

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

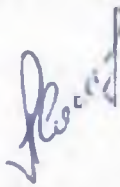
На правах рукописи

Вишневский Дмитрий Александрович

**РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ И ПРАКТИКА
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

Специальность 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (по отраслям);

Диссертация
на соискание учёной степени
доктора технических наук

 **Научный консультант**
Сотников Алексей Леонидович,
доктор технических наук, доцент.

Идентичность всех экземпляров диссертации ПОДТВЕРЖДАЮ:

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 01.019.03

д-р техн. наук, профессор



 А.В. Яковченко

Алчевск – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	7
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ	18
1.1 Основные направления в исследовании надежности и обеспечении безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов	18
1.2 Стратегия метода технического обслуживания и ремонта	22
1.2.1 Анализ отказов методом статистической теории надежности	23
1.3 Стратегия метода уровня эксплуатации.....	30
1.3.1 Необходимость учета человеческого фактора при расчетах показателей безотказности металлургических машин и механизмов	31
Выводы	47
РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ	48
2.1 Математическое моделирование.....	48
2.2 Особенности метода имитационного моделирования.....	52
2.3 Программные средства, используемые в имитационном моделировании	55
2.4 Программа наблюдений	56
2.5 Основные методы определения травматизма.....	59
2.6 Анализ результатов программными средствами.....	63
2.7 Алгоритмы идентификации законов распределения наработки на отказ	66
Выводы	71
РАЗДЕЛ 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ	72

3.1 Описание автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования	72
3.2 Разработка компьютерной программы расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли	78
3.3 Описание работы отдельных блоков программы.....	81
Выводы	93
РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИИ	95
4.1 Экспериментальные исследования распределения количества несчастных случаев в кузнечно-прессовом производстве	95
4.2 Исследование распределения основных причин травматизма в КПП..	101
4.3 Исследование распределения НС в КПП по месту происшествия.....	110
Выводы	118
РАЗДЕЛ 5. ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ	119
5.1 Модель 1. Влияние человеческого фактора на безотказность оборудования металлургических предприятий	121
5.2 Модель 2. Взаимосвязь работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора.....	125
5.3 Модель 3. Взаимосвязь работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора с учетом управляемых и неуправляемых факторов	130
5.4 Модель 4. Взаимосвязь работоспособности, утомляемости, ошибаемости оператора и вероятности отказа МО	134
5.5 Оценка влияния человеческого фактора на отказ оборудования металлургических предприятий	136
5.5.1 Оценка влияния человеческого фактора в аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора	136

5.5.2 Оценка влияния человеческого фактора в аварийной ситуации при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата пельковш	143
5.6 Реализация модели взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора МО	149
5.6.1 Реализация рекуррентной модели взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора в Excel	149
5.6.2 Имитационное моделирование взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора инструментами системной динамики AnyLogic	152
5.7 Реализация модели взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора с учетом управляемых и неуправляемых факторов	160
5.7.1 Создание модели 3 в среде AnyLogic	160
5.7.2 Анализ чувствительности параметров модели 3	163
5.7.3 Сравнение «прогонов» модели 3	165
Выводы	168
РАЗДЕЛ 6. ВНЕДРЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИНДИВИДУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТНИКА	171
6.1 Определение местоположения	174
6.2 Показатели физиологического состояния сотрудника	175
6.3 Разработанный метод контроля индивидуальных показаний психофизиологических реакций организма во время рабочего процесса и определения местоположения работника на территории производства в реальном времени.....	177
6.3.1 Контроль за вегетативной нервной системой обслуживающего персонала в реальном времени как метод повышения надежности металлургического оборудования	177

6.4 Разработанное носимое индивидуальное устройство для снятия психофизиологических показателей и местонахождения работника в реальном времени.....	180
6.4.1 Описание разработанного устройства.....	184
6.5 Компьютерная программа «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами»	187
6.5.1 Описание основных окон программы.....	189
Выводы	199
РАЗДЕЛ 7. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	202
7.1 Оценка функционального состояния систем организма рабочего	202
7.2 Измерение ЧСС.....	204
7.3 Измерение температуры тела.....	207
7.4 Регистрация показателей кожно-гальванической реакции	208
7.5 Рекомендации по оценке готовности человека к выполнению работы с учетом показателей носимого устройства.....	210
Выводы	214
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	215
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	220
ПРИЛОЖЕНИЯ	249
Приложение А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617723 «Компьютерная программа для расчетов надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли»	249
Приложение Б.1 Анализ показателей производственного травматизма на ПАО ХК «Лугансктепловоз» за 1980 год.....	250
Приложение Б.2 Анализ показателей производственного травматизма на ПАО ХК «Лугансктепловоз» за 1985 год.....	254

Приложение Б.3 Анализ показателей производственного травматизма на ПАО ХК «Лугансктепловоз» за 1990 год	257
Приложение В. Инфографика показателей производственного травматизма на ПАО ХК «Лугансктепловоз».....	260
Приложение Г1. Расчеты по модели 1 в табличном процессоре Excel	262
Приложение Г2. Расчеты по модели 2 в табличном процессоре Excel	276
Приложение Г3. Последовательные итерации решения рекуррентных уравнений системы (5.13).....	290
Приложение Д. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами»	294
Приложение Е. Описание оборудования для снятия индивидуальных показаний	295
Приложение Ж1. Акт внедрения на ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №12 ...	317
Приложение Ж2. Акт о проведении производственных испытаний ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №12	319
Приложение Ж3. Расчет фактического экономического эффекта ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №12	322
Приложение Ж4. Акт внедрения на ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №2	327
Приложение Ж5. Акт внедрения на ООО «Лугамаш»	329
Приложение Ж6. Акт внедрения на ЧАО «Лугцентрокуз» им. С.С. Монятовского	331
Приложение Ж7. Акт внедрения на ЧАО «НПЦ «Трансмаш».....	333
Приложение И1. Справка о внедрении в учебный процесс.....	335
Приложение И1. Справка о внедрении в научно-исследовательские работы ..	336

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Развитие металлургической отрасли на современном этапе характеризуется внедрением технологий «Индустрия 4.0» (Industry 4.0) [1]. Это четыре базовых технологии, в результате внедрения которых ожидаются революционные изменения, а именно: интернет вещей (Internet of Things, IoT), цифровые экосистемы, аналитика больших данных (Data Driven Decision), сложные информационные системы, открытые для использования клиентами и партнерами (цифровые платформы).

Общеизвестно, что непрерывные технологические процессы металлургического производства обеспечиваются безотказностью технологического оборудования. Важнейшим свойством технологического процесса является надежность, которую по ГОСТ 27.002–2015 [2] называют свойством объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, ремонтов, хранения.

Наряду с такими причинами возникновения отказов оборудования, как конструктивные, технологические и эксплуатационные дефекты, преобладающее значение приобретают отказы в результате влияния человеческого фактора в силу нарушения трудовой дисциплины и культуры производства, а также психоэмоциональной нагрузки современного общества.

Любой из этих видов отказов приводит к снижению ресурса работы, увеличению материальных затрат на изготовление, эксплуатацию и техническое обслуживание и ремонт (ТОИР) технологического оборудования.

Функционирование сложных систем, к которым относятся технологические линии и агрегаты, систем контроля, автоматизации и управления и т. д., без самого важного элемента, как человек, невозможно. Так, по разным источникам [3, 4, 5, 6] от 30–45% отказов технических систем напрямую или косвен-

но связаны с ЧФ или с ошибками, которые совершает человек в процессе управления, обслуживания и эксплуатации.

Таким образом, актуальной научно-технической проблемой является снижение вероятности появления отказов технологического оборудования металлургического производства и, тем самым, снижения показателей безотказности оборудования в результате минимизации человеческого фактора, который представляет совокупность эмоциональных, интеллектуальных, мотивационных, физиологических, волевых и других качеств личности, обеспечивающих адекватное восприятие ситуации, выполнение предписанных функций в заданных режимах работы человека с другими людьми и техникой в процессе выполнения трудовых обязанностей.

Степень разработанности темы. Развитие научных основ обеспечения надежности оборудования в металлургической отрасли было заложено в 60-е годы прошлого века, и до текущего времени она все более совершенствуется, при этом к ее структуре добавляются элементы автоматизации. Однако это не снижает влияние ЧФ на надежность оборудования в целом. В связи с ростом автоматизации процессов в металлургической отрасли ответственность обслуживающего персонала возрастает во много раз, и влияние ЧФ увеличивается пропорционально росту ответственности за технологические процессы на производстве. Это влечет за собой снижение надежности оборудования и повышение производственного риска обслуживающего персонала.

Вопросам безотказности механического оборудования посвящено большое количество научных и практических работ отечественных и зарубежных ученых [7–28], среди них можно выделить: Я. Б. Шора [7], А. М. Половко [8], Т. А. Голинкевича [9], Б. В. Гнеденко [10]. Вопросы теоретических основ повышения надежности металлургических машин на стадии проектирования и эксплуатации рассмотрены в работах Гребеника В. М., Гордиенко А. В., Цапко В. К. [11], Седуша В. Я. [12], Белодеденко С. В. [13], которые предлагают методы формирования и принципы сбора, цифрового кодирования и анализа отказов, что является хорошей базой для развития теории комплексного анали-

за, оценки и прогнозирования надежности оборудования металлургических предприятий.

Вопросами влияния ЧФ на надежность оборудования занимались Ю. А. Извеков, Л. А. Грачева, А. А. Пископель, Е. И. Цибулевский и др. [14–17]. Работы, связанные с комплексным исследованием влияния психофизиологических параметров человека на безотказность машин, практически отсутствуют.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы являются развитие научных основ обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, совершенствование автоматизированной системы прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора, предупреждение нештатных и аварийных ситуаций на предприятиях.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы следующие основные задачи:

1. Усовершенствовать автоматизированную систему прогнозирования отказов машин и механизмов.

2. Разработать гибридную математическую модель прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора на основе представления сложной технической системы, управляемой человеком-оператором, в виде системы связанных элементов, часть из которых соответствует основным техническим узлам оборудования, а часть – характеризует оператора.

3. Выполнить экспериментальные исследования показателей травматизма на металлургических предприятиях.

4. Разработать математическую модель взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора металлургических машин и механизмов.

5. Разработать программный продукт для оценки условий безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, а также производственного риска, учитывающий особенности эксплуатации технологически нового

оборудования совместно с устаревшим, в том числе при внедрении новых технологий и проектировании металлургических цехов.

6. Выполнить предупреждение нештатных и аварийных ситуаций на металлургических предприятиях на базе разработанной системы мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов.

7. Разработать систему мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов на основе индивидуального устройства для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника в режиме реального времени, а также программного комплекса для ведения, обработки и анализа информации по всем работникам.

8. Усовершенствовать классификацию психофизиологических состояний человека в режиме реального времени на базе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства.

9. Выполнить внедрение системы мониторинга психофизиологического состояния оператора, автоматизированной системы прогнозирования отказов, компьютерной программы расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в условиях металлургических и промышленных предприятий.

Объект исследования. Машины и механизмы металлургического производства.

Предмет исследования. Показатели безотказности и ремонтпригодность металлургических машин и механизмов.

Научная новизна полученных результатов.

1. Получил дальнейшее развитие метод прогнозирования отказов машин и механизмов путём учёта показателей срока службы деталей и их принадлежности законам распределения наработок на отказ в случае малого количества численных значений выборки, а также учёта особенностей эксплуатации технологически нового оборудования совместно с устаревшим, в том числе при внедрении новых технологий и проектировании металлургических

цехов.

2. Получило дальнейшее развитие представление о распределении основных причин травматизма на металлургическом производстве: причины организационного характера составляют 45%, комплексные – 30%, психофизиологические – 20%, остальные – 5%.

3. Впервые разработана гибридная математическая модель прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора на основе представления сложной технической системы, управляемой человеком-оператором, в виде системы связанных элементов, часть из которых соответствует основным техническим узлам оборудования, а часть – характеризует оператора. Чувствительность модели к изменению технического и человеческого факторов составила 3,5...4,5%.

4. Впервые разработана математическая модель взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора, имеющая представление в непрерывной форме в виде систем дифференциальных уравнений или в дискретной форме в виде рекуррентных соотношений. Комплексный учёт данных показателей позволяет повысить точность прогнозирования возникновения нештатных ситуаций и выбрать рациональный режим работы оператора.

5. Получила дальнейшее развитие классификация психофизиологических состояний человека в режиме реального времени (на базе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства), которая включает следующие пункты: «отсутствие усталости» – допуск к работе; «незначительная усталость» – допуск к работе с ограничением; «существенная усталость» – временное отстранение от работы; «критическое поведение во время работы» – полное отстранение от работы; «недопустимое психофизиологическое состояние» – недопуск к работе.

Теоретическая значимость работы:

1. Получил развитие метод прогнозирования отказов машин и механизмов путём учёта особенностей эксплуатации технологически нового оборудования совместно с устаревшим, в том числе при внедрении новых технологий и

проектировании металлургических цехов.

2. Разработана гибридная математическая модель прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора на основе представления сложной технической системы, управляемой человеком-оператором, в виде системы связанных элементов, часть из которых соответствует основным техническим узлам оборудования, а часть – характеризует оператора. Чувствительность модели к изменению технического и человеческого фактора составила 3,5...4,5%.

3. Разработана математическая модель взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора. Данная модель относится к классу имитационных моделей. Комплексный учёт данных показателей позволяет повысить точность прогнозирования возникновения нештатных ситуаций и выбрать рациональный режим работы оператора.

4. Получила развитие классификация психофизиологических состояний человека в режиме реального времени (на базе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства). Оценки состояния готовности человека к выполнению работ: «отсутствие усталости» – допуск к работе; «незначительная усталость» – допуск к работе с ограничением; «существенная усталость» – временное отстранение от работы; «критическое поведение во время работы» – полное отстранение от работы; «недопустимое психофизиологическое состояние» – недопуск к работе.

Практическая значимость работы:

1. Усовершенствована автоматизированная система прогнозирования отказов машин и механизмов. Система позволяет накапливать и хранить данные наработок на отказ всех элементов машин и механизмов, предупреждает на базе статистической теории надежности и экстраполяции закономерностей развития о скором выходе из строя их элементов.

2. Разработан программный продукт для оценки условий безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, а также производственного риска. В автоматизированном режиме выполняется оценка состоя-

ния машин и механизмов, устанавливается их остаточный ресурс работы, что позволяет усовершенствовать систему технического обслуживания и ремонта путем численного моделирования наработок технических объектов на отказ, причём с учетом влияния вредных и опасных производственных факторов, и безошибочного выполнения работником функциональных действий.

3. Разработана «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов» на основе индивидуального устройства для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника в режиме реального времени, а также программного комплекса для ведения, обработки и анализа информации по всем работникам. Система позволяет предупредить нештатные и аварийные ситуации путем временного или полного отстранения работника от выполнения должностных обязанностей.

4. Разработано индивидуальное устройство для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника, которое работает в комплексе с системой мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов. Устройство позволяет снимать психофизиологические показатели человека в режиме реального времени, что дает возможность оперативно реагировать в нештатной ситуации, при аварии на производстве и при резких изменениях жизненных показателей работника.

5. Результаты диссертационной работы внедрены на таких предприятиях, как Филиал № 12 ЗАО «Внешторгсервис» (г. Алчевск), Филиал № 2 ЗАО «Внешторгсервис» (г. Енакиево), ООО «ЛугаМаш» (г. Луганск), ЧАО «Лугцентрокуз» им. С. С. Монятовского (г. Луганск), в Научно-производственном центре «ТРАНСМАШ» (г. Луганск), ГОУ ВО ЛНР «Донбасский государственный технический институт», что позволило усовершенствовать автоматизированные системы прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора, а также выполнить предупреждение нештатных и аварийных ситуаций на предприятиях.

Методология и методы исследования.

Научной и методической основой исследований послужили современные достижения в области Internet of Things, IoT и носимой электроники. Также применялись теоретический и экспериментальный методы с использованием имитационного моделирования и аналогий, которые базируются на статистическом методе планирования эксперимента, системном подходе и математическом моделировании процессов с использованием программных средств; метод пассивного наблюдения за техническим состоянием оборудования и накопления количественных данных об их отказах; метод статистического определения количественных характеристик надежности технических систем и вероятностного определения характеристик и аналитических зависимостей.

Положения, выносимые на защиту. Следующие основные научные разработки и положения выносятся на защиту:

1. Усовершенствованный метод прогнозирования отказов машин и механизмов путём учёта показателей срока службы деталей и их принадлежности законам распределения наработок на отказ в случае малого количества численных значений выборки, а также учёта особенностей эксплуатации технологически нового оборудования совместно с устаревшим, в том числе при внедрении новых технологий и проектировании металлургических цехов.

2. Индивидуальное устройство для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника, которое работает в комплексе с системой мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов. Устройство позволяет снимать психофизиологические показатели человека в режиме реального времени, что дает возможность оперативно реагировать в нештатной ситуации, при аварии на производстве и при резких изменениях жизненных показателей работника.

3. Гибридная математическая модель прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора, разработанная на основе представления сложной технической системы, управляемой человеком-оператором, в виде системы связанных элементов, часть из которых соот-

ветствует основным техническим узлам оборудования, а часть – характеризует оператора.

4. Математическая модель взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора, имеющая представление в непрерывной форме в виде систем дифференциальных уравнений или в дискретной форме в виде рекуррентных соотношений, используя шаг дискретизации по времени $\Delta t = 1$ мин. Комплексный учёт данных показателей позволяет повысить точность прогнозирования возникновения нештатных ситуаций и выбрать рациональный режим работы оператора.

5. Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов, разработанная на основе индивидуального устройства для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника в режиме реального времени, а также программного комплекса для ведения, обработки и анализа информации по всем работникам. Система позволяет предупредить нештатные и аварийные ситуации путем временного или полного отстранения работника от выполнения должностных обязанностей.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность и новизна научных и технических решений, обоснованность выводов и рекомендаций подтверждаются корректным использованием апробированных методов исследования и научных теорий, адекватностью разработанных математических моделей, результатами экспериментальных исследований в промышленных условиях, сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований, эффективностью результатов промышленных испытаний на промышленных предприятиях.

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры «Машины металлургического комплекса» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет» (2014...2020 гг.) и конференциях:

– Научная конференция профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников, Луганский университет им. В. Даля, ЛНР, г. Луганск, 8–10 апреля 2015 г.;

– V всероссийская научно-практическая конференция «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы», Россия, г. Рубцовск, 26–27 ноября 2015 г.;

– Международная научно-техническая конференция «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства», посвященная 50-летию кафедры «Машины металлургического комплекса», Донбасский государственный технический университет, ЛНР, г. Алчевск, 13–14 октября 2016 г.;

– Четвертая международная молодежная научно-практическая конференция, Россия, Курск, 15 ноября 2017 г.;

– Юбилейная международная научно-техническая конференция «60 лет ДонГТУ. Наука и практика», Донбасский государственный технический университет, ЛНР, г. Алчевск, 11 октября 2017 г.;

– IV международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов», Донецкий национальный технический университет, ДНР, г. Донецк, 22–25 мая 2018 г.;

– Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Прогрессивные технологии и процессы», Юго-Западный государственный университет, Россия, г. Курск, 27–28 сентября 2018 г.;

– III международная научно-техническая конференция «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства», Донбасский государственный технический университет, ЛНР, г. Алчевск, 17 октября 2018 г.;

– Международная научно-практическая конференция «Механика и машиностроение. Наука и практика», Россия, Санкт-Петербург, 14 декабря 2018 г.;

- V международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов», Донецкий национальный технический университет, ДНР, г. Донецк, 21–23 мая 2019 г.;
- IV международная научно-техническая конференция «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства», Донбасский государственный технический университет, ЛНР, г. Алчевск, 17 октября 2019 г.
- IX международная научно-практическая конференция «Перспективное развитие науки, техники и технологий», Юго-Западный государственный университет, г. Курск, 1 ноября 2019 г.;
- Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике», Юго-Западный государственный университет, Россия, г. Курск, 30 апреля 2020 г.;
- V международная научно-техническая конференция «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства», Донбасский государственный технический институт, ЛНР, г. Алчевск, 17 октября 2020 г.;
- III всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Современная металлургия нового тысячелетия», Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк, 21–23 октября 2020 г.;
- VII международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов», Донецкий национальный технический университет, ДНР, г. Донецк, 24–26 мая 2021 г.

РАЗДЕЛ 1.

СОСТОЯНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

1.1 Основные направления в исследовании надежности и обеспечении безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов

Одним из важнейших элементов в металлургическом производстве является надежность механического оборудования.

Надежность механического оборудования основывается на положениях классической теории надежности, исследованием которой занимались Я. Б. Шор [7], А. М. Половко [8], Т. А. Голинкевич [9], описавшие основные понятия и математический аппарат. Терминология в области надежности и требования к ней установлены стандартами ГОСТ 27.002–2015 [2], ГОСТ 27003–90 [23]. Основные положения вероятностно-статистической теории надежности приведены в монографии Б. В. Гнеденко и др. [10].

Вопросы теоретических основ повышения надежности металлургических машин на стадии проектирования и эксплуатации рассмотрены в работах [18–26].

В работах [11, 13, 27, 28, 39] предлагают методы формирования и принципы сбора, цифрового кодирования и анализа отказов. Были разработаны классификаторы машин, узлов, деталей, видов и причин отказов.

Возникновение отказов оборудования происходит по следующим причинам: конструктивные дефекты; технологические дефекты; эксплуатационные дефекты; постепенное старение (износ); влияние ЧФ (в том числе нарушение правил безопасности).

Все эти виды отказов снижают ресурс работы оборудования, что влечет за собой финансовые затраты на обслуживание, эксплуатацию, выход годной продукции, тем самым увеличивая ее себестоимость [40].

На современном этапе развития науки надежность рассматривается в трех направлениях: математическая теория надежности, статистическая теория надежности, физическая теория надежности. Математическая теория надежности рассматривает вопросы, касающиеся разработки методов оценки надежности и изучения закономерностей отказов оборудования. Статистическая теория надежности рассматривает вопросы сбора, хранения и обработки статистических данных об отказах оборудования. Физическая теория надежности отвечает за физико-химические процессы, происходящие в объекте при различных видах воздействия [41].

Плахтин В. Д. в своих работах [42–45] определяет новое направление – теротехнологию. Теротехнология представляет собой технологию, способную обеспечить эффективное функционирование агрегатов и оборудования на протяжении всего срока службы с учетом технических, технологических и организационных факторов и связей между ними. Данная технология основывается на непрерывном выявлении и устранении причин, которые снижают эффективность функционирования оборудования.

Механическое оборудование металлургических предприятий относится к восстанавливаемым техническим системам в силу своих особенностей и сложностей технологических процессов. В связи с этим вопросы надежности оборудования металлургических предприятий связаны с ремонтными службами. Данные вопросы рассмотрены в работах Касаткина Н. Л., Прыткина Д. П., Седуша В. Я., Ченцова Н. А., Сидорова В. А. [46–52]. Одним из важных выводов данных работ является необходимость разработки экспертной системы, которая обеспечит безотказность оборудования и сможет прогнозировать выход из строя детали, узла, машины, агрегата. Это позволит предупредить аварийный выход из строя оборудования, сократить время ремонта.

Эффективное функционирование оборудования и агрегатов с учетом вышеизложенных факторов на протяжении всего жизненного цикла определяет наука теротехнология [45].

Самые значимые факторы теротехнологии: качество оборудования, уровень эксплуатации, уровень технического обслуживания и ремонта (рисунок 1.1)

Проведя анализ исследований, направленных на повышение безотказной работы механического оборудования металлургических предприятий, на основе теротехнологии, удалось установить, что анализ отказов металлургического оборудования методом статистической теории надежности, а также учет ЧФ (рисунок 1.1) являются наименее исследованными направлениями.

Реализация современных методов теротехнологии для повышения безотказности механического оборудования металлургических предприятий происходит по следующим направлениям.

Качество выпускаемого оборудования. Оно дает представление о соответствии оборудования требованиям технологического процесса с учетом его возможного износа, морального старения и возможной интенсификации. Также сюда входит возможность модернизации оборудования. Надежность оборудования является одной из важных характеристик качества, уровень надежности закладывается при проектировании и изготовлении оборудования. Задача теротехнологии на данном этапе – обеспечить высокую базовую надежность, которая определяет достаточно высокую эксплуатационную надежность.

Уровень эксплуатации. Этот фактор зависит от соблюдения правил технической эксплуатации, также характеризуется стабильностью работы оборудования, качеством выпускаемой продукции. Низкий уровень означает высокую аварийность и длительные простои оборудования, большие потери производства и высокие затраты на ремонт.

