N – Initial number of errors;

C_D – Coefficient of proportionality.

In (4.1) the time count starts from the moment of the last (i - 1) th failure of the program.

Using the maximum likelihood method based on (4.1), where k is the predicted failure number, we get that the likelihood function has the form:

$$F = \prod_{i=1}^{k-1} C_D(N - i + 1)e^{-C_D(N-i+1)t_i}, \quad (4.4)$$

The log-likelihood function:

$$L = \ln F = \sum_{i=1}^{k-1} [\ln(C_D(N - i + 1))] - C_D(N - i + 1)t_i, \quad (4.5)$$

We have the condition for finding the extremum:

$$\frac{\partial L}{\partial C_D} = \sum_{i=1}^{k-1} \left[\frac{1}{C_D} - (N - i + 1)t_i \right] = 0, \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial N} = \sum_{i=1}^{k-1} \left[\frac{1}{(N - i + 1)} - (C_D)t_i \right] = 0. \quad (4.7)$$

From (4.6) we have:

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N - i + 1}}{\sum_{i=1}^{k-1} t_i}. \quad (4.8)$$

We substitute (4.7) into (4.5). Then we have:

$$(k - 1) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{k-1} t_i}{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N - i + 1}} = \sum_{i=1}^{k-1} (N - i + 1)t_i, \quad (4.9)$$

For known values of k, t_1, t_2, \dots, t_k , the values of the parameters of the CD and N models can be determined from (4.7) and (4.8), and then the failure rate, the time from the last to the next failure t_{k+1} , the probability of failure-free operation after time $t_k + 1$ after the last failure [24].

The Markov model. This model allows to estimate and predict the probable number of errors, which, based on the results of preliminary simulation of the error intensity l , as well as the adopted error correction system working with the intensity m , will be corrected at the specified time. The model allows to obtain predictions for the readiness $A(t)$ and reliability $R(t)$ of the software [25].

The main limitations of the model being developed are:

- any error is considered random and the gradation of the consequences it generates is not taken into account;
- the rate of error occurrence is a constant value of l ;
- the intensity of error correction is a constant value and is equal to m ;
- the transition from one state of the system to another is instantaneous.

Consider a system that begins work at time $t = 0$. This system will work until an error occurs according to a predetermined criterion. The results of the experiment are time intervals for which failures in work may occur. Then, the variable t , the time of a random fault can be defined as:

$$t'(\xi) = \xi; \xi \geq 0, \quad (4.10)$$

where ξ – Location of points on the discrete time axis of the experiment. Assume that a random variable t has the following distribution function:

$$F(t) = P\{\xi: t(\xi) \leq t\}, \quad (4.11)$$

and if it exists, then the density of the distribution function will be:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}. \quad (4.12)$$

The reliability of the system $R(t)$ is determined by the probability of no failure in the interval $[0, t]$:

$$R(t) = P\{t' \geq t\}. \quad (4.13)$$

By the readiness of the system, by the time t , the probability of system operability at time t :

$$A(t) = P. \quad (4.14)$$

Assume that in the initial period of time ($t = 0$), and the system contains an unknown number (n) of errors. As the starting point of the system operation time, we determine the beginning of the testing phase of the program. We assume that the processes of detecting and correcting errors are implemented sequentially and alternately [25].