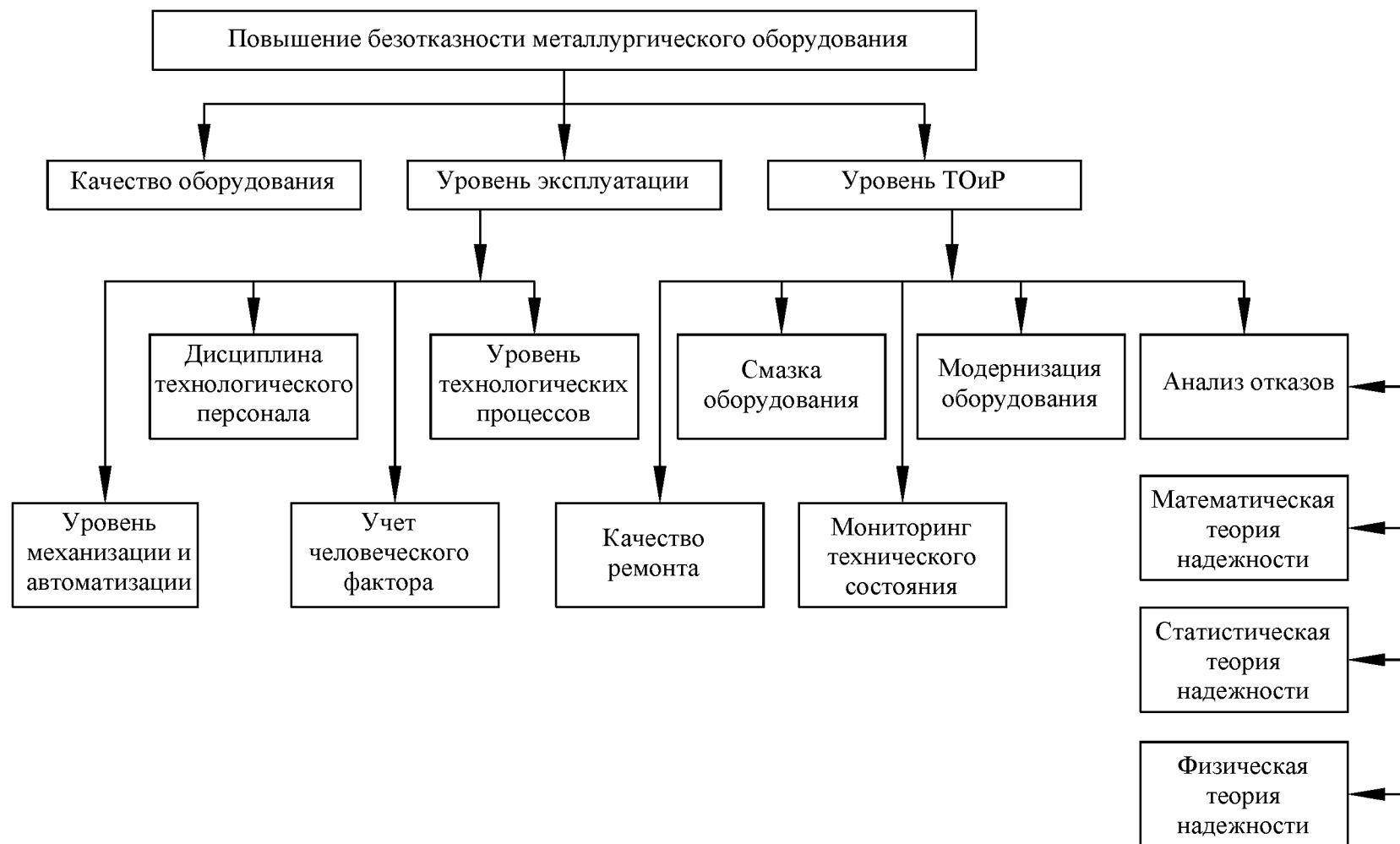


Рисунок 1.1. Основные направления обеспечения надежной и безотказной эксплуатации машин и агрегатов металлургических заводов

Уровень технического обслуживания и ремонта. Это важнейший фактор теротехнологии, его задачей является обеспечение высокой эксплуатационной надежности оборудования. Реализация данной задачи возможна при стремлении к увеличению межремонтных периодов и минимизации ремонтных ресурсов. В данный раздел теротехнологии входит множество факторов, влияющих на безотказность металлургического оборудования: качество ремонта, смазка, мониторинг технического состояния, модернизация, анализ отказов.

1.2 Стратегия метода технического обслуживания и ремонта

Качество ремонтов оборудования – один из важных факторов, который повышает межремонтный период оборудования. В ходе проведения ремонтных работ необходимо не только выполнять восстановление оборудования до первоначального состояния, но и повышать его основные технические характеристики благодаря модернизации и другими видами обновления основных средств [53, 54].

Смазка оборудования. Безотказность оборудования зависит от рационального подхода к выбору типов смазки и способов, а также режимов смазывания в период эксплуатации оборудования.

Мониторинг технического состояния механического оборудования на практике решает три типа задач:

- определение текущего состояния объекта;
- прогнозирование состояния объекта;
- определение состояния, в котором ранее находился объект.

Техническое диагностирование оборудования является первоисточником для оценки технического состояния [55–57].

Модернизация оборудования является фактором теротехнологии, который путем реконструкции и модернизации оборудования в процессе износа и морального старения обеспечивает высокий уровень эффективности и функционирования. Модернизация становится неотъемлемой частью технического обслуживания

и ремонта оборудования, решая проблемы поддержки стабильного уровня производства, качества продукции и безотказности самого оборудования [45].

1.2.1 Анализ отказов методом статистической теории надежности

Необходимо отметить, что в наше время получают развитие методы расчета надежности оборудования, основанные на известных источниках [58–62], и дополняются анализом надежности технических систем [63–65]. Это связано с тем, что рост уровня автоматизации в промышленности, и в частности в металлургии, приводит к внедрению в производство более сложных технологических процессов и оборудования [66, 67]. Последние, несмотря на использование современных средств индикации и измерительной техники для контроля показателей качества, при определении линейных и угловых размеров на основе пространства метрологических требований к функционированию производственных объектов, содержат потенциальную опасность для работников и производственной среды [68].

В соответствии с этим при решении задач первого типа задействуются статистические определения количественных характеристик надежности технических систем, а для задач второго типа должны использоваться вероятностные определения характеристик и аналитические зависимости между ними [69, 70]. Однако надо иметь в виду, что достоверность информации об отказе не всегда является корректной. Поскольку критерием надежности является признак или мера, по которым выполняется оценка надежности различных технических систем, то их критериями могут выступать показатели надежности, свойства безотказности, долговечности, хранения, ремонтпригодности и другие, но к наиболее распространенным из них относятся показатели безотказности [71, 72, 73]:

- вероятность безотказной работы (ВБР) в течение определенного времени $P(t)$;
- гамма-процентная наработка до отказа $t\gamma$;
- средняя наработка до отказа T_1 (для статистических задач \bar{T}_1);
- средняя наработка на отказ T (для статистических задач \bar{T});

- частота отказов $f(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$;
- параметр потока отказов $\mu(t)$ и др.

Характеристикой надежности технической системы является количественное значение критерия ее надежности, а поскольку основные критерии надежности делятся на две группы, к которым относятся те, которые характеризуют надежность невозстанавливаемых изделий, и те, которые характеризуют надежность восстанавливаемых изделий, то вопрос выбора количественных характеристик надежности зависит от его вида.

Вероятностью безотказной работы является количественная мера того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа. Тогда функция P , указанная выше в первом показателе безотказности, является относительной продолжительностью безостановочной исправной работы технической системы до первого отказа, а аргументом t определяется время, в течение которого существует (ВБР), тогда

$$P(t) = P(T \geq t), \quad (1.1)$$

где T – время работы объекта от начала до первого отказа;

t – время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы, $t \geq 0$.

Статистическая оценка вероятности безотказной работы $\hat{P}(t)$ будет составлять

$$\hat{P}(t) = \left(1 - \frac{n(t)}{N_0}\right), \quad (1.2)$$

где N_0 – число объектов в начале работы; $n(t)$ – число элементов, отказавших за время t .

Интегральная функция распределения случайной величины определяется из:

$$Q(t) = F(t), \quad Q(t) = P(T < t), \quad Q(t) = 1 - P(t) = F(t). \quad (1.3)$$

Статистическая вероятность отказов равна

$$\hat{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i}{N_0}, \quad (1.4)$$

где n_i – число неблагоприятных случаев; N_0 – общее число испытаний.

Если интегральная функция распределения $\hat{Q}(t)$ дифференцируемая, то производная от нее является дифференцируемым законом.

Поскольку, согласно [69, 70], частотой отказов по статистическим данным называется отношение числа элементов (объектов), отказавших в единицу времени к первоначальному их числу работающих (испытываемых) при условии, что все из них вышли из строя и не восстанавливаются, то

$$\hat{f}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} \quad \text{или} \quad a(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (1.5)$$

где $\hat{f}(t)$ – частота отказов в единицу времени; $n(\Delta t)$ – число отказавших элементов в интервале времени от $\frac{(t - \Delta t)}{2}$ до $\frac{(t + \Delta t)}{2}$; N_0 – первоначальное число элементов в начале работы (испытания).

Таким образом, частотой отказов является плотность вероятности (или закон распределения) времени работы элемента до первого отказа, и поэтому

$$f(t) = -\frac{dP}{dt} = -P'(t) = \frac{dQ(t)}{dt} Q'(t),$$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (1.6)$$

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt. \quad (1.7)$$

А интенсивностью отказов по статистическим данным называется отношение числа элементов, отказавших в единицу времени к среднему числу элементов, исправно работающих в данный отрезок времени, определяемое из

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta T)}{N_{cp} \cdot \Delta t}, \quad (1.8)$$

где $N_{cp} = \frac{(N_i + N_{i+1})}{2}$ – среднее число исправно работающих элементов (объектов) в интервале Δt ;

N_i – число элементов, исправно работающих в начале интервала Δt ;

N_{i+1} – число элементов, исправно работающих в конце интервала Δt .

Поскольку интенсивность отказов в вероятностной оценке является условной плотностью вероятности возникновения отказа объекта и определяется при условии, что к рассматриваемому моменту времени отказ не возник, то вероятностная оценка характеристики определяется по выражению

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad \text{или} \quad f(t) = \lambda(t)P(t). \quad (1.9)$$

Интенсивность отказов и ВБР связаны между собой зависимостью

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (1.10)$$

Средней наработкой до первого отказа является математическое ожидание времени работы объекта до отказа T_1 , которое вычисляется через частоту отказов (плотность распределения времени безотказной работы):

$$m_t = T_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} tf(t)dt, \quad (1.11)$$

где m_t – средняя наработка до первого отказа.

При условии, что $t > 0$ и $P(0) = 1$, а $P(\infty) = 0$, можно определить T_1 :

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t)dt. \quad (1.12)$$

Средняя наработка до первого отказа, согласно статистическим данным об отказах, вычисляется по формуле

$$\hat{T}_1 = \left(\sum_{i=1}^m n_i t_i \right) / N_0, \quad (1.13)$$

где t_i – время безотказной работы i -го элемента.

Для его определения необходимо знать моменты выхода из строя всех испытываемых объектов, а следовательно, для вычисления \hat{T}_1 последнюю формулу использовать неудобно. При наличии данных о количестве вышедших из строя элементов n_i в каждом i -м интервале времени среднюю наработку \hat{T}_1 до первого отказа можно определить из

$$\hat{T}_1 \approx \frac{\left(\sum_{i=1}^m n_i t_{cep i}\right)}{N_0}, \quad (1.14)$$

где $t_{cep i}$ и m определяются из

$$t_{cep} = \frac{(t_{i-1} + t_i)}{2}, \quad m = \frac{t_k}{\Delta t}, \quad (1.15)$$

где t_{i-1} – время начала i -го интервала;

t_i – время конца i -го интервала;

t_k – время, на протяжении которого вышли из строя все элементы;

$\Delta t = t_{i-1} - t_i$ – интервал времени.

Для расчета количественных характеристик надежности технических элементов оборудования чаще всего используются следующие законы распределения: экспоненциальный, усеченный нормальный, Релея, гамма, Вейбулла – Гнеденко, логарифмически нормальный, в соответствии с [58–61, 63–65, 69–85] по формулам, приведенным в таблице 1.1. Их анализ показывает, что все характеристики, кроме средней наработки до первого отказа, являются функциями времени, что подтверждается их графической интерпретацией по [86] на рисунке 1.2.

Приведенные критерии надежности позволяют оценивать надежность как невосстанавливаемых, так и восстанавливаемых объектов до первого отказа, причем наличие нескольких критериев не указывает на необходимость такой оценки объектов по всем параметрам. Это подтверждается и тем, что наиболее полной характеристикой надежности является частота отказов $f(t)$ (плотность распре-

ления), которая содержит в себе все данные о случайном явлении во время безотказной работы [87, 88].

А средняя наработка до первого отказа, в свою очередь, является наглядной характеристикой надежности, однако ее применение при оценке надежности сложной системы ограничивается в некоторых случаях, а именно, когда:

- время работы системы гораздо меньше среднего времени безотказной работы;
- закон распределения времени безотказной работы не является однопараметрическим и для достижения полной оценки необходимы моменты высших порядков;
- когда система является резервируемой;
- интенсивность отказов не является постоянной;
- когда время работы отдельных частей сложной системы является различным.

Таблица 1.1. Интенсивность отказов элементов

Закон распределения	Частота отказов (плотность распределения)	Вероятность безотказной работы	Интенсивность отказов	Средняя наработка до первого отказа
Экспоненциальный	$\lambda e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	$\lambda = const$	$\frac{1}{\lambda}$
Релея	$\frac{t}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{t}{\sigma^2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma$
Гамма (при k целом)	$e^{-\lambda_0 t}$	$e^{-\lambda_0 t}$	$\frac{\lambda_0 (\lambda_0 t)^{k-1}}{(k-1)! \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}}$	$\frac{k}{\lambda_0}$
Вейбулла – Гнеденко	$\lambda_0 k t^{k-1} e^{-\lambda_0 t^k}$	$e^{-\lambda_0 t^k}$	$\lambda_0 k t^{k-1}$	$\frac{r(\frac{1}{k} + 1)}{\lambda_0^{\frac{1}{k}}}$
Усеченный нормальный	$\frac{1}{F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right) \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right)}{F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)}$	$\frac{e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi\sigma F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right)}}$	$T_1 + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)}} e^{-\frac{T_1^2}{2\sigma^2}}$
Логарифмически нормальный	$\frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2}$	$\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$	$\frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \frac{e^{\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2}}{0,5 + \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)}$	$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi} \int_0^{\infty} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt}$

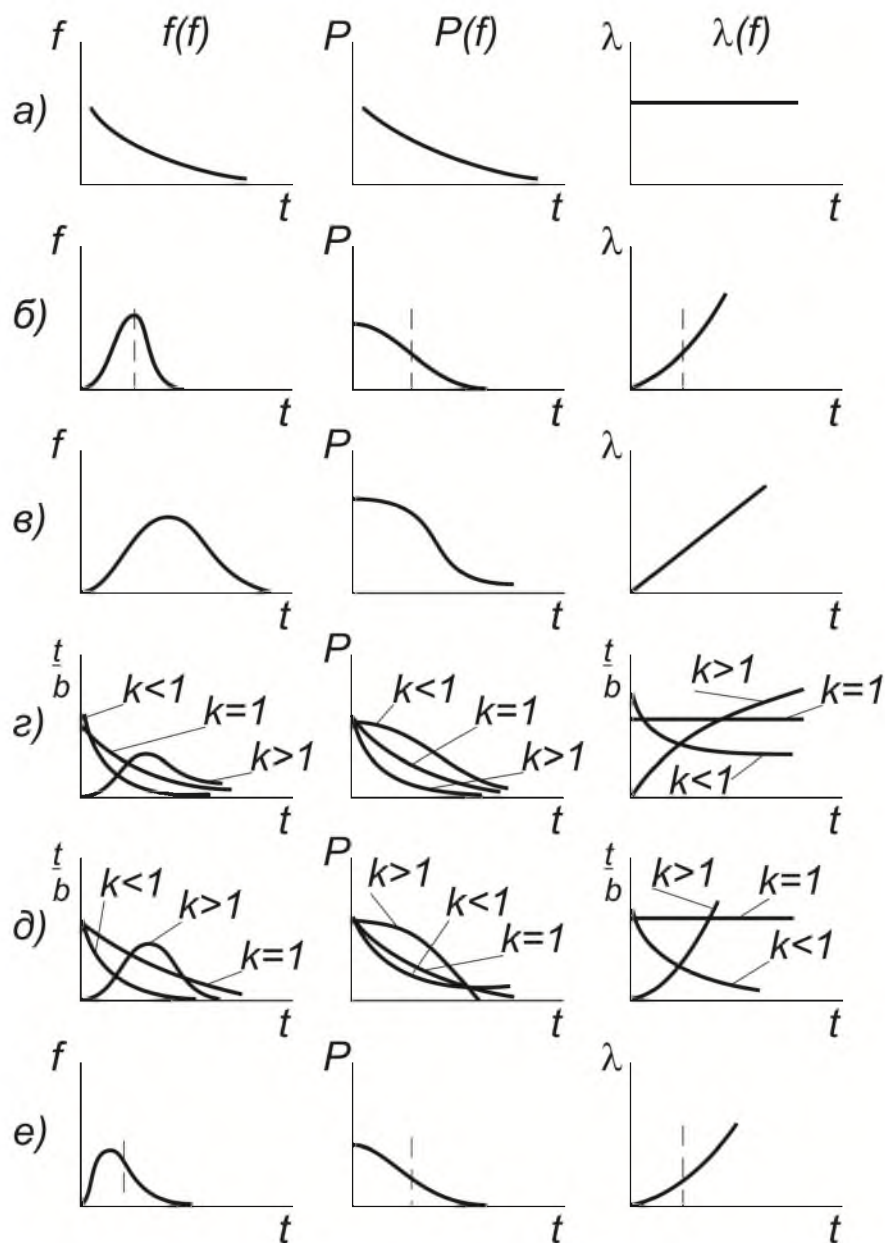


Рисунок 1.2. Графические зависимости количественных характеристик надежности от времени: а – экспоненциальный закон; б – усеченный нормальный закон; в – закон Релея; г – гамма-распределение; д – закон Вейбулла – Гнеденко; е – логарифмически нормальный закон

Интенсивность отказа является наиболее удобной характеристикой надежности простейших элементов, так как позволяет просто вычислять количественные характеристики надежности сложных систем по критерию вероятности безотказной работы, поскольку:

– она входит как сомножество в другие, более общие характеристики си-

стем, например, в эффективность и стоимость (цена и стоимость различаются);

– характеризует надежность с учетом изменения во времени [86];

– может быть определена в процессе проектирования систем и оценена в процессе их испытаний.

Такой подход к определению составляющих безотказности оборудования является наиболее целесообразным, однако при этом необходимо в расчетах учитывать надежность ЧФ (способность человека выполнять задачу в заданных условиях в пределах установленного периода с учетом заданных ограничений) [89]. Экспериментальные характеристики безошибочности среднестатистического человека представлены в работе Белова П. Г. [90]. Также в этой работе представлены экспериментальные значения вероятностей совершения ошибок человеком-оператором в обычных и экстремальных условиях.

1.3 Стратегия метода уровня эксплуатации

Уровень механизации и автоматизации. Автоматизация производства состоит из основных ступеней: полуавтоматы, автоматы, автоматические линии, цехи и участки-автоматы, фабрики и заводы-автоматы. Задача механизации и автоматизации – произвести переход от простого оборудования к автоматическому, переложить ряд функций с человека на машину, но не предоставлять полный контроль машине над процессом.

Уровень механизации и автоматизации производства определяется тремя основными показателями: степенью охвата рабочих механизированным трудом; уровнем механизированного труда в общих трудовых затратах; уровнем механизации и автоматизации производственных процессов.

Дисциплина технологического персонала предполагает точное выполнение технологических операций заранее спроектированными методами и способами, соблюдая их последовательность, режимность и другие технологические факторы. Предполагается, что человек не совершает преднамеренных нарушений технологических процессов при эксплуатации оборудования. Но не учитывается

непреднамеренное совершение ошибок при выполнении ряда операций технологического цикла при эксплуатации сложного оборудования.

Уровень технологических процессов – это коэффициент, равный пропорциональности изменения производительности труда в технологическом процессе к изменению его технологического вооружения. Впервые термин «уровень технологии» был предложен В. А. Трапезниковым [91].

Достижение необходимых показателей качества должно обеспечиваться уровнем технологического процесса. Невозможно, применяя старые методы изготовления изделий, обеспечивать повышенные требования к его параметрам [92]. В современных технологических процессах можно отметить следующие направления: повышение прецизионности процесса, внедрение методов упрочняющих технологий, применения покрытий, получения высокого качества поверхностного слоя. Все эти направления служат для возможности выпуска надежной продукции.

1.3.1 Необходимость учета человеческого фактора при расчетах показателей безотказности металлургических машин и механизмов

1.3.1.1 Человеческий фактор как источник повышенной опасности

В 1930 г. советский ученый Н. М. Добротворский впервые попытался раскрыть понятие ЧФ, термин, который был сформулирован позже human factors engineering (буквально – техника ЧФ), используемого в США для проектирования систем «человек – машина» [93].

В США образовалось общество ЧФ в 1957 году, а через год вышел журнал «Человеческие факторы» [3].

В ряде европейских стран и в России был принят термин «эргономика», включающий в себя сферу профессиональной деятельности, которую в США называют «человеческие факторы».

В современном мире термин ЧФ используется в разных научных сферах: при исследовании рисков в экономике, при конструировании машин и оборудования, при проектировании рабочих мест и т. д.

При проектировании, эксплуатации и техническом обслуживании машин и агрегатов одним из важных элементов для повышения производительности и качества выпускаемой продукции служит ЧФ.

В своей работе «Безопасность машин и человеческий фактор» [94] Доброборский Б. С. дает определение: «под термином человеческий фактор понимаются осознанные или случайные ошибочные решения или действия человека, вызванные особенностями его биологической природы и условиями его взаимодействия с внешней средой».

Вероятность отказа человека, как одного из элементов технической системы достаточно высока, и это связано с тем, что организм человека, который принимает участие в решении поставленных задач в разнообразных областях профессиональной деятельности, обладает рядом специфических свойств, как полезных, так и вредных [95–98].

«Отказ (человеческого фактора) (human failure) – невыполнение человеком действий, необходимых для достижения цели, независимо от причин» [99].

«Надежность человеческого фактора (human reliability) – способность человека выполнять задачу в заданных условиях в пределах установленного периода времени с учетом заданных ограничений» [99].

Генотипическая и фенотипическая адаптация, концентрация, обучаемость, изобретательность и т. д. – это полезные свойства.

Совершение случайных ошибок, быстрое наступление усталости, случайная потеря информации, заведомо неправильное принятие решения и т. д. – это относится к вредным свойствам [100–103].

Из-за перечисленных вредных свойств организма человека и происходят аварии на производстве, техногенные катастрофы, несчастные случаи, хотя на предприятиях имеются нормативные документы, инструкции и т. д.

В качестве примера, на 10.02.2015 на шахтах Донбасса за неделю инспекторы Государственного комитета горного и технического надзора Донецкой Народной Республики и Государственной службы горного надзора и промышленной безопасности Луганской Народной Республики выявили 7447 нарушений актов об охране труда [104, 105].

В таблице 1.2 представлены данные Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН о значимости ЧФ в техногенных катастрофах.

Таблица 1.2. Коэффициент k_N значимости ЧФ [94]

№	Области техносферы	k_N
1	Атомная энергетика	0,55
2	Промышленное и гражданское строительство	0,70
3	Ракетно-космическая техника	0,35
4	Военная авиация	0,85
5	Гражданская авиация	0,65
6	Трубопроводный транспорт	0,30
7	Автомобильный транспорт	0,80
8	Технологическое оборудование	0,40

Из таблицы 1.2. видно, что коэффициент значимости ЧФ k_N для важных отраслей промышленности имеет достаточно большие значения. Для автомобильного транспорта достигает 0,8 и занимает второе место после военной авиации, а для технологического оборудования находится на уровне 0,4.

1.3.1.2 Надежность человека как звена сложной системы

В мире существует огромное количество технических систем, работа которых без основного звена «человек» невозможна. В большинстве случаев надежность оборудования рассматривается как надежность отдельной машины или механизма без учета человека, обслуживающего данный механизм, как неотъемлемого элемента данной системы. По статистике, до 30% отказов связано с ошибочными действиями человека. В связи с этим надежность систем должна анализироваться с учетом ЧФ.

«Надежность работы человека определяется как вероятность успешного выполнения им работы или поставленной задачи на заданном этапе функционирования системы в течение заданного промежутка времени при определенных требованиях к продолжительности выполнения работы. При этом ошибка человека определяется как невыполнение поставленной задачи или выполнение запрещенного действия, которое может привести к повреждению оборудования или имущества либо нарушению нормального хода запланированных операций» [106].

В современных условиях в металлургической отрасли обойтись без участия человека, независимо от степени автоматизации технического процесса, невозможно. Из этого можно сделать заключение, что в системе, где присутствует человек, появляются ошибки. Возникновение ошибок не зависит от квалификации, уровня подготовки и опыта персонала. В связи с этим производить расчеты надежности оборудования без учета надежности работы человека некорректно (будет большая погрешность).