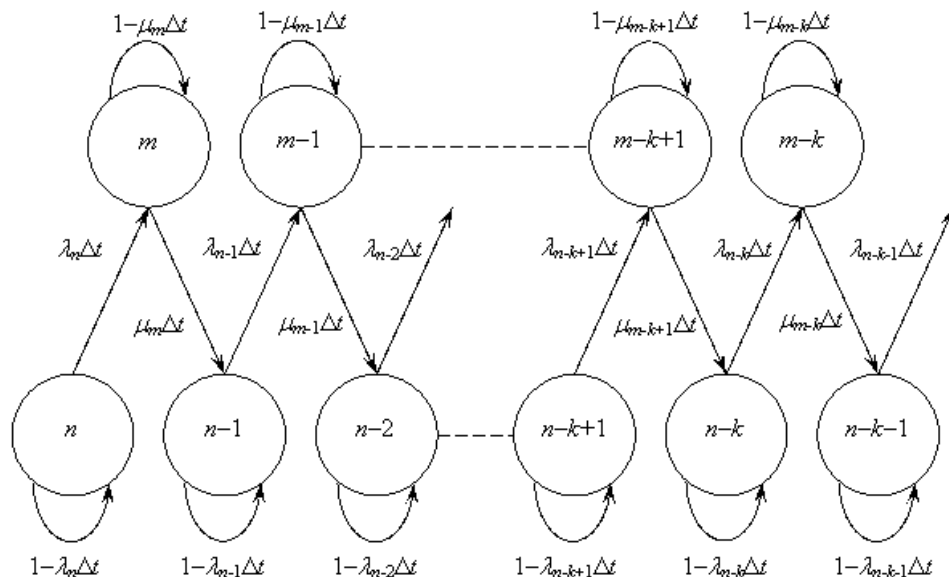


Figure 4.4 - Multi-state model for evaluating software characteristics

A number of states of the system $\{n, n - 1, n - 2, \dots\}$ corresponds to error detection processes. To eliminate errors, it is necessary to determine the states of the system $\{m, m - 1, m - 2, \dots\}$. The system will be in the state $(n - k)$ if the error $(k - 1)$

has already been corrected, and the error k has not yet been detected. At the same time, after the error k is detected, but not yet corrected, the system will be in the state $(m - k)$. The general scheme of the model with the probabilities of the transition between states is shown in Figure 4.4.

Assume that $S'(t)$ is a random variable characterizing the state of the system at time t . The experiment is carried out in such a way that at some point in time we assume that the system is stopped, after which we observe its state. The space of possible states of the S system is represented by:

$$S = \{n, m, n-1, m-1, n-2, m-2, \dots\}.$$

Suppose that at a time $t_1 < t_2 < \dots < t_i < \dots < t$ (any sequence of observations) the sequence of random variables $S, (t_1), S, (t_2), \dots, S, (t)$ for any positive integer l will be Satisfy the following equality:

$$P\{S'(t) = r; S'(t_i) = r - 1, S'(t_{i-1}) = r - 2, \dots, S'(t_i) = r - i\} = P\{S'(t) = r; S'(t_i) = r - 1\}, \quad (4.15)$$

where $r, r-1, r-2, \dots, r-t$ correspond to a sequence of states $(n-k), (m-k+1), (n-k+1), \dots, (n-2), (m-1), (n-1), m, n$.

Thus, any state of the model will be determined by a series of transition probabilities $\{P_{ij}\}$, where P_{ij} is the probability of transition from state i to state j , which is independent of the preceding and subsequent states of the system, except for states i and j . The probability of transition from the state $(n - k)$ refers to the state $(m - k)$ and is equal to $\lambda n-k\Delta t$ for $k = 0, 1, 2, \dots$. Similarly, the transition probability from the state $(m - k)$ refers to the state $(n - k - 1)$ and is equal to $\mu m-k\Delta t$ for $k = 0, 1, 2, \dots$

The transition intensities l_j and m_j depend on the current state of the system. For a software system, l_j stands for the intensity of occurrence (manifestation), and m_j for the intensity of error elimination. The total matrix of transition probabilities of the system takes the following form:

$$\begin{pmatrix} 1 - \lambda_n \Delta t & \lambda_n \Delta t & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 - \mu_m \Delta t & \mu_m \Delta t & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 - \lambda_{n-1} \Delta t & \lambda_{n-1} \Delta t & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 - \mu_{m-1} \Delta t & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 - \lambda_{n-k} \Delta t & \lambda_{n-k} \Delta t & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 - \mu_{m-k} \Delta t & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (4.16)$$

After that, it is necessary to define the expressions for the readiness $A(t)$ and the reliability $R(t)$ of the system in terms of employment and the probability of the state of the system:

$$P_{n-k}(t) = P\{S'(t) = n - k\}; k = 0, 1, 2, \dots; \quad (4.17)$$

$$P_{m-k}(t) = P\{S(t) = m - k\}; k = 0, 1, 2, \dots; \quad (4.18)$$

We obtain an expression for the readiness of the system at time t based on its definition:

$$A(t) = \sum_{k=0}^{\infty} P_{n-k}(t), \quad (4.19)$$

The readiness of the system at time t is determined as the result of the addition of all probabilities of the employment states.

The reliability of the system also depends on the degree of its debugging, i.e. The higher the degree of debugging of the system, the higher the expected reliability. Let us assume that by the time t the system has only entered the state $(n - k)$, that is, the error k is just eliminated. Define this time as t . Then, in the time interval $(0, T_{k+1})$, where $t = T_{k+1}$, an error $(k + 1)$ may appear with the constant error intensity l_k .

Based on the reliability function that determines the probability of failure in the time interval from 0 to t , $R(t) = e^{-\lambda t}$, we have an expression for reliability:

$$R_k(\tau) = e^{-\lambda_k \tau}; 0 \leq \tau \leq T_{k+1}; k = 0, 1, 2, \dots \quad (4.20)$$

It is assumed that this model is used in the initial period of time with the values of l and m , which are obtained on the basis of accumulation of past experience. Further increase in the accuracy of the analysis is possible with the use of previous modeling data, because the subsequent work of the model allows you to accumulate data on errors [25].

4.1.3 Discrete Models

Discrete models mean at the beginning of testing software. If faults are found, the errors that lead to the faults are corrected and corrected. After that the stage of operation of the software begins.

The Schumann model. In this model, there are several stages of testing. At each stage, the program performs a set of test data. The errors found during the testing process are registered, but not corrected. At the stage of completion of the stage, all the errors found are corrected, the test sets are corrected, after which the next stage of testing is carried out [25].

It is believed that the frequency of error detection is proportional to the number of remaining errors, and that no new errors are introduced when correcting the program.

In total there are k stages of testing. The duration of each stage is determined by t_1, \dots, t_k , and the number of errors detected at each stage is determined by m_1, \dots, m_k .

Let $T = t_1 + \dots + t_k$ - is the total testing time; $N = m_1 + \dots + m_k$ - the total number of errors detected and corrected during testing; $N_i = m_1 + \dots + m_i$ - number of errors corrected to the beginning of the $(i + 1)$ -th testing phase ($n_0 = 0$).

The Schumann model assumes software at the i -th stage of testing and has the following reliability function:

$$R_i(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.21)$$

$$\lambda_i = C(N - n_{i-1}).$$

where N – the initial number of errors in the software;

$N - n_{i-1}$ – number of errors remaining at the beginning of the i -th stage;

C – Coefficient of proportionality:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{m_i}{N - n_{i-1}}}{\sum_{i=1}^k t_i}. \quad (4.22)$$

To find the initial number of errors in the software N , we use equation:

$$\sum_{i=1}^k m_i \cdot \frac{\sum_{i=1}^k t_i}{\sum_{i=1}^k \frac{m_i}{N - n_{i-1}}} = \sum_{i=1}^k (N - n_{i-1}) t_i, \quad (4.23)$$

For known values of k ; T_1, t_2, \dots, t_k ; M_0, m_1, \dots, m_k , the values of the parameters of the model C and N can be determined from (4.22) and (4.23). Then we define the following parameters:

1) the number of remaining errors in the software:

$$N_r = N - n; \quad (4.24)$$

2) Function of software reliability upon completion of testing:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.25)$$

$$\lambda = C(N - n_{i-1}).$$

The Musa model. In this model, based on the results of testing at the operational stage, software reliability is assessed.

Let T be the total test time, where n is the number of failures that occurred during the test.

Then using the Musa model, the mean time to failure in the operation phase after testing is determined by the following formula:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{CT}{n\tau_0}\right), \quad (4.26)$$

where t_0 – mean time between failures before testing, C – a factor that takes into account the compaction of the test time in comparison with the actual operation time. For example, if one hour of testing corresponds to 10 hours of work in real conditions, then $C = 10$.

The unknown parameter t_0 is estimated by the following relation:

$$\tau_0 = \frac{1}{fKN}, \quad (4.27)$$

where K – Error rate. The value of K is determined from the same type of programs using the empirical path. Usually this value varies from $1,5 \times 10^{-7}$ before 4×10^{-7} .

N – is the initial number of errors in the software. It can also be estimated using another model that allows you to determine N , based on the statistical data obtained during testing.

f – average speed of execution of the program of one operator, it is equal to the

ratio of the average execution speed of the software (A) to the number of commands (operators) (B) [26].

For the period of operation t , the reliability of the software is determined by the formula:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{x}}. \quad (4.28)$$

4.1.4 Static models

In static models, unlike dynamic models, the time of error occurrence is not taken into account.