В работе А. М. Климова «Надежность технологического оборудования» [106] приведено соотношение между качеством работы человека и действующими нагрузками, что отображено на рисунке 1.3. Из данного графика видно, что зависимость появления ошибок от действующих нагрузок является нелинейной функцией. При невысоком уровне нагрузки на оператора работа выполняется неэффективно (задача не интересна), что снижает качество работы. При умеренном виде нагружения качество работы резко возрастает, в связи с этим такой вид нагрузки можно принимать как достаточное условие для обеспечения внимательной работы человека. При увеличении нагрузки качество работоспособности резко снижается, что можно объяснить страхом, беспокойством и т. д.

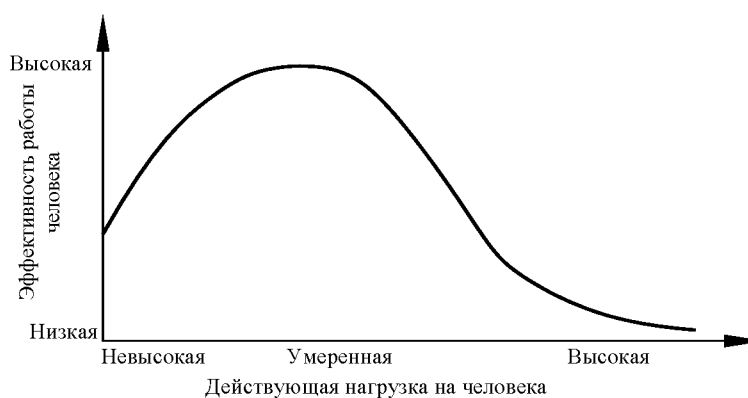


Рисунок 1.3. Гипотетическая зависимость эффективности работы человека от действующей нагрузки [3]

Следовательно, при самом высоком уровне нагрузки на человека его надежность принимает минимальное значение. Это приводит к значительному количеству ошибок, возникающих в следующих случаях: когда оператор стремится достигнуть ошибочную цель; задача не может быть выполнена из-за неправильных действий оператора; бездействие оператора в момент необходимости принятия решения [26, 106–112].



Рисунок 1.4. Основные причины совершения производственных ошибок человеком [106]

1.3.1.3 Факторы, влияющие на безотказность человека

Надежность человека в выполнении своих действий зависит от внутренних и внешних условий, которые изменяются во времени и от человека к человеку. Факторы, определяющие работу человека, – это факторы, от которых зависят возможности человека правильно выполнять задачу. На рисунке 1.5 показаны факторы, определяющие работу человека.

Если рассмотреть опасные и вредные производственные факторы, воздействующие на рабочих металлургических производств (рисунок 1.6), согласно ГОСТ 12.0.003–2015 [113], психофизиологические выделены отдельным блоком.

Рассмотрим отдельно психофизиологические факторы (рисунок 1.7).

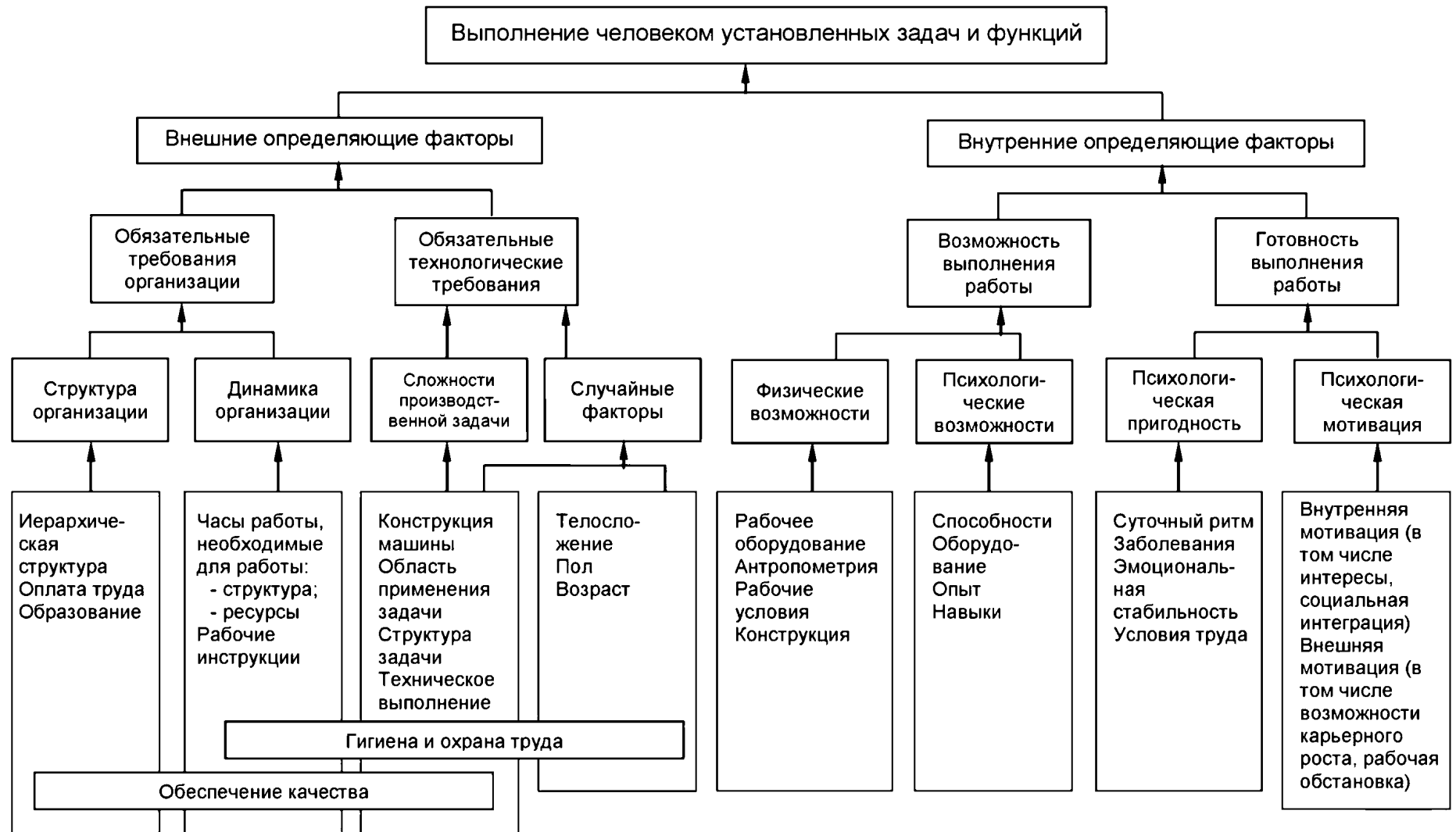


Рисунок 1.5. Факторы, определяющие работу человека [99]



Рисунок 1.6. Классификация вредных и опасных факторов

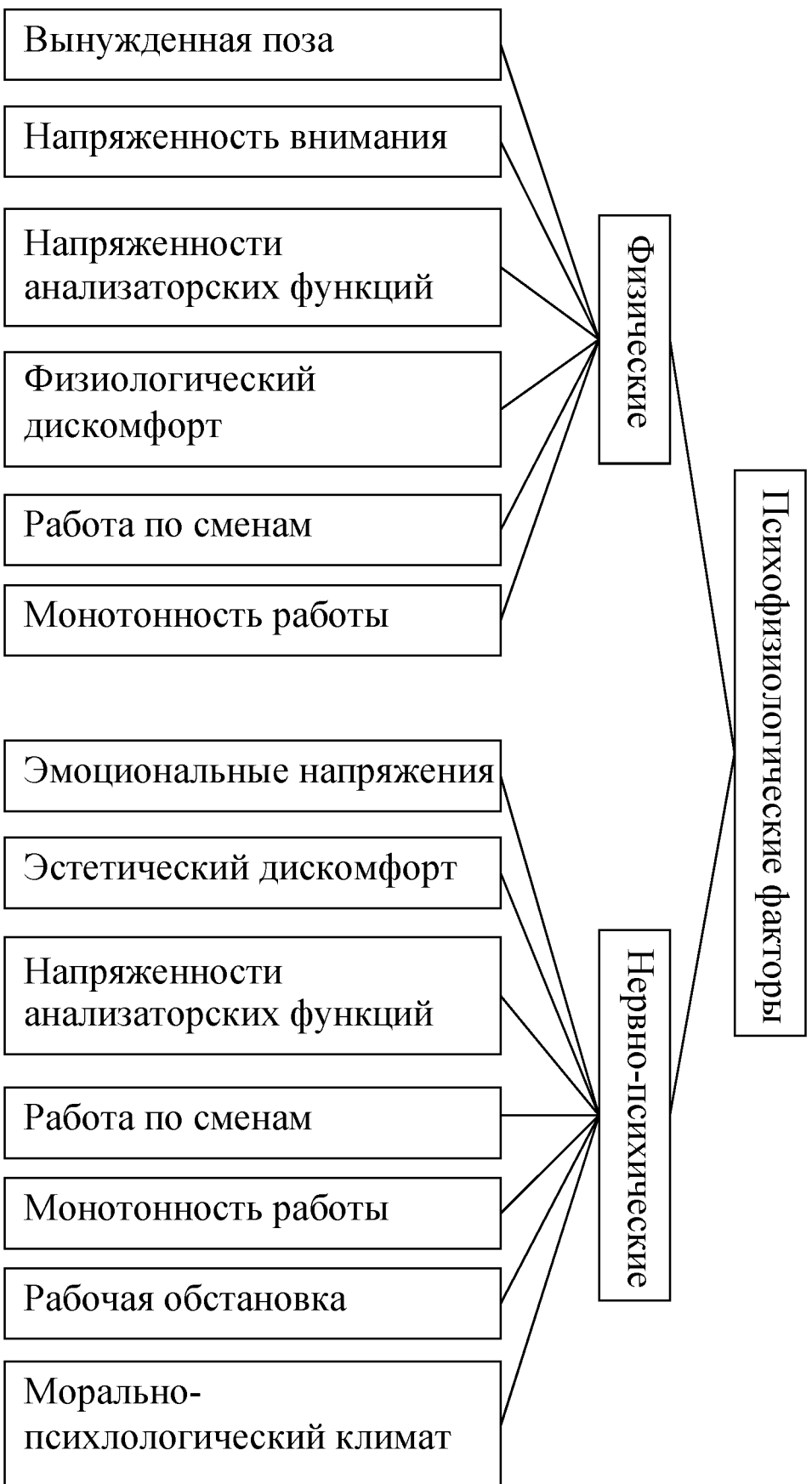


Рисунок 1.7. Психофизиологические факторы

Таблица 1.3. Методы снижения психофизиологических факторов

Физические		Нервно-психические	
Наименование фактора	Методы минимизации	Наименование фактора	Методы минимизации
1	2	3	4
Вынужденная поза	При проектировании рабочих мест необходимо стремиться к тому, чтобы рабочая поза была как можно ближе к естественной позе человека. Поэтому целесообразно предусматривать возможность работы как стоя, так и сидя. Особого внимания заслуживает проектирование кресел для лиц, постоянно выполняющих работу, сидя за пультами управления. Конструкция кресла должна быть такой, чтобы как можно равномернее распределить давление тела на площадь опоры. Это возможно тогда, когда кресло в наибольшей степени соответствует анатомическому строению человека	Эмоциональные напряжения	Рекомендуется проводить в регламентированные перерывы длительностью 7–10 мин комплекс физических упражнений, стимулирующих деятельность нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной систем, снимающих общее утомление и повышающих умственную работоспособность. В течение 40–60 с проводится комплекс упражнений, предназначенных для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц или систему организма в зависимости от ощущения усталости

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4
Напряженность внимания	Степень напряженности анализаторских функций для зрительного анализатора зависит от размера объекта различения и расстояния объекта от глаз, различия в контрастности объекта различения и фона, для слухового анализатора – от соотношения между уровнями речи и шума	Эстетический дискомфорт – наличие на рабочем месте стойких и труднопереносимых запахов и т. п.	Использование средств индивидуальной защиты
Физиологический дискомфорт	Использование современных средств индивидуальной защиты	Напряженности анализаторских функций	Профилактикой напряженности при экстремальных условиях является профессиональная подготовка на тренажерах, имитирующих аварии
Работа по сменам	Необходимо, чтобы работающие ночью соблюдали суточную норму сна – восемь часов; начало смен необходимо устанавливать в 8, 16 и 24 часа при трехсменном режиме работы и в 8, 14, 20, 2 часа при четырехсменном режиме работы	Работа по сменам	Переход из смены в смену производить через неделю или две недели, причем чередование смен должно быть таким: утренняя – вечерняя – ночная; работающие в ночные смены не должны в свободное время заниматься тяжелым физическим трудом или трудом, требующим напряжения центральной нервной системы. Свободное время должно быть временем активного отдыха

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4
Монотонность работы	Делать каждую операцию более содержательной, объединять малосодержательные операции в более сложные, содержательные и разнообразные; операция должна быть продолжительностью не менее 30 секунд, состоять из элементов, позволяющих чередовать нагрузки на различные органы чувств и части тела; осуществлять перевод работающих с одной на другую производственную операцию	Монотонность работы	Применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня (рабочей смены): назначать короткие дополнительные перерывы для отдыха всей смены (бригады) или отдельного работающего в удобное для него время. Целесообразны частые, но короткие перерывы; устанавливать переменный ритм конвейера в течение рабочего дня; наиболее предпочтителен свободный темп конвейера; осуществлять эстетичность производства и функциональное музыкальное оформление производственного процесса
		Рабочая обстановка	Практика организаций показывает, что в производственных коллективах, где внимательное отношение друг к другу, товарищеская взаимопомощь и поддержка стали нормой поведения, добиваются хороших результатов в работе, быстрыми темпами повышается культура производства, сведено до минимума количество травм и микротравм, постоянно соблюдаются требования по охране труда. Там же, где между работающими установились нездоровые отношения, производственные результаты, положение дел с охраной труда, как правило, хуже.

Анализируя данные схемы, можно сделать вывод, что психофизиологические факторы занимают один из важных сегментов влияния на надежность человека в системе «человек – машина», что заслуживает особого внимания для дальнейшего исследования.

Теоретические основы повышения надёжности металлургических машин на стадии проектирования и эксплуатации базируются на достижениях науки о прочности и долговечности.

Проведены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов металлургических машин, в результате которых предпринимались попытки определить оптимальную долговечность деталей машин на основании законов распределения параметров надёжности [7–13, 114].

Существуют два основных подхода к получению информации о надёжности работающего оборудования. Первый подход – изучение закономерностей отказов оборудования как реализовавшихся событий. Вторым подходом – изучение и прогнозирование текущего технического состояния системы.

В большинстве своем прогнозирование технического состояния и изучение закономерностей отказов оборудования базируется на отказах самих машин без учета ошибок, которые мог совершить человек, так называемых организационных факторах.

К таким факторам можно отнести: неправильную организацию производственных работ; неэффективность или отсутствие производственного контроля за соблюдением правил техники безопасности; умышленное отключение или вывод из строя средств защиты; низкий уровень знания требований промышленной безопасности; нарушение технологической и трудовой дисциплины, неосторожные действия исполнителей работ; несовершенство нормативных и технических требований [115–119].

На предприятиях с полным металлургическим циклом, в технологических линиях которых находятся сложные агрегаты с действующим уровнем организации технологических процессов, создаются предпосылки для возникновения инцидентов и аварий. Они приводят к значительным экономическим потерям и со-

циальной напряженности работающих. По данным, полученным на основании изучения документации по аварийным ситуациям за период 7–12 лет на одном из металлургических предприятий, было установлено, что доля происшествий и аварий в зависимости от причин колеблется в различных пределах (таблица 1.4) [120].

Таблица 1.4. Причины происшествий и аварий на металлургическом предприятии, %

Причины	Производство				
	Доменное	Сталеплавильное	Прокатное	Коксохимическое	Энергогенерирующее
Технические	20–30	45–60	55–65	35–45	50–55
Организационные	80–70	55–40	45–35	65–55	50–45

Количество аварийных ситуаций, возникших по причине организационного фактора (большую часть которого составляет человеческий отказ), имеет достаточно высокий процент.

Таблица 1.5. Экспериментальные характеристики безошибочности среднестатистического человека по [90]

№ п/п	Наименование функциональных действий	Вероятность безошибочного выполнения
1	2	3
1.	Выявление декодирования сигнала	0,9700–0,9999
2.	Поиск органов управления и осуществление заданного управляющего действия	0,9610–0,9850
3.	Обнаружение сигнала и принятие решения	0,9380–0,9780
4.	Восприятие информации, ее оценка и принятие решения о работоспособности контролируемых подсистем:	
	– число воспринимаемых признаков 3–5, задержка во времени их появления 10–12 с;	0,875–0,9950
	– число воспринимаемых признаков 5–6, задержка во времени их появления 15–40 с;	0,4470–0,7830
	– число воспринимаемых признаков 1–2, задержка во времени их появления 10–12 с	0,8550–1,00

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3
5.	Считывание показаний стрелочного прибора: – одношкального; – двушкального	0,9900–0,9960 0,9850–0,9900
6.	Проверка логического условия типа «или»	0,9960
7.	Нажатие кнопки	0,9985–0,9999
8.	Считывание информации с табло	0,9950–0,9995
9.	Включение тумблера	0,9990–0,9995
10.	Простые реакции по превращению информации прямого или оперативного запоминания	0,9995
11.	Выдача или принятие голосовой команды	0,9998
12.	Поворот переключателя	0,9975–0,9990
13.	Снятие показаний с прибора: – с круговой шкалой; – с линейной шкалой; – с полукруговой шкалой; – электросчетчика; – шильдика	0,9952–0,9999 0,9975–0,9980 0,9933–0,9975 0,9985–0,9995 0,9985–0,9999
14.	Выполнение действия (движения) за счет: – штурвала; – ручки управления; – маховика; – съемного рычага (ключа)	0,9965–0,9980 0,9936–0,9995 0,9994–0,9999 0,9920–0,9990
15.	Выполнение действия по: – соединению кабеля; – разъединению кабеля; – установке штифта; – открытию вентиля; – подсоединению шланга; – наладиванию прибора; – установке уплотнения; – установке штекера	0,9986–0,9998 0,9995–0,9999 0,9989–0,9998 0,9980–0,9995 0,9955–0,9970 0,9920–0,9965 0,9910–0,9945 0,9970–0,9985
16.	Выполнение пункта должностной инструкции	0,9915–0,9955
17.	Перемещение человека по: – монтажной площадке; – временному настилу	0,9990–0,9995 0,9940–0,9975
18.	Использование средств защиты: – страховочного пояса; – съемных ограждений; – переносного заземления	0,9940–0,9980 0,7500–0,8500 0,8500–0,8900

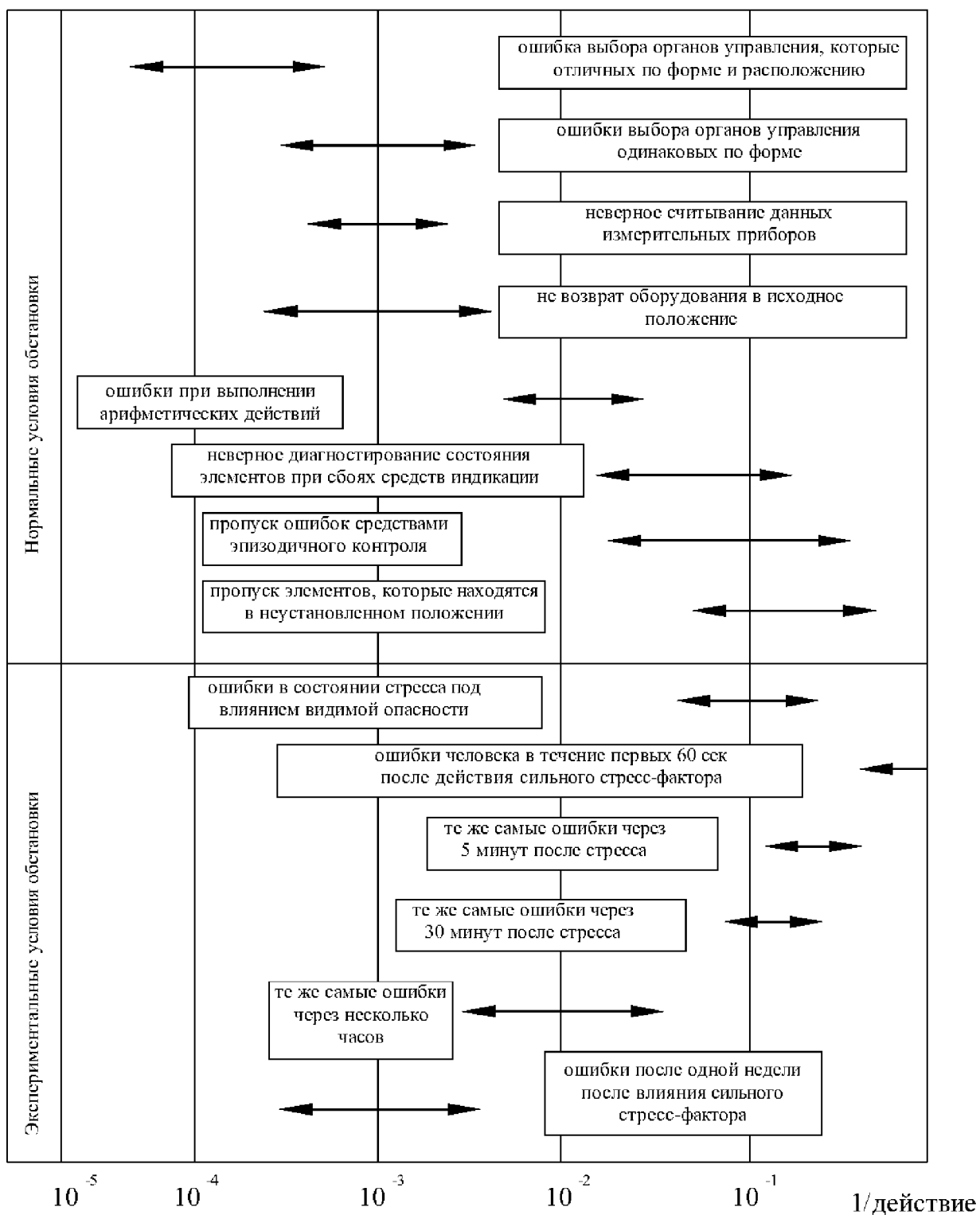


Рисунок 1.8. Структурная схема диапазонов вероятности возникновения различных ошибок путем отнесения их количества на действие человека-оператора [90]

В связи с этим среди причин возникновения физических и психофизиологических опасностей на рабочем месте необходимо, кроме давно известных, но с более возрастающими последствиями, выделить недостаточную профессиональную пригодность, склонность к опасностям, неудовлетворительную связь между восприятием сигналов и двигательной реакцией, волнение за возможную ошибку в результате повышенной ответственности за качество работы, несоответствие эргономических показателей оборудования антропометрическим характеристикам работников, наличие бекграундного шума, необходимость значительного количества переналадок оборудования и т. д. [121].

Среди известных физических угроз особую актуальность приобретают те, которые связаны с физическим дискомфортом, нарушением функций систем организма, проявлением аллергических реакций, возникновением новообразований и вегетативных стрессовых реакций, нарушением защитных функций, снижением физической силы и выносливости. В наше время усиливаются и угрозы эмоционального волнения, обусловленные чувствами опасности и опасения, а также аффективными состояниями.

Материалы настоящего раздела опубликованы в следующих научных работах [6, 41, 73, 95, 98, 115, 121].

Выводы

1. Один из важных показателей надежности при эксплуатации машин и агрегатов металлургических предприятий – это безотказность, которая рассматривается как свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Вопросы повышения показателей надежности машин металлургических предприятий и обеспечения их безотказной работы на протяжении 40 лет являются основными для данного вида оборудования.

2. Выполненный анализ ранее проведенных исследований по повышению безотказности машин и агрегатов металлургических предприятий, основанных на факторах теротехнологии, позволил установить, что наименее изученным направлением является вопрос анализа отказов методом статистической теории надежности. Возникает необходимость в систематизации и обработке показателей безотказности оборудования методом статистической теории надежности, а также в формировании баз данных наработок на отказ.

3. Эксплуатация механического оборудования металлургических предприятий обладает одним важным отличием – возможностью развития любого вида отказа. Для сохранения работоспособного состояния оборудования возникает необходимость использования методов расчета количественных характеристик надежности, опираясь на статистические данные наработок на отказ отдельных деталей, узлов, машин и агрегатов. Решение данной проблемы возможно путем моделирования отказов не только основного, но и вспомогательного оборудования. Также необходимо разработать автоматизированную систему прогнозирования отказов оборудования как при проектировании металлургических цехов и внедрении новых технологий и оборудования, так и при их одновременной эксплуатации с устаревшим оборудованием.

4. Проблема повышения безотказности металлургического оборудования приводит к необходимости рассмотрения уровня эксплуатации, куда входят дисциплина технологического персонала и учет ЧФ. Возникает необходимость изучения вопроса учета ЧФ в расчетах показателей безотказности механического оборудования металлургических предприятий. Решение данной проблемы позволит повысить безотказность металлургического оборудования.

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

2.1 Математическое моделирование

Модель – это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала [122].

Создание и исследование модели, отражающей наиболее существенные для конкретных целей свойства исходного объекта, называется моделированием.

Цели моделирования определяются задачами, возникающими при изучении реальных объектов, и, как правило, представляются следующим образом [123]:

- оценивание на основании исследования модели, замещающей оригинал, свойств исходного объекта и определение степени их соответствия предъявляемым требованиям;
- прогнозирование поведения реального объекта в новых условиях с учетом изменения пространственных, временных и других характеристик;
- выявление факторов, которые в наибольшей степени влияют на изменение свойств объекта-оригинала, по результатам анализа модели на чувствительность к изменению ее параметров;
- определение условий улучшения рабочих характеристик объекта-оригинала путем решения оптимизационной задачи на его модели и т. д.

Моделирование разделяется на физическое и математическое. Наиболее широкое применение имеют математические модели, которые представляются на языке математического аппарата [124].

Процесс формирования математической модели можно представить на схеме (рисунок 2.1) в виде черного ящика, где вектор входных переменных системы $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, выходных показателей $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, управляемых факторов внешней по отношению к объекту моделирования среды $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$, неуправ-

ляемых факторов среды $V=(v_1, v_2, \dots, v_r)$ и стохастический шум ξ определяют и формируют содержимое черного ящика как некоторой функциональной конструкции: $X = f(X, Y, U, V) + \xi$.

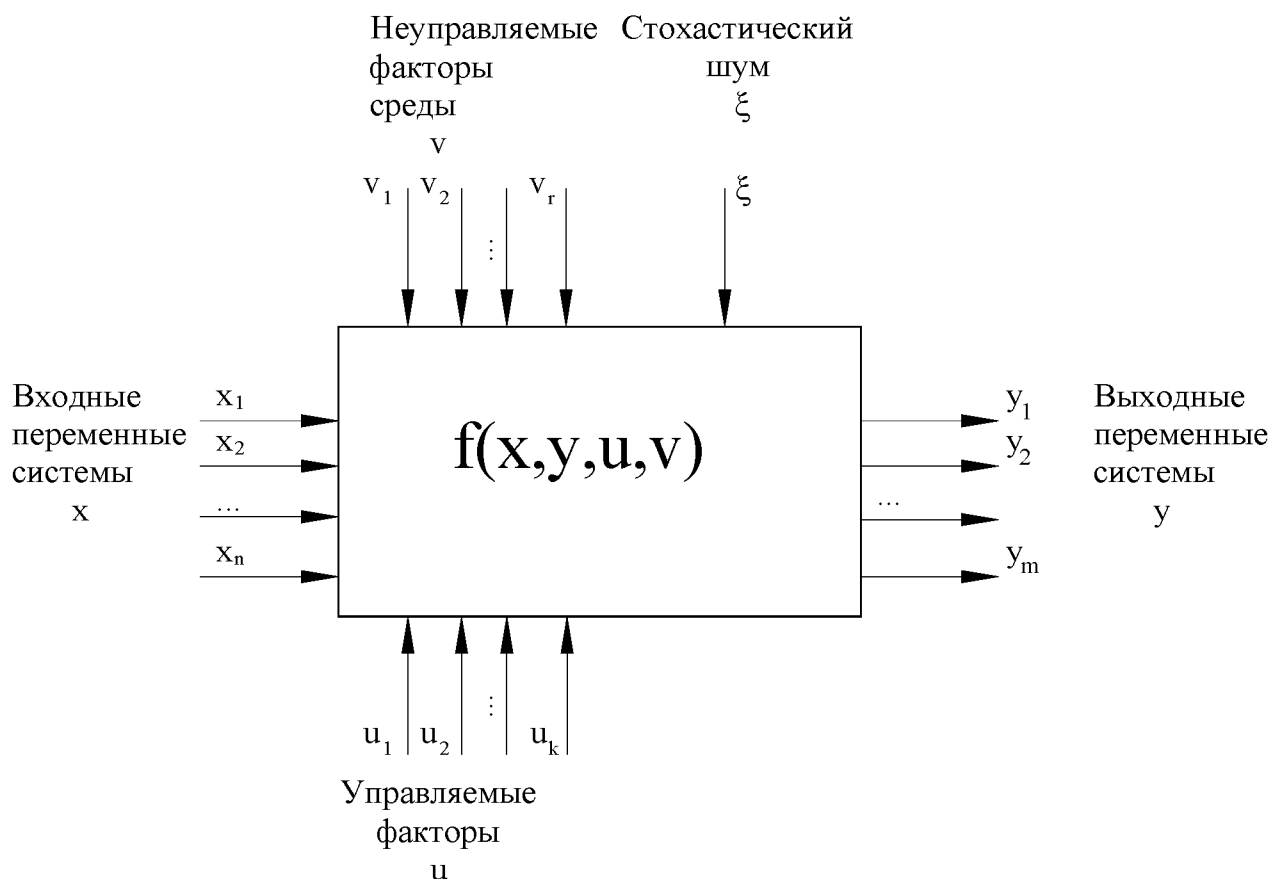


Рисунок 2.1. Схема переменных и факторов среды математической модели

Тогда постановка задачи моделирования может быть сформулирована следующим образом: установить структуру и определить параметры функции (или функционала) $f(X, Y, U, V)$, удовлетворяющей соотношению $f(X, Y, U, V) = Y$, на множестве заданных значений компонент векторов X, Y, U, V в области D , задаваемой дополнительными ограничениями на переменные, таким образом, чтобы модель наилучшим образом отражала необходимые свойства исходного объекта.

По способу построения математические модели разделяют на:

- аналитические;
- имитационные;
- нечеткие.

Аналитическое моделирование использует для построения моделей аналитические выражения, которые в различных предметных областях могут выражаться математическими формулами, химическими и физическими соотношениями и т. п. Аналитическое моделирование основано на использовании достаточно развитого математического аппарата, с его разделами, такими как математический анализ, аналитическая геометрия, математическая логика, теория вероятностей, теория массового обслуживания и др. [125, 126].

Аналитические модели, если они решаемые, дают результаты в аналитическом виде и зачастую не требуют больших вычислительных ресурсов; использование таких моделей для анализа объекта-оригинала и прогнозирования изменения его свойств с изменением входных характеристик, для решения оптимизационных задач дает решение в общем виде, что очень ценно при поисковых исследованиях новых модификаций объекта-оригинала.

Однако применение аналитических моделей сдерживается необходимостью выполнения ряда достаточно жестких ограничений на используемые в моделях компоненты как функционального, так и параметрического характера, что существенно снижает практическую ценность моделей. Также усложняется нахождение аналитического решения при большой размерности объекта-модели. Поэтому аналитические модели используются для сравнительно несложных структур, отражающих самые главные свойства объекта-оригинала, на начальной стадии абстрагирования от сложного реального объекта к упрощенной схеме исследования.

Имитационное моделирование использует такой способ построения моделей, в котором закладываются определенные принципы, правила, чаще всего функциональные, имеющие место в реальном объекте, в результате чего имитационная модель ведет себя при различных внешних воздействиях на нее идентично оригиналу. Имитационное моделирование имеет более широкий диапазон учета внешних и внутренних влияющих факторов, степени их детерминированности, определенности взаимосвязей и способности к перестройке как структурно, так и параметрически.

Принципиальная разница между аналитическим и имитационным моделированием заключается в том, что в первом случае вначале моделируются соотношения между элементами структуры модели с помощью математического описания, а затем выстраивается целостная модель, представляющая в результате необходимые свойства оригинала. А при имитационном моделировании прежде всего определяются некие семантические правила поведения модели и ее частей по отношению к внешним воздействиям и изменению внутренних процессов, которые справедливы и для исходного объекта-оригинала, а потом только строится математическая модель, причем описание ее чаще всего имеет логико-вероятностный характер, а решение не имеет аналитического выражения в конечном виде.

Нечеткие модели основываются на представлении входных и выходных характеристик объекта-оригинала с некоторой долей неопределенности (нечеткости), которая не может быть описана стохастическими моделями, предсказывающими их значения при помощи законов распределения вероятностей. Математический аппарат, используемый в таких моделях, включает разделы математики, построенные на аксиоматике нечетких множеств. Введение в 1965 году американским математиком Л. Заде термина «*fuzzy*» (нечеткий) [127] и дальнейшее развитие идей формализации понятий и отношений, основанных на нечетких множествах и нечеткой логике, привело в настоящее время к самостоятельному направлению *fuzzy*-технологий, которые активно используются при математическом моделировании в различных отраслях знаний.

Изучение влияния ЧФ на надежность функционирования технических устройств приводит к необходимости введения в модель показателей, характеризующих свойства человека-оператора качественно, формализация которых к традиционной форме точечных оценок существенным образом затруднена ввиду размытости понятий и невозможности точно разграничить различные качественные состояния объекта моделирования. В таком случае в модель необходимо ввести лингвистические переменные и выполнять расчеты с использованием теории нечетких множеств.

Математическая теория нечетких множеств позволяет учитывать в модели качественные характеристики, свойства элементов системы, не сводя их к точечным оценкам, а используя некоторый интервал с оценкой возможности принятия определенных значений. Главное отличие такого подхода от вероятностной интервальной оценки заключается в том, что он требует меньшей априорной информативности о свойствах объекта моделирования.

2.2 Особенности метода имитационного моделирования

Согласно высказыванию Роберта Шеннона, «имитационное моделирование систем – искусство и наука». Имитационное моделирование является экспериментальной и прикладной методологией, имеющей целью: описать поведение системы; построить теории и гипотезы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение; использовать эти теории для предсказания будущего поведения и оценки (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) различных стратегий, обеспечивающих функционирование данной системы [128].

Имитационное моделирование (simulation modeling) – метод исследования объекта-оригинала (А) на объекте-заместителе (Б), его имитирующем по определенным свойствам (характеристикам), существенным при решении поставленных задач. Главное правило при подборе имитатора Б заключается в создании такой его структуры, для которой реакция $R=\{R_i\}$ объекта Б на входные воздействия $V=\{V_i\}$ была сонаправлена (или коллинеарна) реакции объекта А на аналогичные воздействия V.

Полное сопряжение объектов А и Б по всевозможным наборам (V, R) в принципе невозможно, поскольку тогда они должны быть идентичны, то есть объект-заместитель (модель) должен полностью совпадать с оригиналом. Поэтому сходства модели и оригинала добиваются на конечном множестве входных воздействий, а затем модель (объект Б) используется по разработанной схеме в физических (натурных) испытаниях или мысленных (с помощью компьютера) экспериментах для решения поставленных задач. В данной работе физические модели

не рассматриваются, а имитационное моделирование осуществляется в компьютерном виде.

Алгоритм создания и использования имитационной модели представлен на схеме (рисунок 2.2).

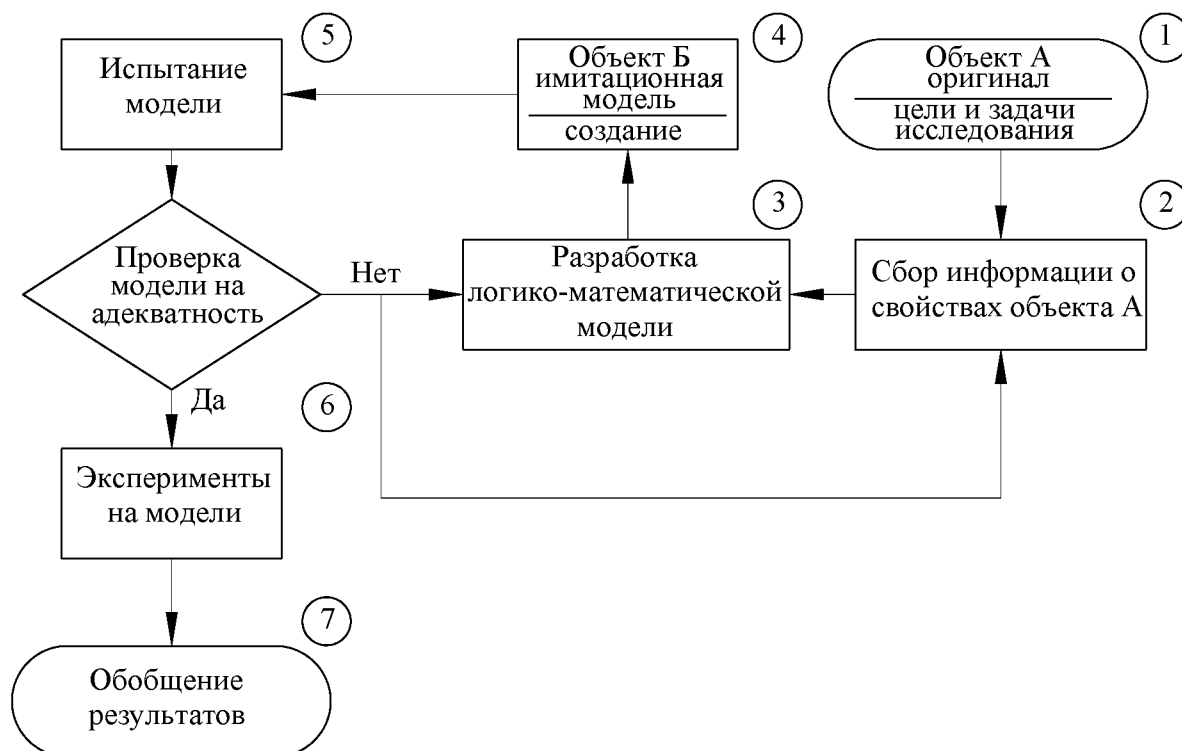


Рисунок 2.2. Схема разработки имитационной модели

В самом общем виде основные этапы можно описать следующим образом:

Шаг 1. Определение цели и задачи исследования.

Здесь должен быть идентифицирован объект исследования А и четко сформулированы цель и задачи, которые необходимо решить для реализации поставленной цели.

Шаг 2. Сбор информации.

На этом этапе важно выделить и описать основные свойства объекта А, необходимые и достаточные для отражения их на объекте-имитаторе Б в рамках поставленных целей.

Шаг 3. Разработка логико-математической модели.

Наиболее трудоемкий этап имитационного моделирования. В качестве инструментария для создания модели используются как классические разделы мате-

матики, так специфические разделы из различных отраслей знаний. Модель на данном этапе является структурированной и математизированной сущностью объекта-оригинала, вычлененной из объекта для научного изучения.

Шаг 4. Разработка имитационной модели Б.

Здесь на основании результатов предыдущего этапа модель преобразуется для проведения с ней имитационных действий. Выбираются программные средства, разрабатывается алгоритм вычислительного эксперимента, который реализуется посредством выбранной программы. Таким образом, именно на этом этапе появляется имитационная модель Б – заместитель оригинала.

Шаг 5. Проведение серии испытаний модели и проверка ее на адекватность.

Испытание модели заключается в проведении серии вычислительных экспериментов для проверки соответствия ее оригиналу в необходимых для исследования объемах. При выявленных неточностях и несоответствии поведения модели ожидаемым результатам возвращаются к этапам Б и В.

Шаг 6. Проведение экспериментов на модели.

Это основная исследовательская часть, в которой непосредственно выполняются имитационные действия. Модель проверяется на устойчивость решения.

Шаг 7. Обобщение результатов.

На завершающем этапе осуществляется анализ результатов экспериментов в компьютерном виде. Выполняется перенос закономерностей с модели на оригинал. Делаются выводы.

Представленный алгоритм может быть реализован разными способами в зависимости от решаемого круга задач. Существует четыре основных подхода (направления) имитационного моделирования [129]:

- динамическое моделирование. Используется для механических или физических процессов, изменяющихся во времени и описываемых алгебраическими, дифференциальными уравнениями и блок-схемами;

- системная динамика. Моделируется поведение сложных систем с обратной связью. Исследуется поведение системы во временных рамках, в зависимости от ее структуры и взаимосвязей элементов системы. Особое место в данном под-

ходе занимают обратные связи, которые создают в системе эффект запаздывания за счет образования петель обратной связи. Как правило, подход используется при изучении сложных систем, включающих от 30 до 30000 переменных [130].

– дискретно-событийный подход – оперирует хронологически последовательными событиями моделируемой системы. События происходят дискретно в определенные моменты времени и характеризуют состояние системы, которое может меняться. События собираются в потоки. В одной системе может быть несколько потоков событий. В таком случае возникают серьезные проблемы с синхронизацией событий по времени. В настоящее время данный подход является одним из наиболее развитых в имитационном моделировании и используется в задачах массового обслуживания [131].

– агентное моделирование – применяется для создания систем, глобальное поведение которых формируется на основании задания свойств отдельных их частных компонент (агентов). В этом случае модель определяется как совокупность агентов – неких сущностей исходного объекта, поведение и взаимосвязь которых подчиняется определенным правилам. Агентное моделирование нацелено на изучение глобальных закономерностей интеллектуальных, децентрализованных и распределенных систем и построения эффективных стратегий управления ими [132].

2.3 Программные средства, используемые в имитационном моделировании

Имитационное моделирование получило свое широкое распространение, прежде всего, ввиду возможности исследовать сложные системы (как по количеству переменных, так и по сложности и нелинейности связей в системе), а с другой стороны, в связи со стремительным развитием информационных технологий, которые позволили автоматизировать процесс создания имитационных моделей и их эксплуатации [133].

Имеющиеся программные средства для целей имитационного моделирования, разбитые по группам, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Программные средства имитационного моделирования [133]

№	Вид ПО	Комментарии
1	Универсальные языки программирования: C++, Delphi, Pascal	Математическая модель – система уравнений, для решения которой пользователь пишет код на универсальном языке. Требуется специальных знаний в области программирования.
2	Специальные языки программирования: GPSS и др.	Пользователь пишет код на специальном языке программирования. Требуется специальных навыков в области программирования.
3	Специализированные компьютерные пакеты: Arena, AnyLogic, GPSS World, VisSim и др.	Не требует программирования последовательности имитационных действий, использует наборы готовых модулей из библиотек. Результат хорошо визуализирован, есть возможности получения оптимальных решений для разных сценариев.
4	Стандартные математические программы: пакет Simulink в Matlab, Mathcad, Mathematica, Excel	Имитационная модель преобразуется к виду, адаптированному к использованию стандартной математической программы, выбираемой в зависимости от желаемой формы результатов. Широкие возможности работы с моделью в нестандартных задачах и в поисковых работах. Возможности выполнения научного анализа и синтеза модели с требуемыми свойствами.

Таким образом, современное развитие методов математики, кибернетики, информационных технологий значительно расширяет возможности изучения сложных динамических систем, достаточно приближенных к реальным, и позволяет решать задачи эффективного управления такими системами.

2.4 Программа наблюдений

Так как любое изучаемое явление характеризуется совокупностью самых разнообразных факторов, то статистическая наработка с учетом полного их перечня нецелесообразна ввиду чрезмерного усложнения, а невозможной из-за огромного объема материала, иной раз трудно учитываемого в практическом

опыте. Следовательно, учету подвергаются лишь основополагающие признаки, обладающие наиболее значительным влиянием и в достаточно полной мере характеризующие исследуемый промышленный объект согласно заложенной цели научных изысканий. При этом целесообразной является разработка программы исследований.

В качестве программы статистических наблюдений выбраны основные признаки регистрации, учитывающие: половые признаки субъектов наблюдений (мужчины и женщины); рабочее место наблюдений в условиях кузнечно-прессового производства; временные факторы, отражающие хронологию выполняемых работ на ОАО «ХК „Лугансктепловоз“»; организационные вопросы, связанные с изменениями в производственном процессе при переходе на выпуск новой продукции, а также виды и способы наблюдений в связи с организационными, техническими, психофизиологическими и комплексными причинами несчастных случаев (рисунок 2.3) [134].

В качестве субъекта наблюдений выступали специально созданные на предприятии органы охраны труда в совокупности с профсоюзным органом и представителями трудового коллектива, что, в сущности, традиционно предусматривается законодательной базой по охране труда и безопасному выполнению работ практически в любом государственном общественно-социальном образовании.

Вопросы достоверности полученных результатов исследований адекватно соотносятся с данными о несчастных случаях, регистрируемых в специальной документации и, в частности, в актах учета несчастных случаев на производстве, заполняемых по форме Н-1.

Отклонения данных наблюдения от действительных фактов в виде ошибок регистрации могут носить случайный или систематический характер [135]. При этом стохастические погрешности взаимно компенсируются, не приводя к существенно значимым искажениям обобщенных результатов, когда систематические погрешности из-за большой степени искажения результатов должны быть преимущественно исключены из статистических выборок.

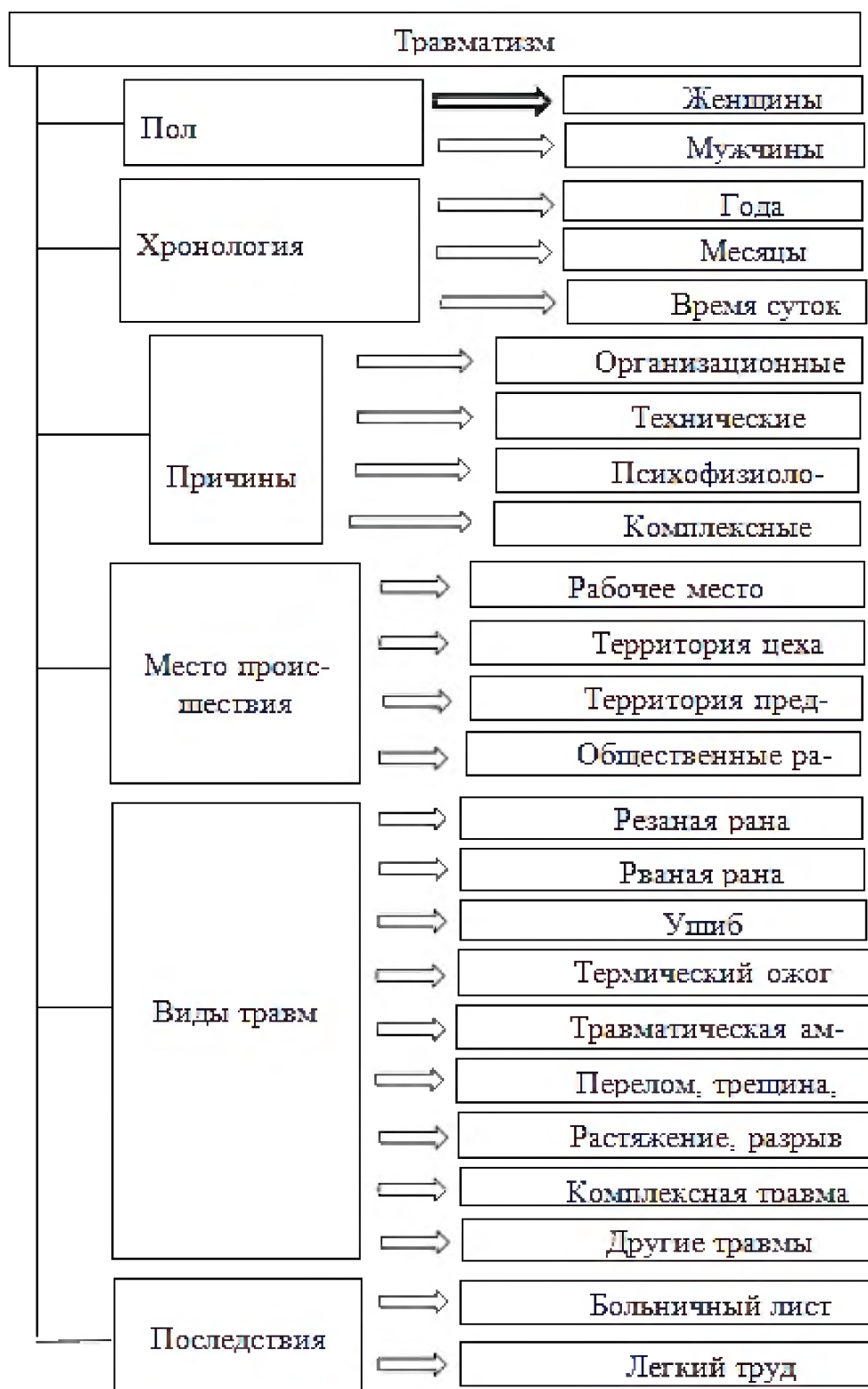


Рисунок 2.3 Программа наблюдений

Точность наблюдений достигается на основе разработки общей методики исследований, учитывающей документальную фиксацию изучаемых явлений за одни и те же периоды времени в пределах одних и тех же производственных зданий и выполняемых технологических операций, что достигается расчетным опре-

делением относительных величин и рядов их совокупностей. Для этого на основе генеральной совокупности случайным образом выбираются события, для которых расчетным путем находятся обобщенные, характеризующие их, показатели.

Ввиду повышения точности исходных данных (что связано с нестабильностью работы предприятия) в разное время производятся выборочные наблюдения. Для этого из генеральной совокупности (числа несчастных случаев) логическим путем выбираются лишь те, которые удовлетворяют обоснованным решениям [136, 137].