The Mills model. Using this model requires the artificial introduction of a number of known errors into the program before testing. Errors are introduced randomly, after which they are fixed in the protocol of artificially introduced errors. The specialist who carries out the testing, as a rule, should not know either the quantity or the nature of the errors introduced. It is assumed that all errors, both natural and artificial, are equally likely to be found in the testing process [26].

The program is tested for some time, after which statistics are collected about the detected errors.

Suppose, that after testing the program, n own program errors and v artificially introduced errors are found. Then the initial number of errors in program N can be estimated by the following formula [26]:

$$N = n \frac{S}{v}, \quad (4.29)$$

where S – number of artificially introduced errors.

The second part of the model involves testing the hypothesis of the number of initial program errors. Suppose there are K errors in the program, artificially made into the program S errors, and then test the program until all the errors are found. Suppose, during the testing, n own program errors were found, after which the probability of the initial error in the program K can be determined from the following relation:

$$p = \begin{cases} 0, & \text{если } n > K, \\ \frac{s}{s+K+1}, & \text{если } n \leq K. \end{cases} \quad (4.30)$$

Equation (4.30) can only be used if all S artificially introduced errors are found. If only v artificially introduced errors are found, then the relation:

$$p = \begin{cases} 0, & \text{если } n > K, \\ \frac{C_S^{v-1}}{C_{S+K+1}^{K+v}}, & \text{если } n \leq K. \end{cases} \quad (4.31)$$

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

where C_n^m – number of combinations of n elements by m.

The Nelson model. This model is developed taking into account the basic properties of computer programs and it practically does not use the methods of probability theory. The limits of applicability of all the approximations adopted in this model are clearly defined and known. The Nelson model, due to the properties of the software, can be used at all stages of the software lifecycle, since it allows a more detailed description of all aspects of reliability [26].

In the Nelson model, it is assumed that the domain to which the input data of the program belongs, the given region is divided into k disjoint regions Z_i , $i = 1, 2, \dots, k$. May p_i be the probability that a data set from the region Z_i will be selected for the next execution of the program. The values of p_i are determined from the statistical parameters of the input data in the real operating conditions of the software. At the time of reliability evaluation, n_i software runs were performed on data sets from the Z_i area, and n_i^- from the run data failed [26].

Correspondingly, the reliability of the software will be evaluated according to the following formula:

$$R = 1 - \sum_{i=1}^k \frac{n_i^-}{n_i} p_i. \quad (4.32)$$

The Corcoran model. This model assumes that there are a number of software failure sources in the software that are associated with different types of errors and have a different probability of occurrence. The argument of the model is the number of runs of the program n. At the same time, software reliability assessment has the form [26]:

$$R(n) = \frac{n^+}{n} + \sum_{i=1}^k \delta_i \frac{n_i^- - 1}{n}, \quad (4.33)$$

where n_i^- – is number of detected errors of the i -th type, eliminated with probability p_i ;

n^+ – number of successful software runs;

δ_i – coefficient defined as follows:

$$\delta_i = \begin{cases} p_i, & \text{если } n_i^- > 0, \\ 0, & \text{если } n_i^- \leq 0. \end{cases} \quad (4.34)$$

After testing, at the stage of software operation, with the number of runs n increasing and satisfying the conditions $n^- \ll n$ and $n^+ + n^- = n$, the reliability definition formula has the following form:

$$R(n) = 1 - \frac{n^-}{n}. \quad (4.35)$$

4.1.5 Empirical Models

These models are based on the analysis of information accumulated over a long period of time and containing data on the functioning of previously developed programs.

The simplest empirical model shows the relationship between the number of errors in the software and its volume. Data obtained during the operation of the program indicate that for every 1000 operators, at the beginning of system testing in the software there are approximately 10 errors. The level of reliability of the software is acceptable for operation if only one error corresponds to the same volume of operators [26].

The IBM model. IBM uses an empirical model, this model estimates the number of errors in various editions of the program [27]:

$$N = 23M_{10} + 2M_1, \quad (4.36)$$

where M_{10} – number of modules requiring 10 or more corrections;

M_1 – number of modules in which less than 10 errors are detected.