В частности, материалы актов по форме Н-1 в промежуток времени с 1980 по 2004 годы по расследованию причин производственного травматизма в ОАО «ХК „Лугансктепловоз“» исключают «лучшие» и «худшие» промежутки, что обеспечивает повышение точности результатов за счет учета деятельности предприятия только в установившийся период его работы для исключения случайных ошибок и повышения стабильности получаемых результатов.

2.5 Основные методы определения травматизма

Статистический метод основан на использовании статистической отчетности предприятий по травматизму, т. е. данных актов по форме Н-1. Общее состояние травматизма определяют за определенный период времени следующие показатели травматизма.

Коэффициент частоты несчастных случаев, приходящихся на 1000 рабочих за определенный период времени, определяются по формуле [139]

$$K_{\text{ч}} = \frac{H \cdot 1000}{P},$$

где H – число несчастных случаев за отчетный период;

P – списочное число рабочих.

Коэффициент тяжести несчастных случаев, характеризующий среднюю длительность нетрудоспособности, приходящуюся на один несчастный случай (НС) [5]:

$$K_T = \frac{D}{H},$$

где D – суммарное число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям.

Коэффициент смертности [5] находится из выражения

$$K_C = \frac{H_C \cdot 1000}{P},$$

где H_C – количество несчастных случаев со смертельным исходом.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших с женщинами:

$$K_{Ж} = \frac{H}{P_{СЖ}},$$

где $P_{СЖ}$ – списочное число женщин.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших с мужчинами:

$$K_M = \frac{H}{P_{СМ}},$$

где $P_{СМ}$ – списочное число мужчин.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших по техническим причинам:

$$K_T = \frac{H}{P_{ТП}},$$

где $P_{СМ}$ – число несчастных случаев, произошедших по техническим причинам.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших по организационным причинам:

$$K_O = \frac{H}{P_{OP}},$$

где P_{OP} – число несчастных случаев, произошедших по организационным причинам.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших по психофизиологическим причинам:

$$K_{ПФ} = \frac{H}{P_{ПФ}},$$

где $P_{ПФ}$ – число несчастных случаев, произошедших по психофизиологическим причинам.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших по комплексу причин:

$$K_{КП} = \frac{H}{P_{КП}},$$

где $P_{КП}$ – число несчастных случаев, произошедших по комплексу причин.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших по месту происшествия:

$$K_{МП} = \frac{H}{P_{МП}},$$

где $P_{МП}$ – число несчастных случаев, произошедших по месту происшествия.

Коэффициент частоты несчастных случаев, произошедших по сроку времени от начала работы:

$$K_{HP} = \frac{H}{P_{HP}},$$

где P_{HP} – число несчастных случаев, произошедших по сроку времени от начала работы.

Коэффициент частоты групповых несчастных случаев:

$$K_{\Gamma} = \frac{H}{P_{\Gamma H}},$$

где $P_{\Gamma H}$ – число групповых несчастных случаев.

Топографический метод состоит в изучении причин несчастных случаев по месту их происшествия. На планы предприятий (цехов, рудников, карьеров, стройплощадок и т. п.) наносят условные знаки о происшедших несчастных случаях, в результате чего видны наиболее травмоопасные места, требующие разработки мероприятий по охране труда [139].

Экономический метод заключается в определении потерь, вызванных травматизмом. Потери предприятия в основном включают в себя такие статьи расходов: недоданная продукция, простои, испорченный материал, ремонт средств производства, выплаты пострадавшим, снижение производительности, обучение вновь принятых, материальные издержки расследования несчастных случаев. В целом государственные потери дополнительно связаны с уменьшением числа рабочих, расходами на лечение, оплатой нетрудоспособности, социальным обеспечением семей пострадавших, судебными издержками. Этот метод позволяет перераспределять материальные средства, направляемые на обеспечение безопасности разных отраслей производства [139].

Монографический метод заключается в детальном изучении условий труда с использованием современных методов исследования и средств измерения. При этом изучается состояние помещений, оборудования, средств защиты, проводятся их испытания. При этом выявляются не только причины, которые привели к несчастным случаям, но и те, которые могут привести к ним [139].

2.6 Анализ результатов программными средствами

Для снижения трудоемкости исследовательских работ рациональным подходом является применение современных программных продуктов на основе компьютерной обработки информации, обеспечивающих повышение наглядности статистических данных, например, в виде различных графических зависимостей. Это позволяет систематизировать несчастные случаи, произошедшие на производстве по разнообразным признакам: виду отрасли производства, профессиональной принадлежности пострадавшего, имеющегося стажа его работы, возрастным категориям, половой принадлежности, времени происшествия и др. Это в последующем способствует применению наиболее эффективных мер по безопасному выполнению работ.

Специально разработанные специфические программные продукты для обработки данных, такие как Matlab, Mathcad, Mathematica, Maple и подобные, хоть и обеспечивают высокий уровень обработки результатов, однако требуют значительных навыков и квалификации, что требует больших затрат времени на их освоение. Применение типового стандартного приложения системы Office, а именно Microsoft Excel [6], позволяющего активно и с минимальными трудозатратами производить построение графиков различных типов на основе заполнения электронных таблиц информационными данными, полученными в ходе экспериментальных исследований. Основным преимуществом использования Microsoft Excel является тот факт, что изучение работы данной программы входит в большинство программ высшего образования, а следовательно, является более доступным широкому кругу исследователей.

Наиболее эффективно отражающими приведенные материалы и широко распространенные виды графических зависимостей в среде Microsoft Excel выступают линейные и криволинейные отображения изучаемых величин в зависимости от требуемых параметров. Как указывалось выше, в качестве таких параметров выступают разновидности травм, представленные на рисунке 2.3, выбранные согласно установленной программе исследований.

Табличный вид распределения количества травм в кузнечно-прессовом производстве (КПП) по месяцам и по годам дает наглядный характер, количественно отражающий суть изучаемых явлений. При этом легко определить число несчастных случаев, однако динамика их развития во времени является несколько затрудненной из-за отсутствия элементов визуализации протекания таких процессов.

Представление результатов в виде точечных диаграмм, линейных, ломаных или плавных кривых обладает тем преимуществом, что носит более существенный наглядный характер и позволяет легко анализировать протекание их на временной шкале, интервалы которой задаются в соответствии с задачами исследований. Применение принципа наложения данных в одних и тех же временных интервалах обеспечивает повышение наглядности в сравнительном анализе выявления несчастных случаев в разные периоды времени. Кроме того, при построении криволинейной зависимости возможно программное осреднение результатов на основе автоматического создания линии тренда, создаваемой согласно алгоритму, заложенному в программный код самой среды Microsoft Excel.

Для распределения количества травм в КПП по месяцам на разных периодах времени при графическом анализе общего количества НС, а также НС среди мужчин и женщин в качестве более наглядного вида визуализации информации применяется столбиковая диаграмма, где по величине размаха столбов обеспечивается повышение наглядности визуального сравнительного восприятия.

В качестве обобщения результатов исследований возникновения и распределения причин травматизма в КПП (организационным; техническим; психофизиологическим и их комплексному влиянию и т. п.) рационально применение круговых секторных диаграмм, наглядно показывающих особенности вноса вклада таких причин в процентном соотношении на основе взаимной пропорциональности объема и площадей визуализируемых секторов.

Кроме того, при таком походе к анализу полученной информации возможна максимально легкая аппроксимация экспериментальных данных методами и алгоритмами Microsoft Excel, когда путем активации соответствующей команды про-

граммная среда автоматически предлагает вариант математической модели описания полученной графической зависимости, по желанию пользователя отображаемой в виде формулы рядом с соответствующим графиком.

Аппроксимация полученного набора числовых данных проводится на основе отображаемой диаграммы, когда осуществляется подбором необходимой функции линии тренда (аппроксимации). При этом могут быть реализованы такие разновидности математических моделей, указанные ниже.

Линейная зависимость [139] чаще всего используется в простых случаях, при убывании или возрастании экспериментальных значений или убывании с постоянной скоростью:

$$y = a \cdot x + b,$$

где y – функция цели (отклика);

x – исследуемый параметр, оказывающий влияние на функцию отклика;

a и b – коэффициенты пропорциональности, влияющие на форму линии тренда.

Полиномиальная модель [139] реализуется, когда данные экспериментов то возрастают, то убывают:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots a_n \cdot x^n,$$

где a_i – константы;

$(n \leq 6)$ – показатель степени, определяющий число экстремумов.

Логарифмическая зависимость [139], описывающая характер кривой, при быстро растущих или убывающих значениях, которые впоследствии стабилизируются:

$$y = a_1 \cdot \lg x + b,$$

где a и b – константы.

Степенная функция [139], применяемая, если данные экспериментов возрастают или убывают с постоянной скоростью при значениях больше нуля:

$$y = a_1 \cdot b,$$

где a и b – константы.

Экспоненциальная зависимость [139] для постепенно стабилизирующихся первоначально быстро возрастающих и быстро убывающих значений:

$$y = b \cdot e^{a \cdot x},$$

где a и b – константы;

e – основание натурального логарифма.

При различных вариантах моделей аппроксимирующих зависимостей рационально использовать функцию, характеризующуюся значительным коэффициентом детерминации (стремящимся к единице).

С целью визуальной реализации варианта аппроксимации на экспериментальном графике в среде Microsoft Excel вызывается кнопкой мыши контекстное меню, где выбирается функция «Добавить линию тренда». Потом в выпадающем окне диалога «Линия тренда» выбирается тип аппроксимирующей зависимости. При этом в меню «Параметры» имеется возможность влияния на визуализацию кривой аппроксимации.

2.7 Алгоритмы идентификации законов распределения наработки на отказ

Машины металлургического цикла обычно включены в какую-либо производственную линию, состоящую из набора технологических агрегатов, выполняющих различные технологические функции. Основным требованием к оборудованию этих технологических линий является обеспечение таких режимов работы, которые позволяли бы безотказно выполнять все технологические функции. Обеспечить рациональный режим их функционирования, когда показатели

надежности всех без исключения входящих в них агрегатов имеют различные характеристики надежности, практически невозможно. Структурные единицы, включаемые в рассмотрение, имеют неоднородные характеристики. При построении модели подобной линии отдельные элементы соединяются в последовательные цепи, другие – в параллельные, а в целом – в комбинированные.

Разнообразие физических основ, на которых построены рассматриваемые технические объекты, и принципов их функционирования обусловило применение адекватных им методов и алгоритмов прогнозирования. Наиболее наглядным является прогнозирование функционирования объектов, поведение которых можно описать детерминированными функциями в пределах погрешностей измерения.

В зависимости от решаемой задачи степень детализации элементного состава может изменяться в широких диапазонах. Элементы сложной системы путем декомпозиции разделяются на составляющие. Степень декомпозиции определяется принятой на том или ином производственном участке степенью документированности причин отказов.

Структура отказов оказывается существенно неоднородной, особенно для относительно нового оборудования, по которому информация об отказах может оказаться ограниченной.

Поэтому для описания статистики наработки на отказ и определения закона распределения случайных величин требуются выборки достаточного количества случаев, что не всегда и не для всех элементов выполнимо. Поэтому при построении алгоритмов обработки массивов информации ставилась задача применения таких критериев, которые гарантировали бы определение закона распределения с требуемой достоверностью при ограниченном объеме информации.

Реальные законы распределения случайных величин зачастую обладают различными отклонениями от канонических, поэтому анализирующий алгоритм должен обладать способностью критериальной оценки степени соответствия информационного потока случайной величины тому или иному закону распределения.

Для описания характерных задач математической теории надежности восстанавливаемых технических систем необходимо произвести выбор функции распределения наработок элементом до отказа в процессе восстановления, нахождение функции восстановления и определение оптимальной стратегии эксплуатации по критерию минимума интенсивности эксплуатационных затрат. В теории надежности технических систем первичными понятиями являются случайная наработка (время) элемента (системы) до отказа и ее функция распределения. Именно они задают важнейшее понятие в теории надежности – процесс восстановления.

Для многих классических законов распределения, например экспоненциального, Вейбулла, Эрланга, гамма-распределения, нормального, усеченного нормального, логарифмически нормального, обратного гауссовского, Релея, эти задачи хорошо исследованы.

В работе применены следующие алгоритмы идентификации законов распределения наработки на отказ.

Нормальный закон распределения определяем критерием Мартинеса – Иглевича. Этот критерий применим для асимметричных случаев, при наличии отклонений от нормального в виде «хвостов» или эксцесса.

Критерий основан на отношении двух оценок дисперсии обычной и так называемой робастной, двухвесовой.

Робастная, устойчивая к выбросам оценка дисперсии имеет вид

$$\tilde{s}^2 = \frac{n \sum_{|z_i| < 1} (x_i - \tilde{x})^2 (1 - z_i^2)^4}{\left\{ \sum_{|z_i| < 1} (1 - z_i^2)(1 - 5z_i^2) \right\}^2}, \quad (2.1)$$

где

$$z_i = \begin{cases} \frac{x_i - \tilde{x}}{9 \text{med} |x_i - \tilde{x}|}, & \text{при } |z_i| < 1; \\ 0, & \text{при } |z_i| \geq 1; \end{cases} \quad (2.2)$$

\tilde{x} – выборочная медиана; $\text{med}(\dots)$ – медиана ряда в скобках.

В качестве статистики используется отношение дисперсий [140]

$$I = \frac{s^2}{\tilde{s}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1) \cdot \tilde{s}^2} = \frac{1}{n(n-1)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \left\{ \sum_{|z_i| < 1} (1 - z_i^2)(1 - 5z_i^2) \right\}^2}{\sum_{|z_i| < 1} (x_i - \tilde{x})^2 (1 - z_i^2)^2} \quad (2.3)$$

При справедливости нулевой гипотезы $H_0: M = 0,982$. Критические значения статистики для уровней достоверности $\alpha = 0,90$ и $\alpha = 0,95$ могут быть найдены из соотношений:

$$\Gamma^*(0,9) = 0,6376 - 1,1535n^* + 0,1266n^{*2}; \quad (2.4)$$

$$\Gamma^*(0,95) = \begin{cases} 1,9065 - 2,5465n^* + 0,5652n^{*2}, & n > 50; \\ 0,7824 - 1,1021n^* + 0,1021n^{*2}, & n \leq 50; \end{cases} \quad (2.5)$$

где $n^* = \lg(n-1)$; $\Gamma^*(\alpha) = \lg[I(\alpha) - 0,982]$.

Этот критерий является более мощным для альтернатив с длинными «хвостами» по сравнению с большинством других критериев.

Критерий экспоненциальности Фроцини, основанный на статистике $B_n(\alpha)$, определяется как

$$B_n = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n \left| 1 - \exp\left(-\frac{x_i}{x}\right) - \frac{i-0,5}{n} \right|, \quad (2.6)$$

Критические значения статистики B_n приведены в [140].

При $B_n \geq B_n(\alpha)$ гипотеза экспоненциальности распределения отклоняется.

Этот критерий не уступает другим при $n \geq 20$ и превосходит при $n > 50$.

Критерий Манн-Фертг-Шуера для распределения Вейбулла

Закон распределения Вейбулла

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right)^\beta$$

при $\beta = 1$ совпадает с экспоненциальным.

Критерий был предложен авторами применительно к задаче испытаний изделий на долговечность.

Если t_1, t_2, \dots, t_r – первые r порядковых статистик наработки на отказ при испытании выборки изделий объема $n \geq r$, то статистика критерия имеет вид

$$K = \frac{\sum_{i=\left[\frac{r+1}{2}\right]}^{r-1} a_i^{-1}(x_{i+1} - x_i)}{\sum_{i=1}^r a_i^{-1}(x_{i-1} - x_i)}$$

где: $x_i = \ln t_i$; $\left[\frac{r}{2}\right]$ – наибольшее целое число $\leq \frac{r}{2}$; a_i – коэффициент критерия в согласии Манн-Фертиг-Шуера для распределения Вейбулла, приведенные в [140].

Гипотеза согласования эмпирического распределения с двухпараметрическим распределением Вейбулла отклоняется, если:

$$K > K_\alpha(r, n), \quad (3.9)$$

где $K > K_\alpha(r, n)$ – критическое значение статистики для доверительной вероятности α (при известных результатах отказов r изделий n), указанное в [140].

Фроцини предложил простой, но достаточно мощный критерий нормальности с параметрами, которые оцениваются по выборке основанной на статистике:

$$B_n = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n \left| \Phi(z_i) - \frac{i-0,5}{n} \right| \quad (3.10)$$

где $z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$; $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$; $\Phi(z_i)$ – функция распределения $N(0,1)$..

Критические значения статистики B_n приведены в [140].

Материалы настоящего раздела опубликованы в следующих научных работах [126].

Выводы

1. Для решения задач, особенно в системах, исследующих сочетания свойств человека во взаимодействии с техническими устройствами, при выборе математических моделей наиболее эффективен подход, сочетающий достоинства нескольких методов. В данной работе используются аналитические и имитационные модели по схеме наращивания сложности моделей.

2. В данной работе применялось агентное моделирование с элементами динамического моделирования. При этом динамические модели в форме систем дифференциальных уравнений позволят оценить сочетание параметров системы, при которых решение будет устойчивым, а мультиагентные модели помогут воспроизвести различные варианты, найти закономерности поведения сложной системы «человек – машина» и определить оптимальные параметры модели и эффективные режимы работы оператора в различных ситуациях.

3. Из-за чрезмерной сложности (невозможности) учету производственного травматизма подвергаются лишь основополагающие, наиболее значимые факторы, в существенной мере характеризующие исследуемый промышленный объект.

4. Для наиболее полного учета несчастных случаев предусматривается программа проведения экспериментальных исследований в условиях установившегося режима работы предприятия ОАО «ХК „Лугансктепловоз“».

5. Основным инструментом повышения безопасного уровня выполнения работ в КПП являются методы учета производственного травматизма.

6. Существенное упрощение трудоемкости исследовательских работ и повышение наглядности статистических результатов возможны на основе компьютерной обработки информации в приложении среды Microsoft Excel, входящем в стандартный пакет среды Microsoft Office, при этом обеспечивается аппроксимация экспериментальных данных по графическим зависимостям, что обеспечивает простоту получения математических моделей изучаемых процессов.

7. При идентификации законов распределения наработки на отказ были выбраны критерии, применимые для выборки с ограниченным числом членов, это было определяющим фактором при их применении.

РАЗДЕЛ 3.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ

3.1 Описание автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования

Машины и агрегаты металлургических предприятий обычно включены в какую-либо производственную линию, состоящую из набора технологических агрегатов, выполняющих различные технологические функции. Основным требованием к оборудованию этих технологических линий является обеспечение таких режимов работы, которые позволяли бы безотказно выполнять все технологические функции. Обеспечить рациональный режим их функционирования, когда показатели надежности всех без исключения входящих в них агрегатов имеют различные характеристики надежности, практически невозможно. Структурные единицы, включаемые в рассмотрение, имеют неоднородные характеристики. При построении модели подобной линии отдельные элементы соединяются в последовательные цепи, другие – в параллельные, а в целом – в комбинированные [141, 142].

Разнообразие физических основ, на которых построены рассматриваемые технические объекты, и принципов их функционирования обусловило применение адекватных им методов и алгоритмов прогнозирования. Наиболее наглядным является прогнозирование функционирования объектов, поведение которых можно описать детерминированными функциями в пределах погрешностей измерения.

В зависимости от решаемой задачи степень детализации элементного состава может изменяться в широких диапазонах. Элементы сложной системы

путем декомпозиции разделяются на составляющие. Степень декомпозиции определяется принятой на том или ином производственном участке степенью документированности причин отказов.

Структура отказов оказывается существенно неоднородной, особенно для относительно нового оборудования, по которому информация об отказах может оказаться ограниченной.

Поэтому для описания статистики наработки на отказ и определения закона распределения случайных величин требуются выборки достаточного количества случаев, что не всегда и не для всех элементов выполнимо. Поэтому при построении алгоритмов обработки массивов информации ставилась задача применения таких критериев, которые гарантировали бы определение закона распределения с требуемой достоверностью при ограниченном объеме информации.

Реальные законы распределения случайных величин зачастую обладают различными отклонениями от канонических, поэтому анализирующий алгоритм должен обладать способностью критериальной оценки степени соответствия информационного потока случайной величины тому или иному закону распределения.

Для описания характерных задач математической теории надежности восстанавливаемых технических систем, выбор функции распределения наработок элементом до отказа в процессе восстановления, нахождение функции восстановления и определение оптимальной стратегии эксплуатации по критерию минимума интенсивности эксплуатационных затрат. В теории надежности технических систем первичными понятиями являются случайная наработка (время) элемента (системы) до отказа и ее функция распределения. Именно они задают важнейшее понятие в теории надежности – процесс восстановления.

При эксплуатации машин и агрегатов металлургического оборудования неизбежны возникновение повреждений или нарушения работоспособности его

отдельных элементов, даже если отсутствуют дефекты при изготовлении и соблюдаются правила эксплуатации. Это связано с условиями эксплуатации оборудования: высокие температуры, динамические нагрузки, высокая загазованность и запыленность, высокая коррозионная активность, наличие температурных перепадов и сложного напряженного состояния металла оборудования. Все перечисленные факторы приводят к выходу из строя оборудования или отказу [143].

Отказы металлургического оборудования можно разделить на:

- механические;
- технологические;
- нарушения при эксплуатации, изготовлении оборудования.

Если механические отказы зависят от повреждений самих элементов оборудования, то технологические и отказы, вызванные нарушениями при эксплуатации, напрямую или косвенно связаны с ЧФ.

Целью создания автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования является заблаговременное предупреждение ремонтных служб о выходе из строя детали, узла или машины, что, в свою очередь, позволит своевременное и качественное ремонтное воздействие на эксплуатируемое металлургическое оборудование (МО).

Данная система состоит из двух крупных блоков. Первый блок, назовем его А, отвечает за накопление и хранение данных наработок на отказ всех элементов агрегата. Второй блок, назовем его Б, отвечает за расчет показателей надежности, используя статистические данные из первого блока, выдает предупреждения о скором выходе из строя элемента системы, опираясь на методику статистической теории надежности (рисунок 3.1). В системе предусмотрены математические методы расчета показателей надежности, определяющие принадлежность законам распределения наработки на отказ при наличии малого количества численных значений выборки [140].



Рисунок 3.1. Схема описания системы прогнозирования отказа оборудования

Исходя из того, что срок службы – это случайная величина, для ее описания необходимо использовать вероятностные модели. Вероятность отказа $\sigma(t)$ есть вероятность того, что в пределах заданной наработки t возникает отказ и объект с начала эксплуатации проработает время τ , меньшее t , т. е. $Q(t) = p(\tau < t)$. Связи между вероятностями отказа и безотказной работой $Q(t) = 1 - P(t)$. В теории надежности применяют понятие плотности вероятности отказа в достаточно малую единицу времени. Плотность вероятности определяется как первая производная от вероятности отказа

$$f(t) = dQ(t)/dt = -dP(t)/dt [45].$$

Если вести отсчет времени от текущего момента τ (время, до которого объект уже эксплуатировался), то $P(t/\tau)$ будет характеризовать остаточный ресурс.

Необходимо разделить теоретическое и эмпирическое распределение вероятностей. При наличии статистических данных построить эмпирическое распределение не составит труда, но, чтобы его использовать для установления теоретического распределения, требуются большие объемы данных. В связи с этим все выводы о теоретическом распределении делают, анализируя природу данных, характер процессов, приводящих к предельному состоянию [144–149].

При анализе и расчетах надежности одной из необходимых операций является установление на основании статистических данных закона распределения вероятности наработки объекта на отказ или других случайных величин – времени восстановления, числа отказов за некоторый период эксплуатации, срока службы и др.

Законы распределения наработок на отказ, которые использовались в системе:

- нормальный закон распределения – по критерию нормальности Мартинеса – Иглевича;
- экспоненциальный закон распределения – по критерию экспоненциальности Фроцини;
- распределения Вейбулла – по критерию Манна – Фертига – Шуера;
- равномерный закон распределения – по критерию Фроцини.

Данная система может определить такие показатели, как: вероятность безотказной работы в течение определенного времени $P(t)$; гамма-процентная наработка до отказа $t\gamma$; средняя наработка до отказа T_1 (для статистических задач \bar{T}_1); средняя наработка на отказ T (для статистических задач \bar{T}); частота отказов $f(t)$; интенсивность отказов $\lambda(t)$; параметр потока отказов $\mu(t)$ и др.

Вернемся к блоку А (рисунок 3.1). Электронный агрегатный журнал выполняет те же функции, что и бумажный носитель, а именно: накапливает данные о техническом состоянии и работоспособности действующего оборудования в процессе эксплуатации; является основным исходным документом для установления характера и объема работ периодического ТО и ремонтов, сроков службы узлов и деталей оборудования, а также работ по совершенствованию оборудования. Преимущество электронного агрегатного журнала (рисунок 3.2) – работает по сети: можно открыть доступ для просмотра данных различным службам, установить ограничение о внесении или изменении данных согласно должностным инструк-

циям, и самое главное – вся база статистических данных (сроки службы деталей, узлов, сборочных единиц) по запросу передается в блок Б (рисунок 3.1) для проведения дальнейших расчетов.

В агрегатном журнале для каждого агрегата имеется своя структура, в которую входят: машина, узел, механизм, сборочный узел, деталь (рисунок 3.3).

№ п/п	Дата технического осмотра	Наименование узла	Результаты осмотра, краткая характеристика дефектов	Табельный номер и электронная подпись лица производившего осмотр

Дата и вид ТОиР	Перечень работ, выполняемых для устранения дефектов	Узлы и детали замененные при ТОиР			Причина выхода из строя	Табельный номер и электронная подпись лица производившего ремонт
		наименование	количество	Срок службы, месяц		

Рисунок 3.2. Вид агрегатного журнала

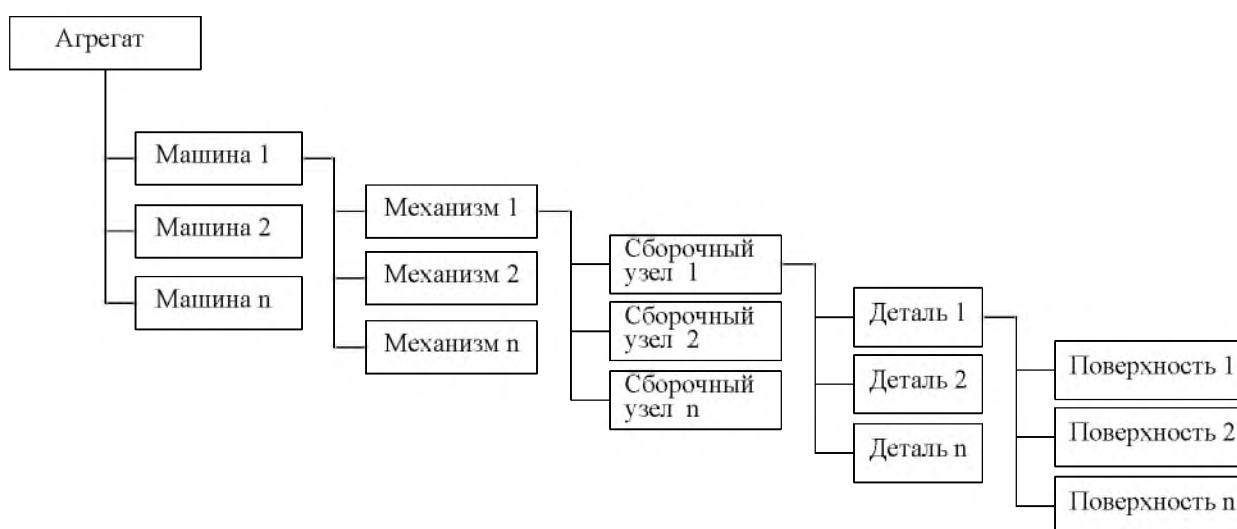


Рисунок 3.3. Структура элементов электронного агрегатного журнала

Внедрение данной системы позволит повысить культуру планирования всех видов ремонтов, уменьшить аварийные выходы из строя узлов механизмов, уменьшить время восстановления после отказов за счет грамотно спланированных ремонтов. Все вышеперечисленное приведет к повышению коэффициента готовности оборудования.

3.2 Разработка компьютерной программы расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли

В результате теоретических [150, 151, 142, 152] и экспериментальных [153] исследований обоснована необходимость учитывать в математической модели определения вероятности безотказной работы металлургического оборудования психофизиологических характеристик человека-оператора путем введения в перечень событий, которые приводят к возникновению аварийной ситуации, и в «дерево рисков» причинения вреда здоровью работника отдельно или в совокупности их показателей, влияющих на вероятность его вынужденных и невынужденных отказов (ошибок) [154, 155, 156]. Это позволило на основе усовершенствованной математической модели изменения показателя безотказности и производственного риска разработать универсальное программное обеспечение. Данное программное обеспечение позволяет путем моделирования отказов не только основного и вспомогательного оборудования, но и ЧФ под совокупным воздействием вредных и опасных факторов производственной среды, осуществлять прогнозирование показателей надежности как при разработке и проектировании металлургических цехов и внедрении новых технологий и оборудования, так и при их одновременной эксплуатации с «устаревшим» оборудованием [157–159].

При создании алгоритма учитывался опыт, изложенный в работах [160–163].

При проектировании, реализации и построении экспертной системы, а также формировании базы данных, хранения и обработки полученных результатов учитывался опыт, изложенный в работах [164–175].

В основу программы положена идея использования блок-схемы (рису-

нок 3.4) причинно-следственной связи.

Алгоритм моделирования (рисунок 3.5) разработанной компьютерной программы, зарегистрированной в установленном порядке (Приложение А), составляется из последовательных шагов, ведущих к решению поставленных задач по: определению вероятности отказов деталей, узлов, промежуточного узла, машин и механизмов, формирующих рабочее место (РМ), в состав которого может входить несколько единиц оборудования; формированию данных об остаточном ресурсе детали, узла, машины; определению риска причинения вреда здоровью с учетом «машинных» и «человеческих» факторов на конкретном рабочем месте.

В блоке «Организационные факторы» их необходимо выбрать из перечня существующих и обнаруженных на рабочем месте факторов, их достоверности причинения вреда здоровью (прилагается интервал $\max\text{--}\min$). Если необходимый фактор отсутствует в перечне, его можно внести в базу, которая имеет количество ячеек от 0 до бесконечности. Например, такие как «прикосновение к токоведущим частям кузнечно-прессового оборудования» с $P(t) = 5 \cdot 10^{-4}$ или «травмирование в процессе штампования при падении изделия» с $P(t) = 3 \cdot 10^{-4}$.

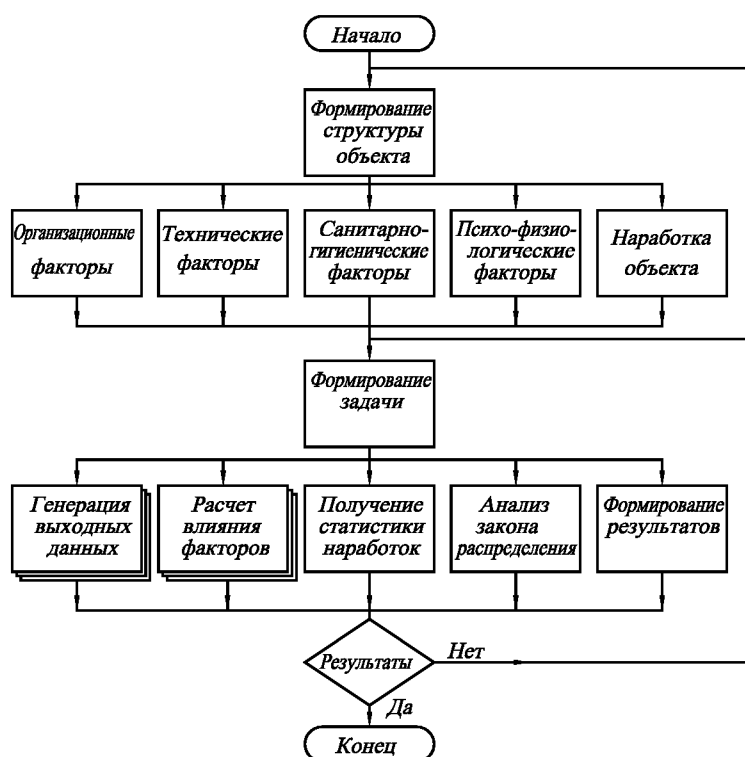


Рисунок 3.4. Укрупненная блок-схема алгоритма моделирования

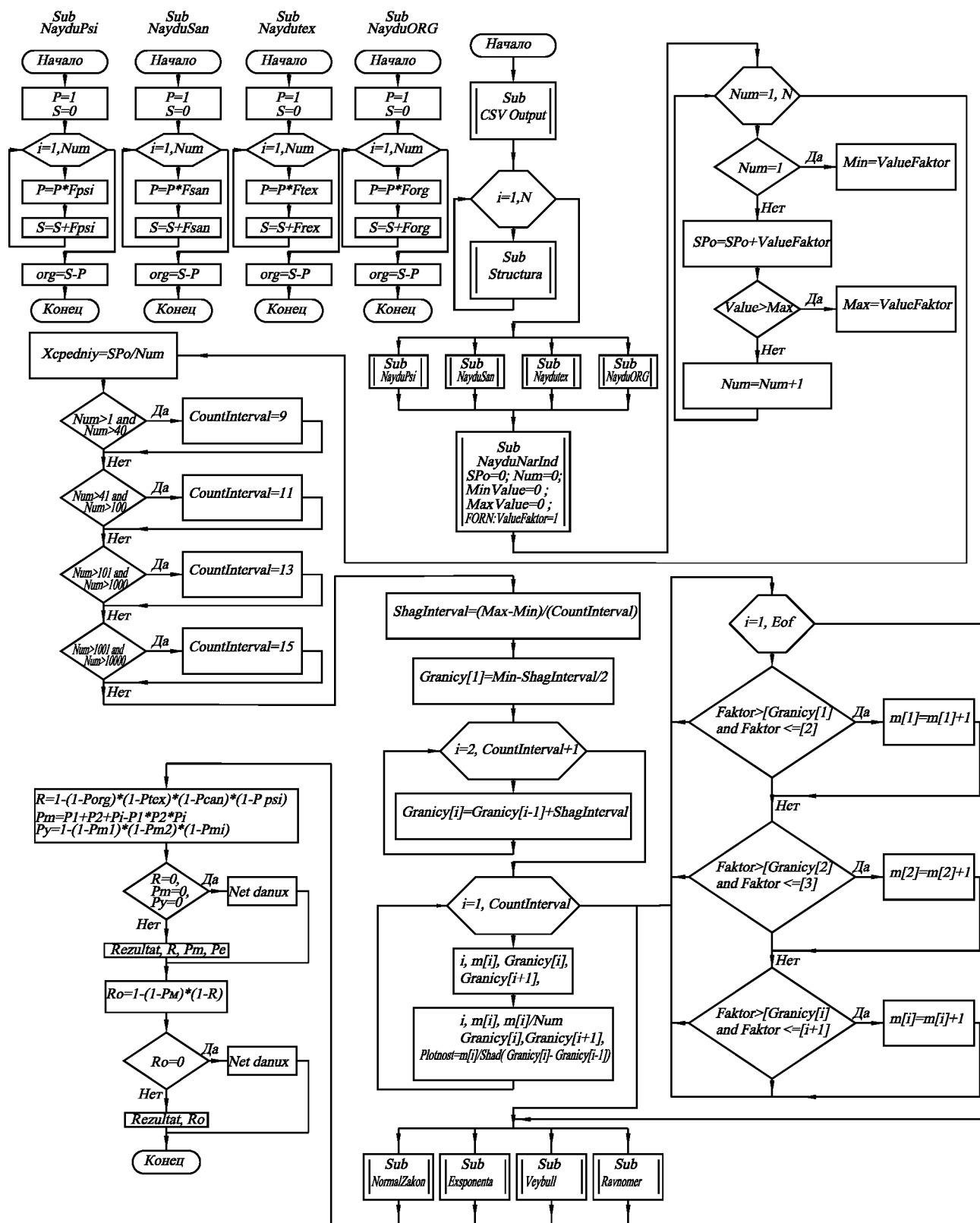


Рисунок 3.5. Алгоритм моделирования компьютерной программы

3.3 Описание работы отдельных блоков программы

В блоке «Наработка объекта» необходимо внести для заданной машины, узла, промежуточного узла, детали, поверхности или ее части значение наработки на отказ. Данный параметр можно вводить в часах, сутках, неделях, месяцах и др., при этом необходимо указать дату вероятного отказа узла или импортировать необходимый прецедент из базы данных.

В блоке «Генерация исходных данных» выполняется систематизация введенных значений.

В блоке «Расчет влияния факторов» выполняются расчеты совокупного воздействия вредных и опасных производственных факторов на вероятность причинения вреда здоровью человека-оператора.

В блоке «Получение статистики наработки» выполняется расчет статистических данных наработки на отказ по выбранному объекту или набору объектов.

В блоке «Анализ закона распределения» выполняется критериальный анализ для определения закона распределения наработки на отказ, при этом используются такие критерии оценки:

- нормальный закон распределения – по критерию нормальности Мартинеса – Иглевича (рисунок 3.6);
- экспоненциальный закон распределения (рисунок 3.7) – по критерию экспоненциальности Фроцини;
- критерий Манна – Фертига – Шуера (рисунок 3.8) для распределения Вейбулла;
- критерий Фроцини (рисунок 3.9) для равномерного закона распределения.

В блоке «Формирование результатов» (рисунок 3.5) их можно выводить на экран или экспортировать в различные форматы данных. Данные представляются в виде таблиц, текста или диаграмм, гистограмм и графиков [176].

В конечном итоге значение вероятности причинения вреда здоровью работника определяется с учетом «технических» и «человеческих» отказов на конкретном рабочем месте или производственного риска. Полученное значение можно

корректировать в зависимости от результатов выполнения мероприятий по улучшению условий труда [177].

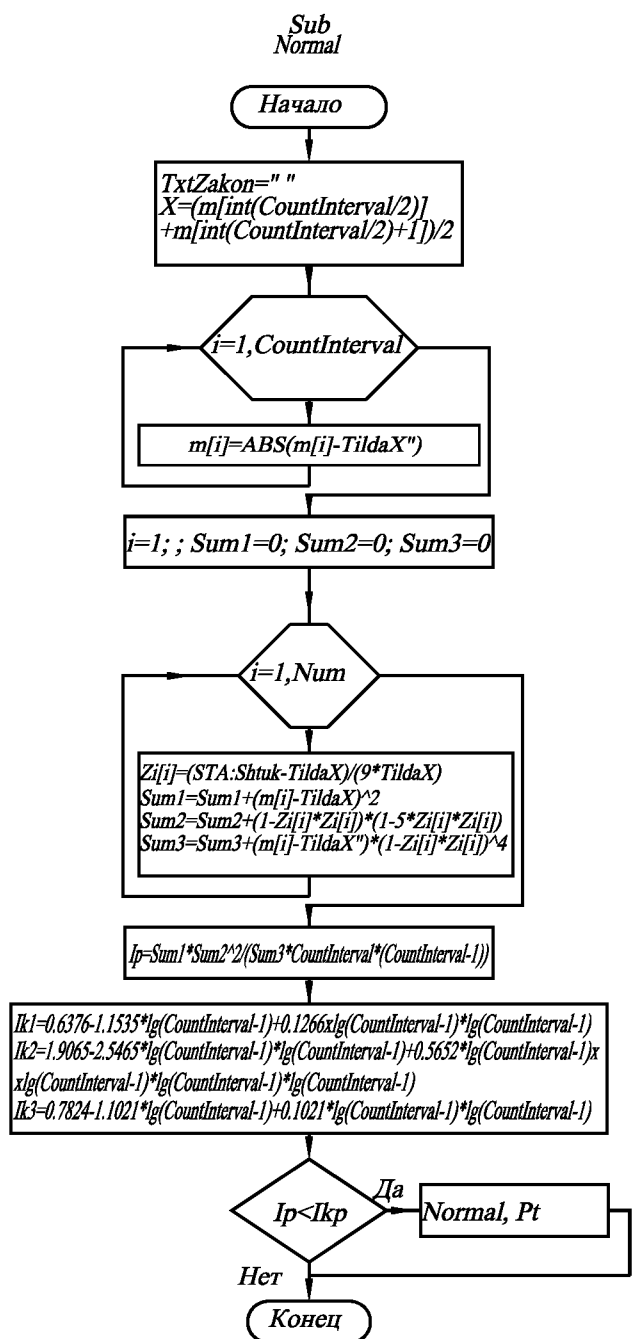


Рисунок 3.6. Алгоритм моделирования критерия нормальности Мартинеса – Иглевича

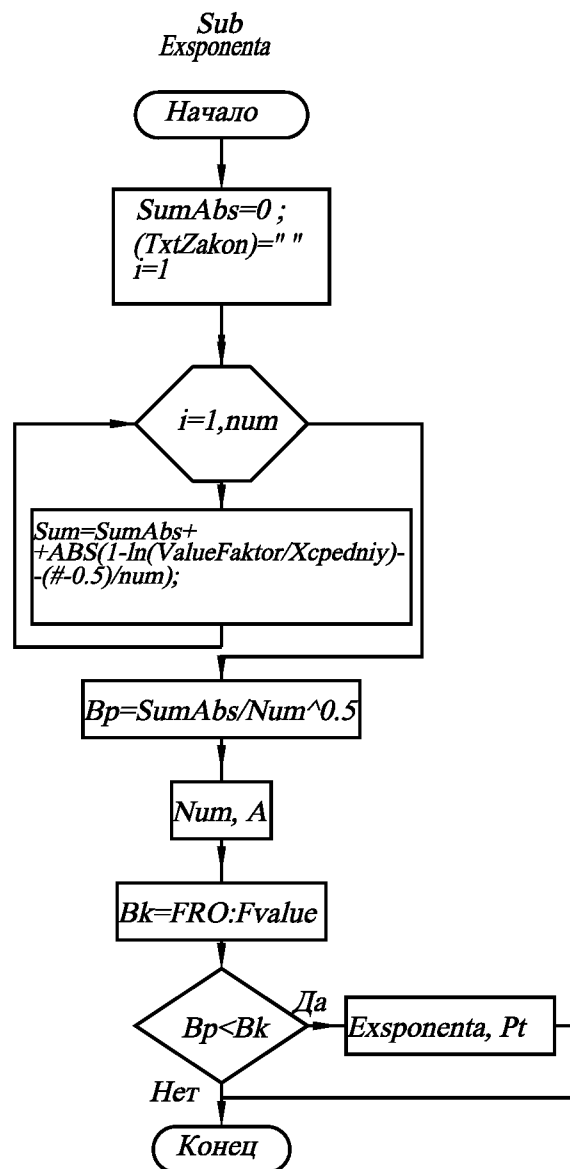


Рисунок 3.7. Алгоритм моделирования критерия экспоненциальности Фрочкини

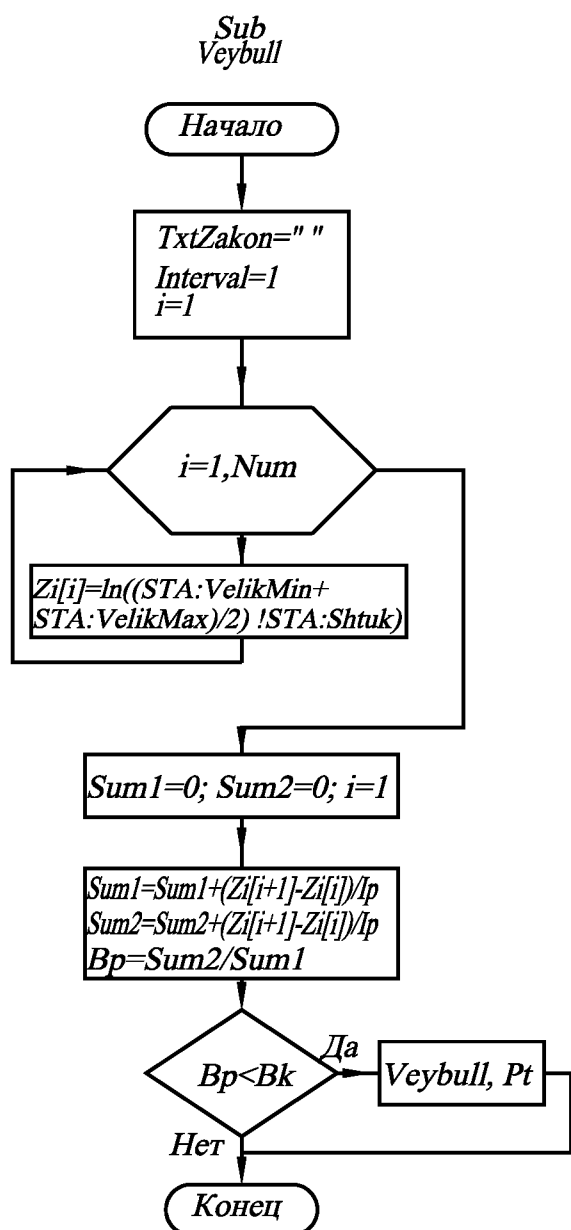


Рисунок 3.8. Алгоритм моделирования критерия Манна – Фертига – Шуера

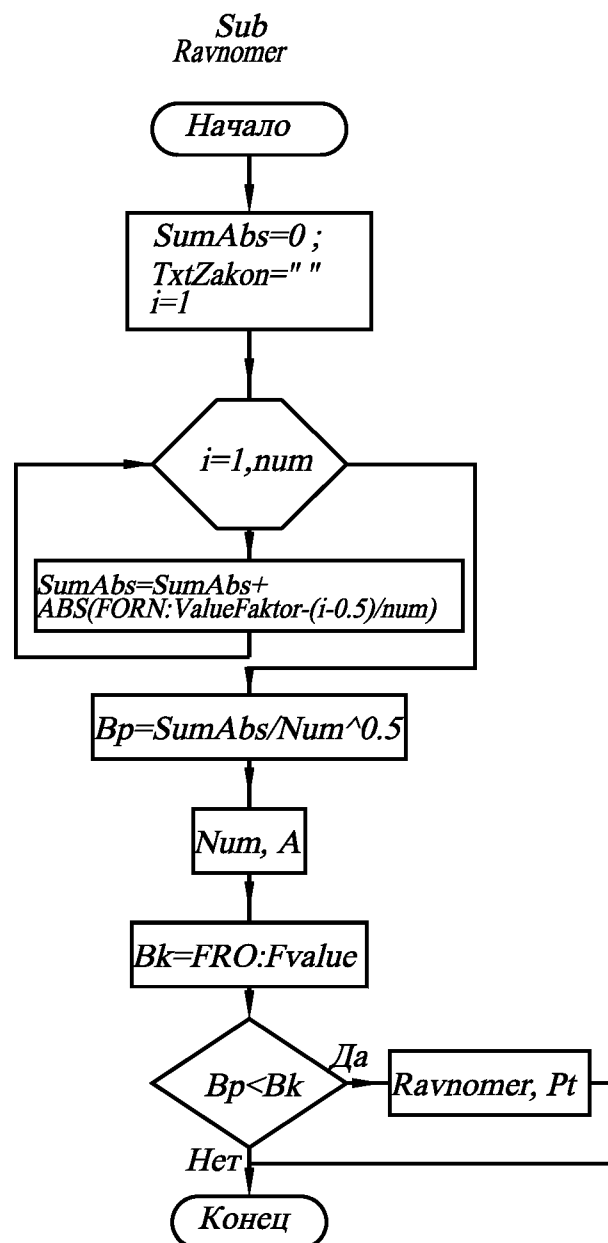


Рисунок 3.9. Алгоритм моделирования критерия Фроцини для равномерного закона распределения

При этом критерий нормальности Мартинеса – Иглевича применяется против симметричных альтернатив, отличающихся от нормального распределения «хвостами» или эксцессом. Критерий основан на отношении двух оценок дисперсии – обычной и так называемой робастной (устойчивой), двухвесовой.

Информационная модель (рисунок 3.10) разработанной программы содержит набор файлов таблиц, реализующих концептуальную модель прикладной задачи. Кроме рабочих файлов с исходной информацией, ряд файлов содержит таб-

лицы коэффициентов критериев оценки и идентификации законов распределения.

Полученные данные при каждом расчете обновляются и не накапливаются. Информационная модель обеспечивает принцип единого источника информации. Концептуальная модель реализована по иерархическому принципу, при этом автоматически поддерживается ссылочная целостность за счет реализации отношений между таблицами (1:Б).

Приложение работает на персональных компьютерах под управлением операционной системы Windows XP / Vista / 7 / 8 ×32 (Приложение А).

В основу создания интерфейса положен стандарт GUI (Grafic User Interface) для Windows [178]. Работа с программой осуществляется с помощью основных диалоговых окон. Всеми окнами и их отображением на экране руководит WindowManager. В подавляющем большинстве случаев применяются диалоговые системы. Диалог между человеком и компьютером можно определить в виде прогрессивного обмена информацией между программой и пользователем, осуществляемого с помощью интерактивного терминала по определенным правилам. Цель диалога – определить задачи, возложенные на компьютер. Процесс базируется на входящих сообщениях и подсказках, первые из которых позволяют выбрать нужное задание, ввести данные для его выполнения и определить необходимый режим. Подсказки же выводятся в виде форматов, самым распространенным среди которых является меню. Часть подсказок содержит указания на формат входящего сообщения.

В программе оператор работает с модальными диалоговыми окнами, которые приостанавливают выполнение программы при ожидании действия пользователя. Ответ может быть логическим идентификатором со значением true/false, в зависимости от которого могут выполняться различные операции (Приложение А) [179].

Некоторые действия активируют предложенные информационные окна, которые информируют пользователя об ошибке и не имеют разветвления для выбора [180].

Информационные файлы получают визуализацию благодаря процедурам

ListBrowse (Browse Class), а их редактирование происходит процедурами UpdateForm или Edit-for-Place. Для управления вводом и навигацией по таблицам применяются ToolBar Manager и ToolBarUpdate Class [181, 182].