An empirical formula is also used to estimate the average operating time of a software failure:

$$\tau = \alpha \frac{V_{0\Pi}}{N}, \quad (4.37)$$

where $V_{0\Pi}$ – the volume of the program in the operators;

t – average operating time of the software for failure in hours;

a – coefficient in the range from 100 to 1000;

N – the number of errors in the software, estimated by one of the above models;

The Halstead model. It estimates the number of remaining errors after the development of the program [26]:

$$N_{0\Pi\Pi} = K_{HO} B_{0\Pi} \log_2(\eta_1 + \eta_2), \quad (4.38)$$

where $N_{0\Pi\Pi}$ – Number of errors in the program;

K_{HO} – coefficient of proportionality;

$V_{0\Pi}$ – number of operators in the program;

h_1 – number of operators in the software;

h_2 – number of operands in the software.

4.1.6 Evaluation of models used to calculate software reliability

Carrying out the analysis of models to determine the reliability of software, we can conclude that most of them determine the reliability of software only at the initial stages of the life cycle of the program. The use of these models to assess the reliability of software at the end of the life cycle of the program has limitations for the following reasons:

- inaccessibility at the stage of production and use of software information about the process of debugging, as well as the detection and elimination of errors;
- low failure rate during acceptance testing.

Accordingly, it makes sense to recommend using at least two software reliability assessment models to determine the reliability of the software at all stages of its life cycle. The software reliability assessment model should be selected for each development stage and for each specific program. For this, it is necessary to have data on available errors, based on the available data, it is expedient to select a reliability

model, after which it is also necessary to perform tests that show the suitability of the chosen model. To determine the reliability of software at the final stages, it is advisable to apply reliability models with a system-independent argument, since these models provide the most accurate estimate of software reliability. A comparative analysis of methods for calculating reliability is presented in Appendix P.

Based on the above information, we can conclude that the greatest impact on the reliability of the software has internal errors, as well as errors that are in the early stages of the operation of the programs. Accordingly, it is reasonable to use the following models for software reliability evaluation: Model Mills, Schumann Model, Lipov Model, Jelinsky-Morandi Model. These models will allow to accurately estimate the reliability of the software of the process control system under design.

In conclusion, we can summarize:

1. Reliability of software is not only an internal property of the program.
2. Software reliability is a function of both the software itself and the actions of its users.
3. The main causes of software errors are: the greater complexity of the program, as well as the incorrect translation of information from one presentation to another.

4.2 Software Reliability Assessment Program Development

Purpose: Design and development of the program in C # language for calculation of the basic indicators of software reliability by various methods.

On the basis of the goal, the following tasks were formulated:

1. Identification the necessary requirements for the program;
2. Development of a layout of the program;
3. Performing a software implementation;
4. Testing of the developed program;
5. On the basis of the results obtained, making a conclusion about applicability of the developed program.

4.2.1 Development of the program

Program name: Calculation of software reliability.

Purpose of the program: Calculation of the main indicators of software reliability based on the input data entered by the user.

The input data for the calculation are entered in special fields. After processing the data, the program outputs the result to the appropriate output field. For the correct operation of the program, it is necessary that all fields offered to the user are filled.

The program is implemented on the Microsoft Visual Studio 2015 platform using the C # programming language.

System requirements for a PC with installed software:

1. RAM: 128MB or higher.
2. Operating system Windows 7 or higher.
3. Availability of Net Framework 4.6 or higher.
4. Free space on the hard disk: 40KB or more.

4.2.2 The algorithm of the program

After starting the program, a form appears in which the user is asked to fill in the appropriate fields necessary for calculating the initial data.

At the beginning of the calculation, the program checks the source data for completeness and correctness. If the user data are not verified, an error message is displayed indicating the field in which the data are to be logged. Also, by default, the input fields of the source data are prohibited from using any symbols other than numeric ones. After the successfully passed check on correctness and completeness, the program starts to make calculations. The program reads the data located in special fields and then calculates them according to the chosen method.

At the end of the calculation, the results are displayed in a specially allocated field, and the program is terminated. After the program is finished, the user can save the result of the calculation in a separate file.

4.2.3 Developing the application layout

In general, the layout of the application is shown in Figure 4.5.