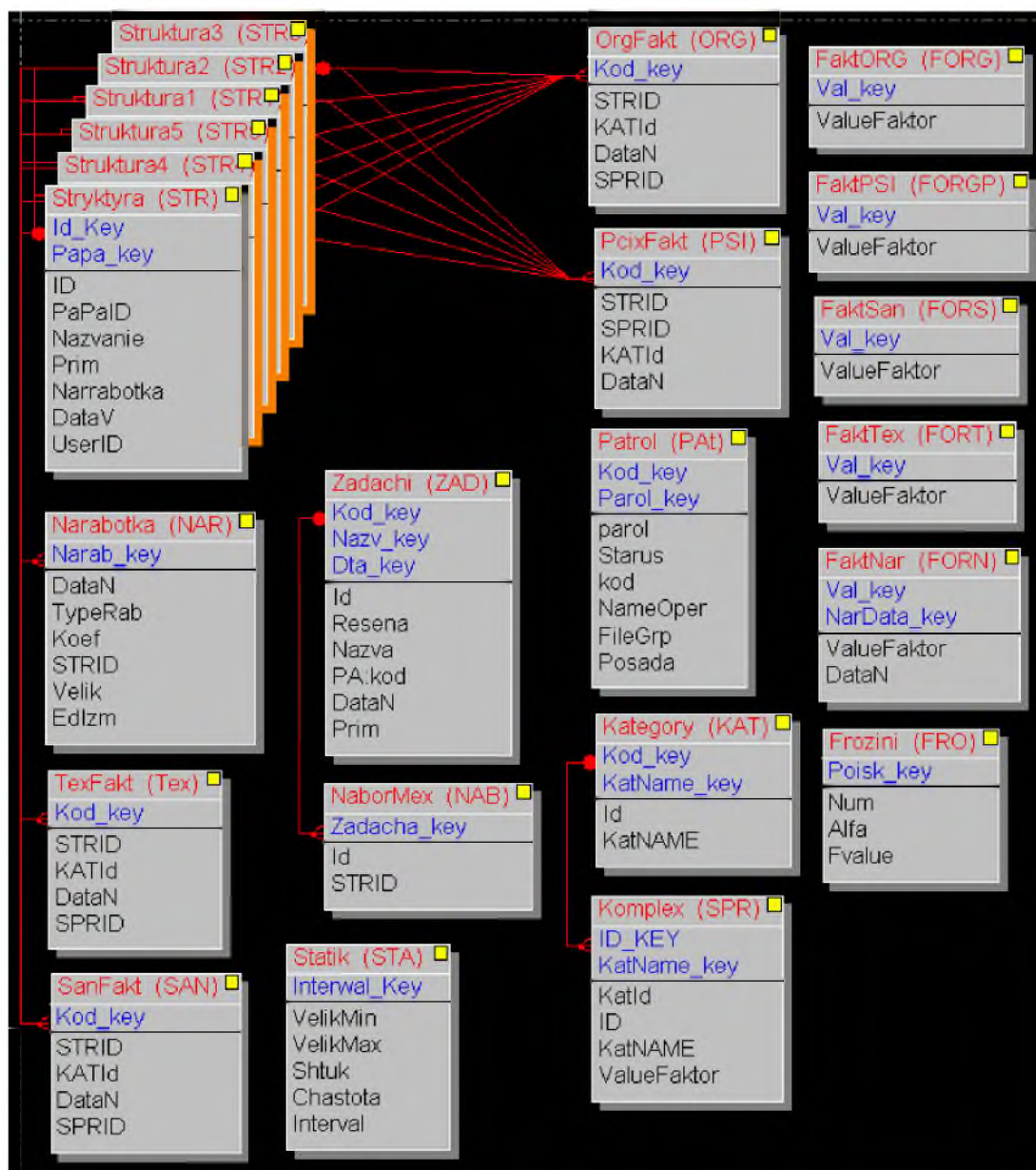


Рисунок 3.10. Информационная модель компьютерной программы

Главное окно программы выполнено как Frame и содержит текстовое и графическое меню, с помощью которых выполняются все задачи данного приложения. Элементы меню имеют динамические Tip – подсказки, которые при задержании манипулятора мыши на некоторое время обеспечивают всплытие подсказки на синем фоне, характеризующей элемент управления или ввода информации.

В начале работы в программе необходимо смоделировать производственные агрегаты (машины, КПО). Для этого следует указать индивидуальные характеристики оборудования, его структурные составляющие и элементы. Оператор использует вкладку «Элементы структуры объекта» (рисунок 3.11) и открывает соответствующее окно программы (рисунок 3.12). Для построения данного этапа проведения системного анализа рассматриваемого объекта и его влияния на человека-оператора использованы методы построения многоуровневых иерархических систем и поддержки компьютерных решений. Каждому иерархическому уровню присущи название, дата введения, примечание и массив данных о наработке на отказ, характеристики рабочего процесса (изменчивость и коэффициент загрузки), а также личные факторы (организационные, технические, психофизиологические и т. д.), которые влияют на риски возникновения производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Перечень факторов рисков разделен на несколько категорий. Человеческие факторы накапливаются в справочнике, и при необходимости к ним добавляются отсутствующие или редактируются существующие. Вся внесенная информация накапливается и сохраняется в базе данных.

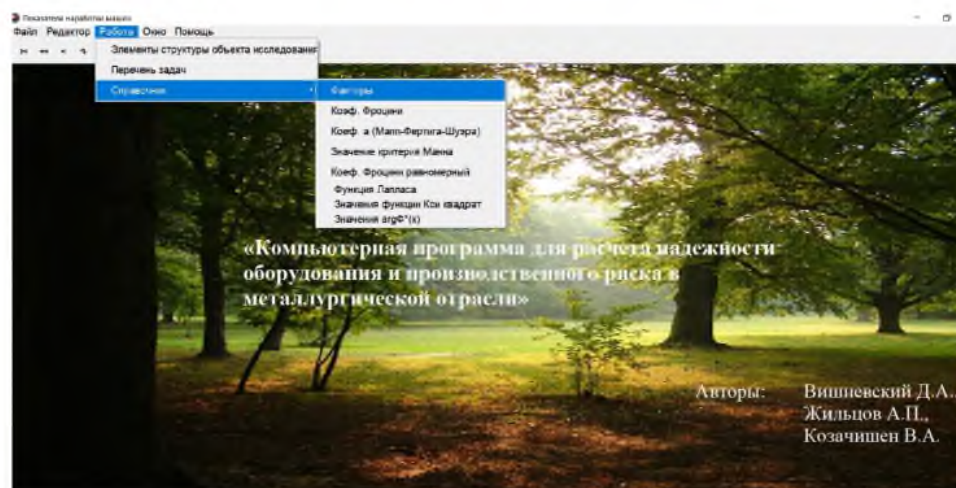


Рисунок 3.11. Главное окно программы

Используя вкладку «Справочник» (рисунок 3.11), пользователь имеет возможность выбрать табличные критерии (рисунок 3.5, блок «Анализ закона распределения») общей интервальной оценки предложенных законов двухпараметрических семейств абсолютно непрерывных распределений, моделирующих время

между двумя последовательными действиями одного и того же события, что позволяет определить и минимизировать погрешность вычислений. После создания реестра машин или хотя бы при наличии одной машины можно перейти к формированию «задач».

Выявление вредных и опасных производственных факторов и показателей их совокупного воздействия на человека-оператора с учетом особенностей рабочего места и основного и вспомогательного оборудования, а также других элементов производственной среды позволяет определять вероятность «технических» и «человеческих» отказов и рассчитывать производственный риск. Его показатели являются основой СУОТ в КПП потому, что позволяют конкретизировать мероприятия по охране труда, они показывают необходимость моделирования строительно-планировочных особенностей РМ и размещения комплекса основного и вспомогательного КПО с учетом своих возможностей. Такая задача решается с помощью модуля, представленного на рисунке 3.13. Этот модуль имеет название, перечень, характеристики машин (КПО), располагающихся на производственном участке, которые были сформированы в предыдущем модуле (рисунок 3.14).

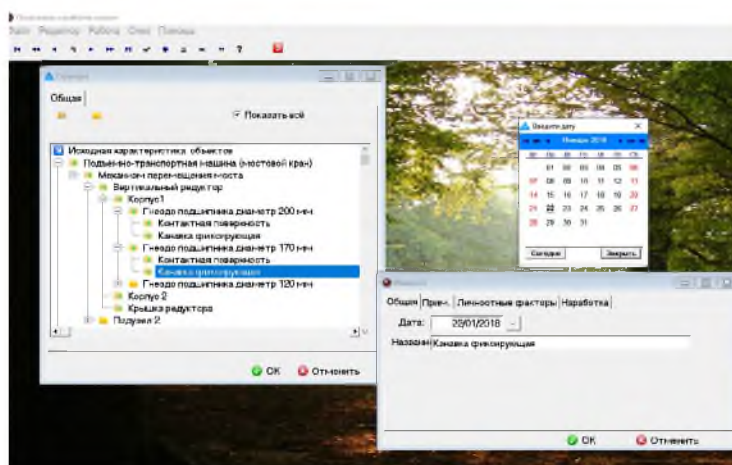


Рисунок 3.12. Окно введения и редактирования структуры машины (КПО) и показателей негативного влияния на человека-оператора

Для создания новой задачи используются элементы «+» графического меню, для редактирования «Δ», для извлечения «-». При этом если на запись есть ссылки, то удалить ее невозможно до тех пор, пока эти ссылки существуют.

Процедура расчетов индивидуальных и интеграционных характеристик

надежности оборудования и риска травмирования операторов активизируется соответствующей кнопкой (рисунок 3.15). Расчетный модуль формирует исходные данные для статистического анализа и расчетов (рисунок 3.16).

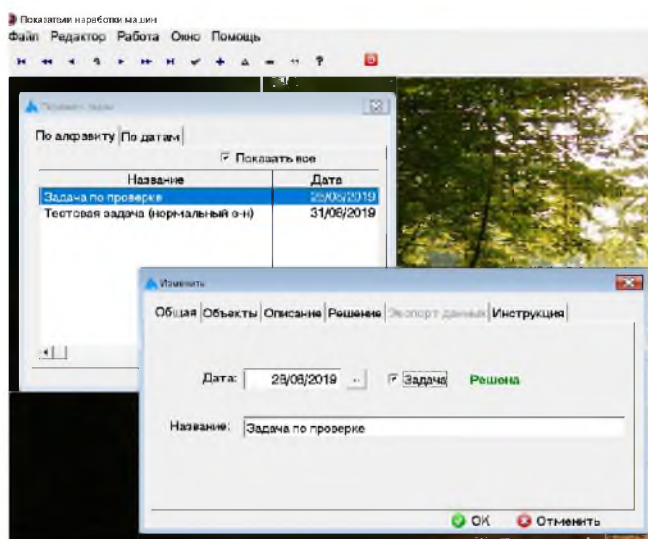


Рисунок 3.13. Формирование задачи расчета комплекса машин (КПО)

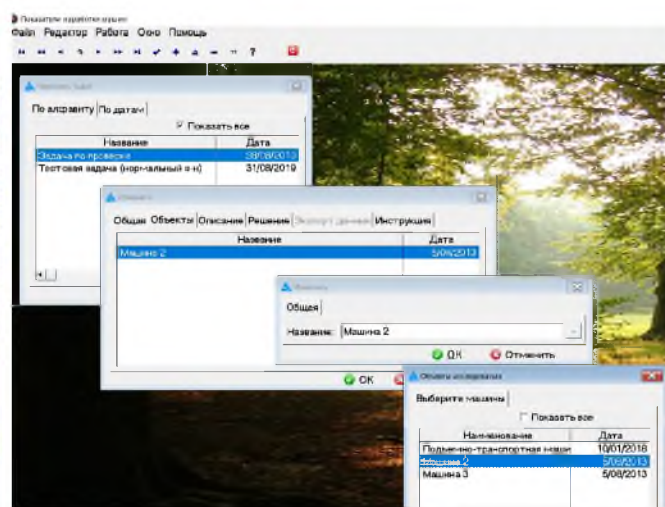


Рисунок 3.14. Формирование состава машин (КПО) для задачи расчета

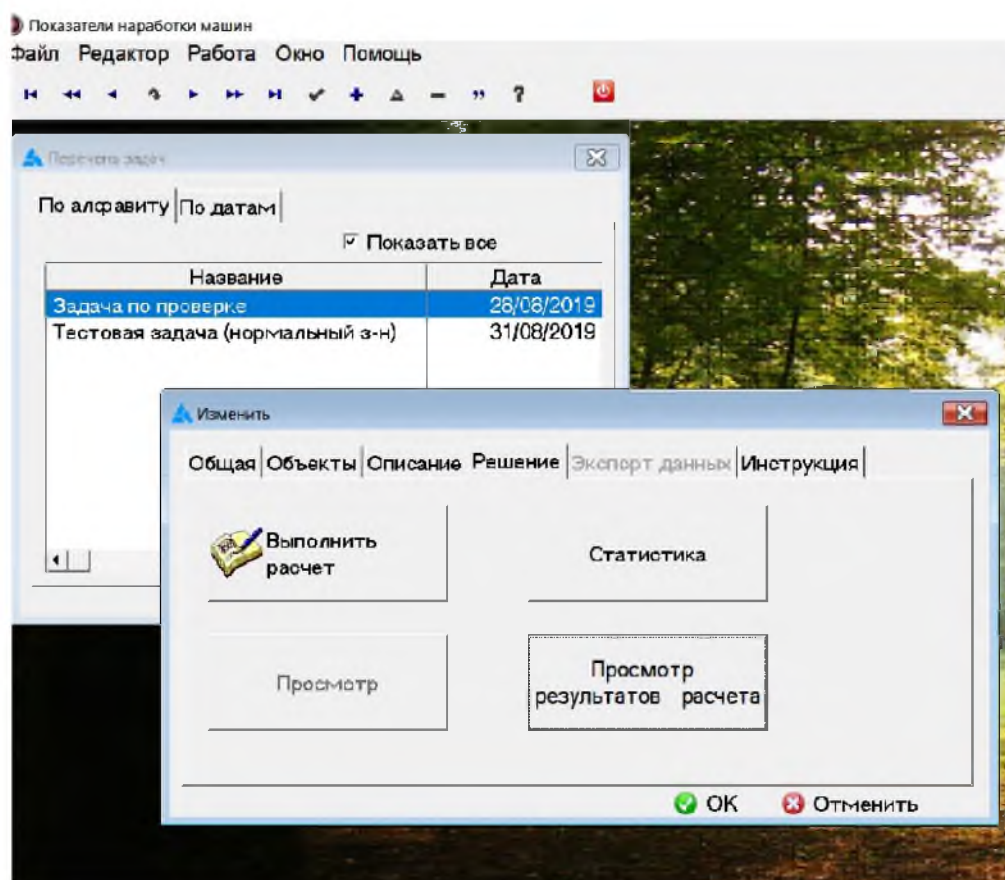


Рисунок 3.15. Модуль расчетов и просмотра информации

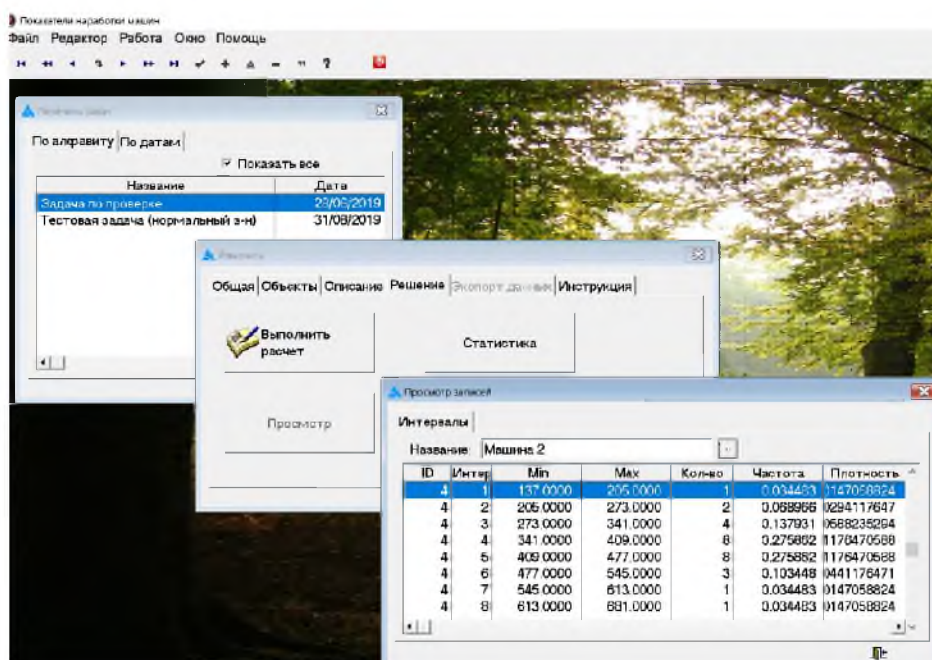


Рисунок 3.16. Окно процедуры статистических расчетов

Все расчеты проводятся как для каждой машины (КПП), содержащейся в перечне задач, индивидуально для конкретного РМ, так и для производственного участка в целом.

После определения всех необходимых нормированных критериев и показателей негативного воздействия на человека-оператора программа выполняет выбор необходимых прецедентов и многочисленное моделирование в реальном времени для решения поставленной задачи расчета характеристик надежности оборудования и риска травмирования в зависимости от «технических» и «человеческих» факторов, влияющих на условия безопасной работы оператора. Каждый из предложенных прецедентов можно адаптировать к конкретным условиям текущей ситуации путем изменения нужных параметров и их сохранения в общей базе данных (рисунок 3.17).

После окончания работы программы оператор, пользуясь соответствующими клавишами, получает существенную информацию, которая экспортируется в офисные программы. В зависимости от перечня задач в сформированном текстовом файле можно показать различные типы гистограмм (рисунок 3.18) или диаграмм (рисунок 3.19).

Показатели наработки машин
Файл Редактор Работа Окно Помощь

Равномерное распределение Вергини

Общая	Num	aifa 0,9	aifa 0,95	aifa 0,99
	5	0.4964	0.5756	0.7282
	6	0.4908	0.5700	0.7123
	7	0.4955	0.5780	0.7428
	8	0.4933	0.5733	0.7394
	9	0.4947	0.5764	0.7258
	10	0.4896	0.5723	0.7310
	11	0.4948	0.5806	0.7486
	12	0.4987	0.5790	0.7324
	13	0.4900	0.5815	0.7441

Контроль Матрица-Формы-Время

По аргументу	N	R	Ka(n,r) 0,9	Ka(n,r) 0,95	Ka(n,r) 0,99
	3	3	0.900	0.950	0.990
	4	3	0.900	0.950	0.990
	4	4	0.970	0.760	0.890
	5	3	0.900	0.950	0.990
	5	4	0.680	0.770	0.890
	5	5	0.790	0.960	0.940
	6	3	0.900	0.950	0.990
	6	4	0.680	0.760	0.890
	6	5	0.800	0.860	0.940
	6	6	0.660	0.730	0.840

Просмотр файла Argp

По аргументу	B	Arg
	0.8000	1.282
	0.8100	1.310
	0.8200	1.340
	0.8300	1.371
	0.8400	1.404
	0.8500	1.439

Перечень категорий

По алфавиту

Название

- Организаационные факторы
- Психофизиологические факторы
- Санитарно-гигиенические факторы
- Технические факторы

Равномерное распределение Фрозини

Общая	Num	aifa 0,9	aifa 0,95	aifa 0,99
	5	0.4964	0.5756	0.7282
	6	0.4908	0.5700	0.7123
	7	0.4955	0.5780	0.7428
	8	0.4933	0.5733	0.7394
	9	0.4947	0.5764	0.7258
	10	0.4896	0.5723	0.7310
	11	0.4948	0.5806	0.7486
	12	0.4987	0.5790	0.7324
	13	0.4900	0.5815	0.7441

Просмотр файла Laplas

По возрастанию аргумента	Аргумент	Функция
	0.00	0.00000
	0.01	0.00399
	0.02	0.00798
	0.03	0.01197
	0.04	0.01595
	0.05	0.01994
	0.06	0.02392

Просмотр файла Kikvadrat

По степени свободы	k	B 99	B 95	B 90	B 80	B 50	B 30	B 20	B 10	B 05
	1	0.000	0.004	0.016	0.064	0.455	1.074	1.642	2.710	3.840
	2	0.020	0.103	0.211	0.446	1.386	2.410	3.220	4.600	5.990
	3	0.115	0.352	0.584	1.005	2.370	3.660	4.640	6.250	7.820
	4	0.297	0.711	1.064	1.649	3.360	4.880	5.990	7.780	9.490
	5	0.554	1.145	1.610	2.340	4.350	6.060	7.290	9.240	11.070
	6	0.872	1.635	2.200	3.070	5.350	7.230	8.560	10.640	12.590
	7	1.239	2.170	2.830	3.820	6.350	8.380	9.800	12.020	14.070

Рисунок 3.17. Справочник факторов и коэффициентов для расчета надежности оборудования

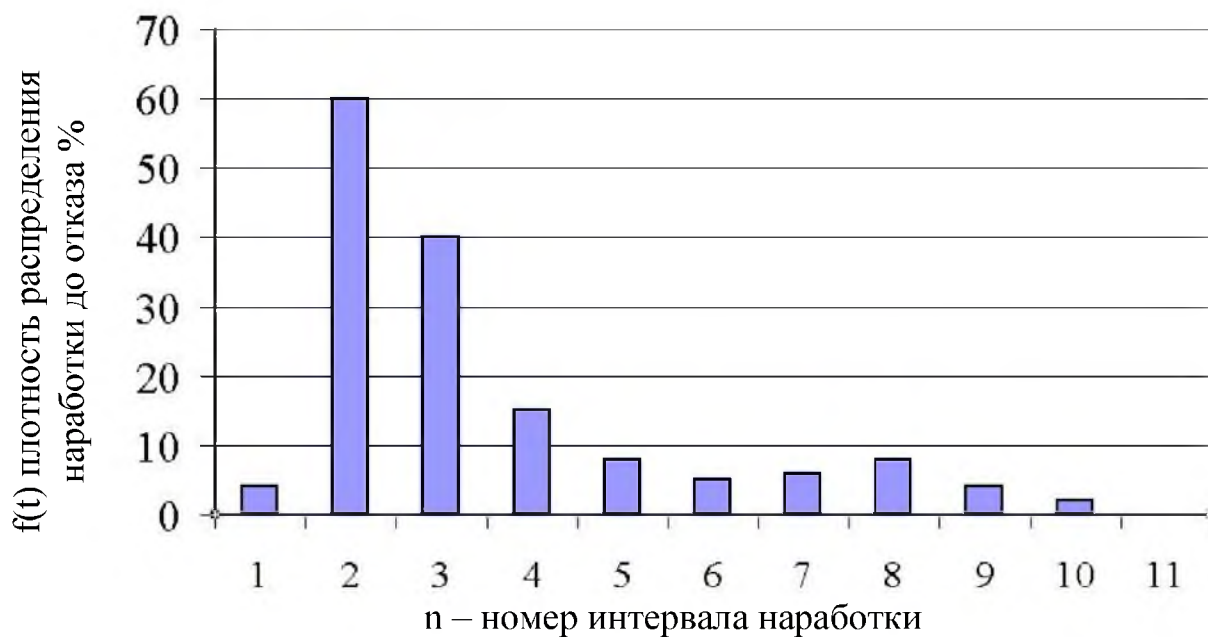


Рисунок 3.18. Гистограмма плотности распределения наработки до отказа

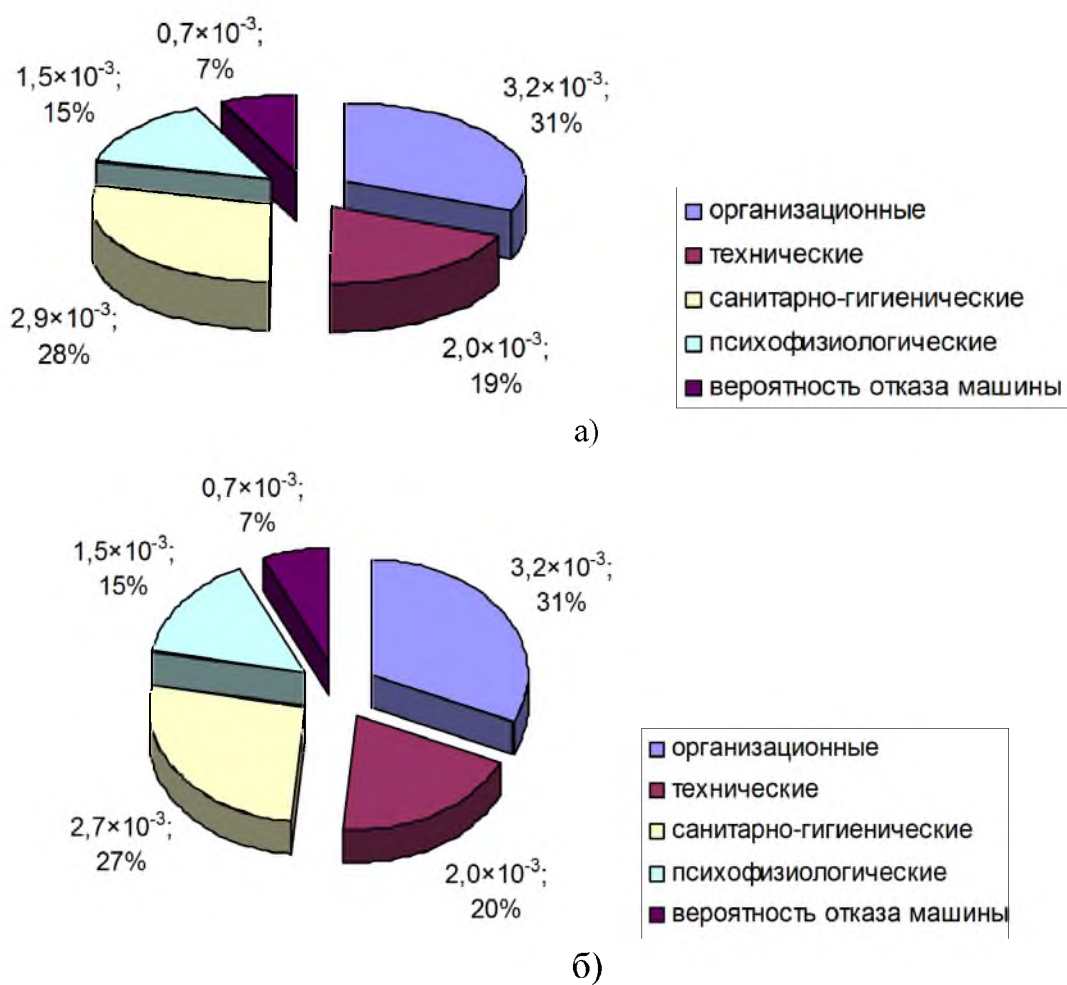


Рисунок 3.19. Диаграмма определения риска на рабочем месте кузнеца-штамповщика: а – до внедрения; б – после внедрения мероприятий по охране труда

Для удобства использования программы на производстве большая часть информации также подается в табличной форме (рисунок 3.20).

```

Решение задачи выполнялось 9/12/2017
Описание задачи: Вероятность возникновения аварийной ситуации при
эксплуатации пневмосистемы манипулятора
Риск нанесения вреда здоровью оператора
R=0,000718
Выборка наработки содержит 70 элементов.
Разбиваем выборку на 11 интервалов с шагом между интервалами 1768.
Отвергнуть гипотезу о нормальном законе распределения
Отвергнуть гипотезу об экспоненциальном законе распределения
Закон распределения Вейбулла с доверительной вероятностью 0,9
Расчетный параметр Vr=0,2767, критическое значение Vk=0,6600
Закон распределения Вейбулла с доверительной вероятностью 0,95
Расчетный параметр Vr=0,2767, критическое значение Vk=0,7400
Закон распределения Вейбулла с доверительной вероятностью 0,99
Расчетный параметр Vr=0,2767, критическое значение Vk=0,8200

Отвергнуть гипотезу о равномерном законе распределения

```

Рисунок 3.20. Пример выведения результатов расчетов

Программа позволяет выполнять определенный комплекс вычислений, касающихся определения:

- надежности оборудования, эксплуатируемого в КПП в настоящее время;
- воздействия вредных и опасных производственных факторов на человека-оператора в КПП;
- риска травмирования человека-оператора в зависимости от «технических» и «человеческих» отказов как на отдельных рабочих местах, так и в целом в кузнечно-прессовых цехах;
- ближайшего выхода из строя детали или узла с учетом наработок на отказ данного оборудования [183, 184, 185].