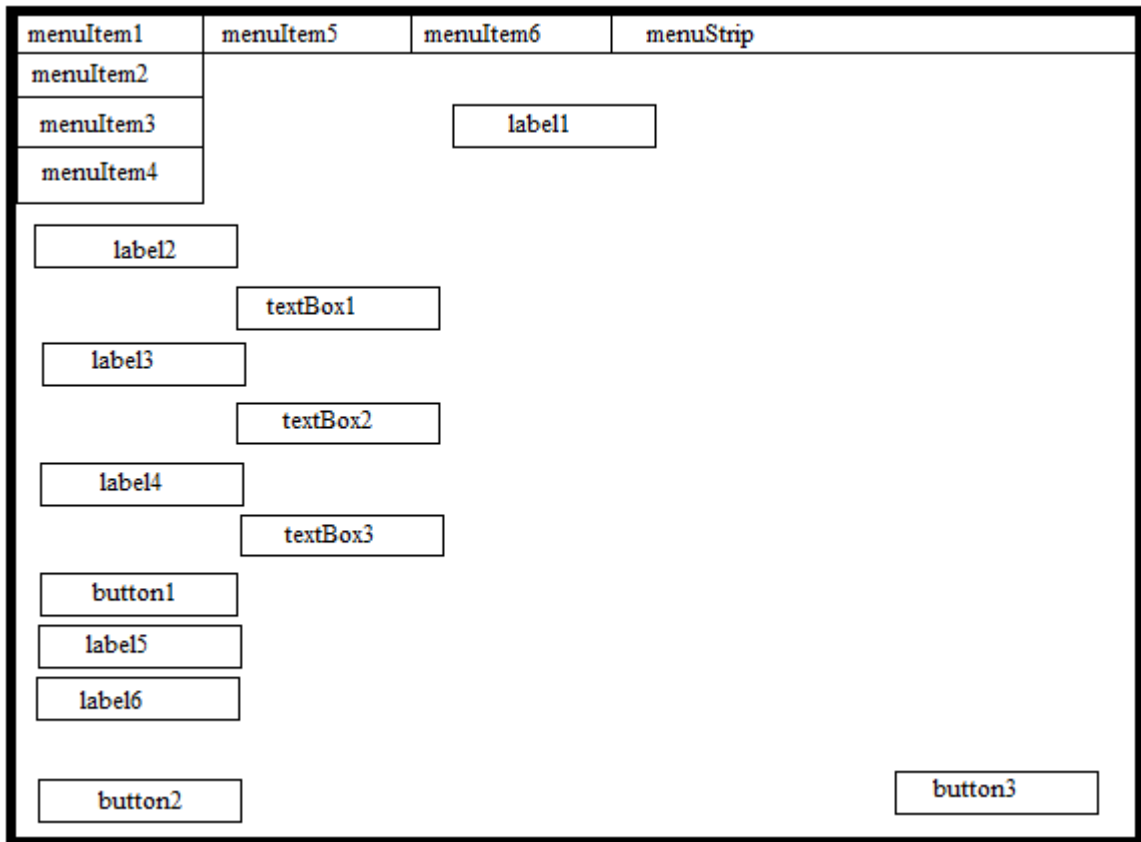


Figure 4.5 - The layout of the application being developed

label1 – accepts the text value of the method used to calculate;

label2, label3, label4 – take the text value of the name of the parameters of the source data;

label5 – Takes the text value "Result";

label6 – default is hidden, serves for the calculation result output;

textBox1, textBox2, textBox3 – receive the value of the entered user data in the corresponding column;

button1 – takes the text value "Calculate", and also calculates the selected method;

button2 – accepts the text value "Clear", and also clears all the filled fields of the program;

button3 – accepts the text value "Save", and also serves to display the save results menu;

menuItem1 – accepts the text value "Calculation method", and also displays a context menu with methods available for calculation;

menuItem2, menuItem3, menuItem4 – serve to output the corresponding form with the calculation method used;

menuItem5 – takes the text value "About the program", and also serves to output the corresponding form containing the basic information about the program;

menuItem6 – accepts the text value "Help", and also serves to output the appropriate form containing reference data about the program.

4.2.4 User's Guide

1. For correct work of the program it is necessary to fill in all the proposed fields in the used model.

2. If you enter incorrect parameters for calculation, the user can get negative results.

3. To calculate and obtain the results, use the button: "Calculate".

4. To clear input fields, use the button: "Clear".

5. To save the result, use the button: "Save".