Материалы настоящего раздела опубликованы в следующих научных работах [141142, 143, 146, 152, 156, 159, 176, 179, 180].

Выводы

1. Предложена система прогнозирования отказа механического оборудования. Целью её создания является заблаговременное предупреждение ремонтных служб о выходе из строя детали, узла или машины, что, в свою очередь, позволит произвести своевременное и качественное ремонтное воздействие на эксплуатируемое механическое оборудование.

2. Разработана прикладная компьютерная программа расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли с целью совершенствования системы ТОиР путем численного моделирования наработок технических систем КПО или объектов на отказ с учетом влияния вредных и опасных производственных факторов (ВОПФ) на вероятность безошибочного выполнения работником функциональных действий.

3. Алгоритм моделирования разработанной компьютерной программы, в основу которой положена идея использования блок-схемы причинно-следственной связи, состоит из последовательных шагов, ведущих к решению поставленных задач: определения вероятности отказов деталей, узлов, промежуточного узла, машин КПО и других составляющих рабочего места; расчета вероятности причинения вреда здоровью с учетом ВОПФ, включая психофизиологические; определения производственного риска с учетом «машинных» и «человеческих» отказов на конкретном рабочем месте в КПП.

4. В компьютерной программе в блоке «Анализ закона распределения» при выполнении критериального анализа для определения закона распределения наработки на отказ используются: нормальный закон распределения по критерию нормальности Мартинеса – Иглевича; экспоненциальный закон распределения по критерию экспоненциальности Фроцини; критерий Манна – Фертига – Шуера для распределения Вейбулла; критерий Фроцини для равномерного закона распределения.

5. Разработанная программа выполняет формирование результатов, которые можно отобразить или экспортировать в офисные программы по их представлению в виде таблиц в текстовом формате или диаграмм, гистограмм и графиков. В конечном итоге выявляется значение производственного риска с учетом «техни-

ческих» и «человеческих» отказов на конкретном рабочем месте.

6. Информационная модель разработанной прикладной компьютерной программы содержит набор файлов таблиц, реализующих концептуальную модель прикладной задачи, и кроме рабочих файлов с исходной информацией содержит ряд файлов с таблицами коэффициентов критериев оценки и идентификации законов распределения. При этом расчетные данные при каждом расчете обновляются и не накапливаются, а информационная модель обеспечивает принцип единственного источника информации.

7. В прикладной компьютерной программе концептуальная модель реализована по иерархическому принципу с обеспечением автоматического поддержания ссылочной целостности за счет реализации отношений между таблицами.

8. При реализации программы выявляются показатели совокупного воздействия на человека-оператора вредных и опасных производственных факторов с учетом особенностей рабочего места, а также основного и вспомогательного КПО и других элементов производственной среды, что позволяет определять вероятность «технических» и «человеческих» отказов и рассчитывать производственный риск.

9. После проведения анализа и разработки системы прогнозирования надежности оборудования возникает необходимость введения в расчеты безотказности металлургического оборудования вероятности отказа человека как неотъемлемой части системы «человек – машина».

10. Для решения проблемы повышения безотказности оборудования металлургических предприятий необходимо провести экспериментальные исследования показателей травматизма на предприятии для выявления характера распределения и влияющих факторов.

РАЗДЕЛ 4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Одна из главных причин, которая привела к необходимости исследований показателей травматизма, связана с тем, что сбор статистических данных об отказах оборудования при влиянии ЧФ на металлургических предприятиях ранее не выполнялся. Хотя, как описано выше в пункте 1.3.1 данной работы, до 40% всех аварий на производствах металлургической отрасли происходят по вине человека. Данные ошибки, преднамеренные или непреднамеренные, приводят к аварийным выходам из строя сложного металлургического оборудования.

Данные, используемые в этом разделе, относятся к периоду с 1980 по 2004 гг., в среднем давность статистических данных – от 40 до 20 лет. Необходимость использования этих данных вызвана следующими факторами:

- в вышеуказанный период не скрывали несчастные случаи на производстве, данные из актов по форме Н-1 соответствовали действительности;
- в указанный период времени производство работало на полную мощность, что дает целостную картину при обработке данных;
- в настоящее время данные о травматизме на промышленных предприятиях засекречены – получить и воспользоваться современной статистикой практически невозможно как с физической, так и с юридической точки зрения.

4.1 Экспериментальные исследования распределения количества несчастных случаев в кузнечно-прессовом производстве

При выполнении экспериментальных исследований использовались данные актов по форме Н-1 за период с 1980 по 2004 годы по расследованию причин производственного травматизма в ОАО «ХК „Лугансктепловоз“» для установки основных риск-образующих факторов в КПП и следствий их проявления. Но при

этом из результатов исследования были удалены «лучшие» и «худшие» периоды времени, поскольку в 1985 году это предприятие интенсивно разрабатывало и ставило в производство новые типы магистральных тепловозов наряду с выполнением госзаказа на выпуск существующих, на котором было занято основное количество из около 33900 работников. А с 1985 по 1989 годы в условиях устойчивого производства ежегодно изготовлялось наибольшее количество продукции, в первую очередь тепловозов, то есть интенсивность и напряженность труда достигали самых высоких показателей, что, в свою очередь, приводило к стабильно значительному количеству несчастных случаев [189, 190, 191, 192].

Как известно, процесс постановки в производство новой продукции в любой отрасли машиностроения сопровождается непониманием работниками новых требований, условий, правил использования технического оснащения и т. д., а также увеличением доли ручного труда, отладки межцеховых и внутрицеховых взаимосвязей и т. д., а это приводит к возможности проявления в таких условиях как новых ВОПФ, так и изменения возникновения причин уже существующих, что и подтверждают данные за 1980 год, приведенные в Приложении Б.1. То есть этот период характеризуется наибольшей неопределенностью с технической точки зрения. Следовательно, несмотря на вовлечение в трудовой процесс наиболее квалифицированных работников, в первую очередь мужчин, и на то, что задачи выполняются ими сосредоточенно, указанный период сопровождается незначительным ростом показателей травматизма, преимущественно в сборочных цехах. При налаживании серийного выпуска продукции также наблюдается рост количества несчастных случаев в связи с необходимостью исполнения как ежемесячных, так и годовых программ. Кроме того, внедрение новой техники и оснащения для осуществления технологических процессов приводило к возникновению ранее неизвестных ВОПФ, к которым не был психологически подготовлен персонал. Это было отмечено в источнике [193] относительно, например, причин несчастных случаев при использовании ПР, когда наибольшая их часть связана с рабочим процессом слесарей при переналадке и обучении ПР на выпуск новой продукции.

В период же с 1991 г. и по настоящее время предприятие не имеет стабиль-

ности в заказах на продукцию транспортного машиностроения, что привело к выделению из него отдельных производств как самостоятельных, например того же Центоркуза, резкому уменьшению персонала до 6500 работников, ухудшению условий труда, нарушению параметров микроклимата, особенно в переходный и зимний периоды.

Кроме того, необходимо отметить и то, что в принятые к рассмотрению годы производство работало стабильно, планово-предупредительные ремонты оборудования осуществлялись своевременно, внедрялось новое оборудование. А с точки зрения того, что любой руководитель производственного подразделения мог скрыть НС, об этом не было и речи, то есть корректность данных по их расследованию была полной и вопрос о «скрытых» несчастных случаях не стоял вообще. Это подтверждают и данные Приложений Б.1 и Б.2, в частности, при общей численности работников в первом полугодии 1980 г. 33878 человек, в 1985 – 32263 человек, количество несчастных случаев и дней нетрудоспособности составляло 185 и 235 случаев и 3280 и 3722 дней соответственно. А коэффициенты частоты $K_{\text{ч}}$ и тяжести $K_{\text{т}}$ травматизма составляли $K_{\text{ч}}=5,5$ та $K_{\text{т}}=7,3$ в 1980 г. и $K_{\text{ч}}=17,7$ и $K_{\text{т}}=15,8$ в 1985 г. Это подтверждается и аналогичными данными за вторые полугодия указанных лет.

При сравнении же показателей травматизма в КПП с общезаводскими (таблица 4.1, Приложения Б.1, Б.2) по 1980 г. и с 1985 г. выявляется значительное превышение первых над вторыми. Так, значение $K_{\text{ч}}$ для кузнечно-прессового, прокатного, холодной штамповки и заготовительно-прессового цехов колеблются от $K_{\text{ч}}=11,5$ до $K_{\text{ч}}=20,6$, что больше общезаводского показателя $K_{\text{ч}}=11,4$, только для цеха холодной штамповки значение $K_{\text{ч}}=8,2$ является меньшим. Касательно коэффициента тяжести $K_{\text{т}}$ – его превышение над общезаводскими для указанных цехов значительнее, поскольку колеблется от $K_{\text{т}}=19,3$ до $K_{\text{т}}=29,4$.

В 1985 г. величины $K_{\text{ч}}$ для всех цехов КПП (поз. 2, 3, 10, 30 Приложения Б.2) находятся в интервале от $K_{\text{ч}}=17,0$ до $K_{\text{ч}}=50,7$, что для КПП почти в 2 раза превышает общезаводские значения $K_{\text{ч}}=15,7$, а для прокатного – более чем в 3 раза. В 1985 г. значения $K_{\text{т}}$ для цехов КПП находятся между $K_{\text{т}}=11,1$ и $K_{\text{т}}=17,9$, что в среднем тоже больше общезаводского уровня $K_{\text{т}}= 14,1$.

Значения $K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{т}}$ в 1990 г. (поз. 4, 10, 29 Приложения Б.3) для всех цехов КПП, за исключением цеха штампов и приспособлений, значительно превышают общецеховские $K_{\text{ч}} = 17,9 \dots 61,3$ касательно $K_{\text{ч}} = 16,7$ и $K_{\text{т}} = 3,5 \dots 17,7$ в сравнении с $K_{\text{т}} = 8,0$.

Анализ распределения общего количества травм в КПП по месяцам в 1985 г., 1987 г. и 1989 г. (таблица 4.1, рисунки 4.1...4.4, Приложения В) позволяет выявить закономерности, которые заключаются в том, что во всех этих годах наблюдается их уменьшение с апреля по июль с 13...23 до 9...14, затем стремительный рост в августе соответственно с 9...14 до 17...20 и такое же падение в сентябре до 9...11. Причем при почти одинаковой закономерности распределения несчастных случаев с марта по декабрь в 1987 и 1989 гг., в 1985 г. наблюдаются четыре пиковых их уровня в апреле, октябре, ноябре и декабре, которые имеют, так сказать, противофазное значение с указанными в 1987 и 1989 годах при почти абсолютном совпадении количества несчастных случаев в июне – сентябре всех трех исследованных лет.

Таблица 4.1 – Распределение количества травм в КПП по месяцам в годах

№ п/п	Месяц	Общее количество травм среди мужчин			Общее количество травм среди женщин			Общее количество травм в КПП		
		1985	1987	1989	1985	1987	1989	1985	1987	1989
1	Январь	7	11	17	1	3	0	8	14	17
2	Февраль	7	18	8	3	3	0	10	21	8
3	Март	13	12	13	1	6	0	14	18	13
4	Апрель	18	10	11	5	5	2	23	15	13
5	Май	11	10	11	8	3	0	19	13	11
6	Июнь	14	11	10	3	1	2	17	12	12
7	Июль	10	14	7	2	0	2	12	14	9
8	Август	17	16	14	1	1	6	18	17	20
9	Сентябрь	7	6	8	2	5	3	9	11	11
10	Октябрь	16	9	7	5	4	3	21	13	10
11	Ноябрь	3	12	8	1	3	5	4	15	13
12	Декабрь	20	13	7	0	0	0	20	13	7
Всего		143	142	121	32	34	23	175	176	144

Такая картина подтверждает, во-первых, вышеуказанный тезис о возможности роста количества несчастных случаев в период постановки новой продукции в серию; во-вторых, что период массовых отпусков работников характеризуется тем, что первые недели работы после долгого отдыха указывают на слишком высокую

расслабленность работников, уменьшение их ответственности и на необходимость психологической перестройки с отдыха на тяжелый труд [194].

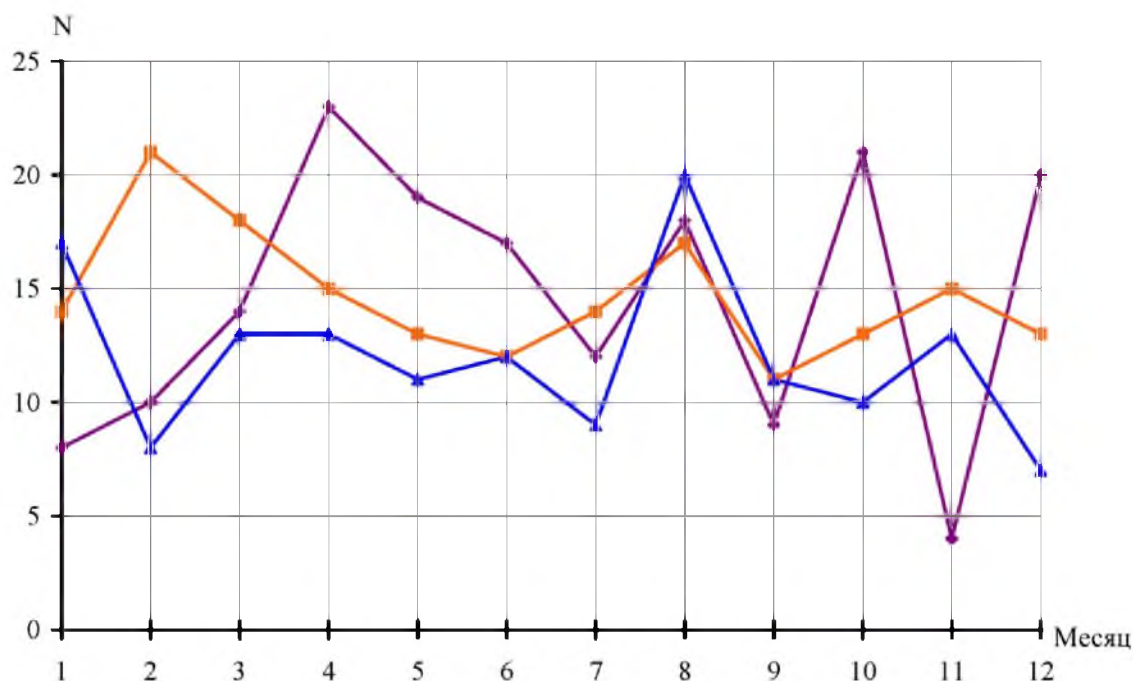


Рисунок 4.1. Распределение количества травм в КПП по месяцам в 1985, 1987 и 1989 гг.: ◆ – 1985 год; ■ – 1987 год; ▲ – 1989 год

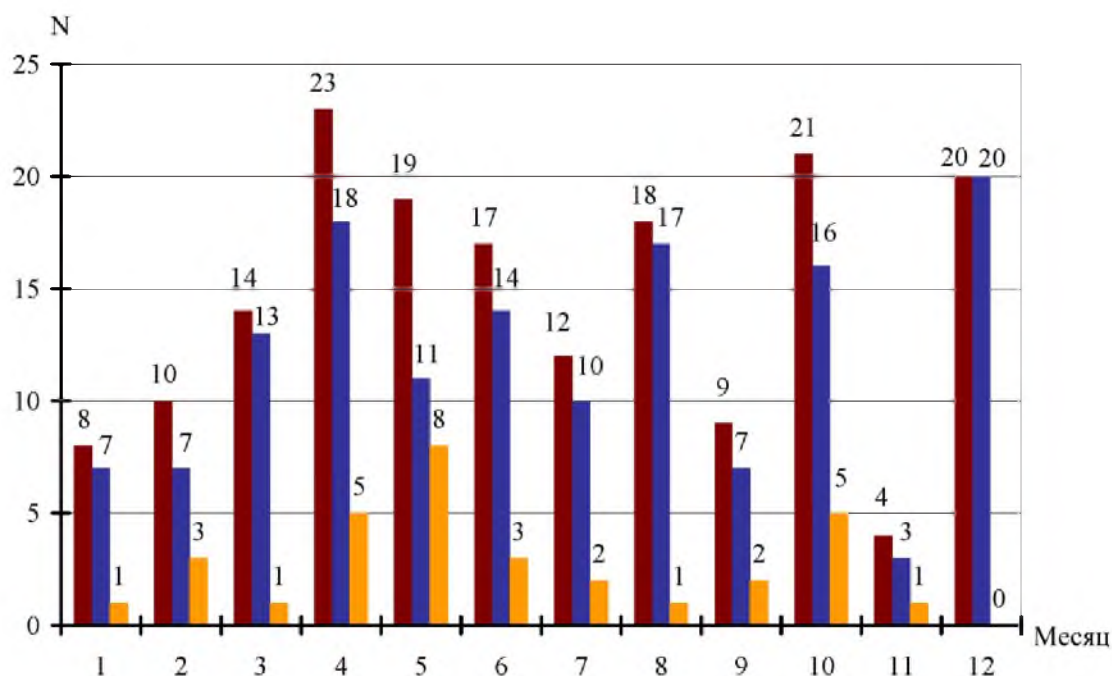


Рисунок 4.2. Распределение количества травм в КПП по месяцам в 1985 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество несчастных случаев; ■ – несчастные случаи среди мужчин; ■ – несчастные случаи среди женщин

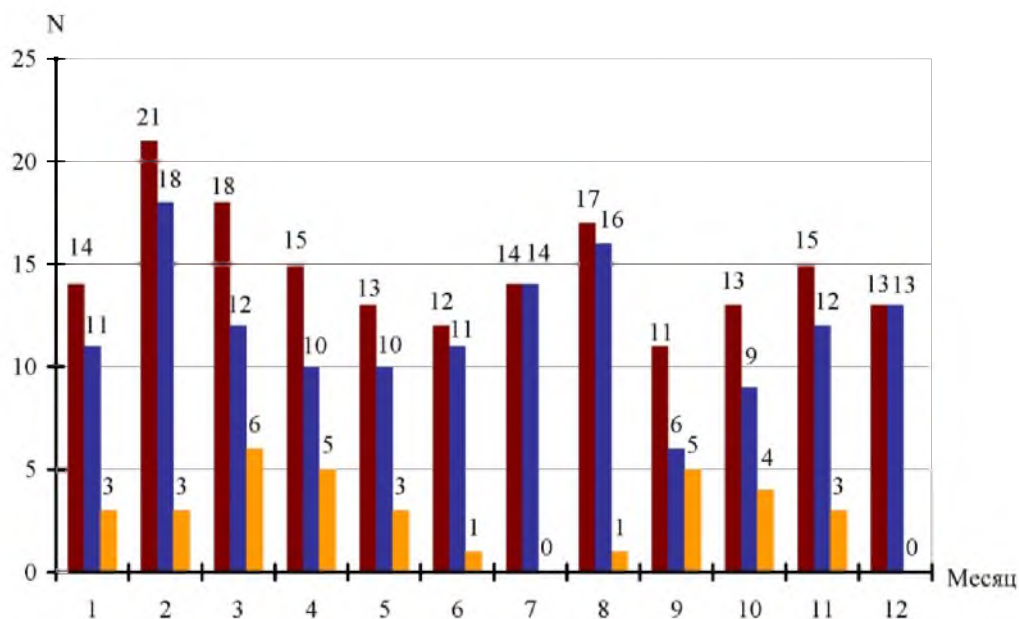


Рисунок 4.3. Распределение количества травм в КПП по месяцам в 1987 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин

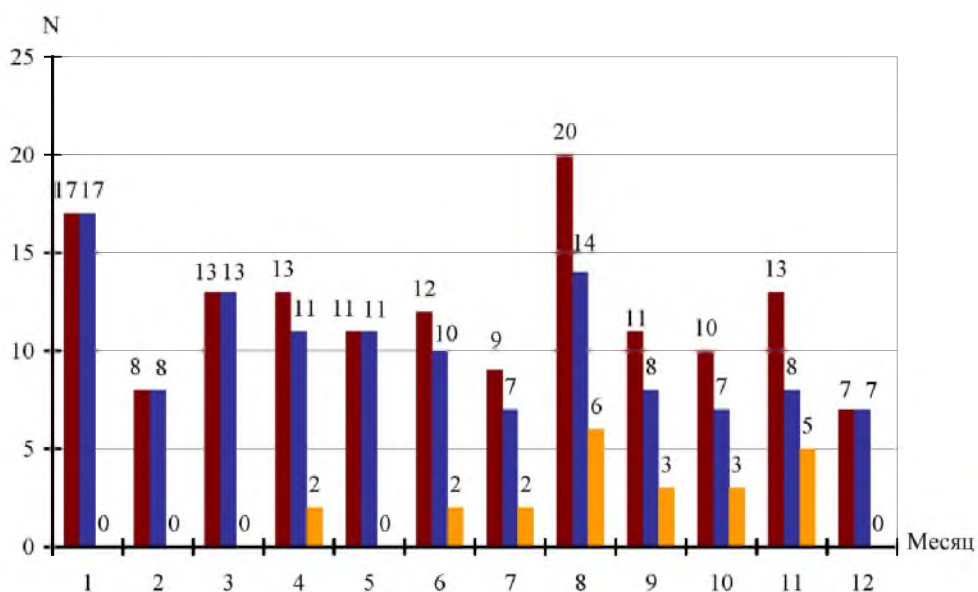


Рисунок 4.4. Распределение количества травм в КПП по месяцам в 1989 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин

Распределение общего количества НС отдельно среди мужчин и женщин в исследуемые годы показывает значительный вклад в него мужчин, что связано с их высоким среднесписочным составом, который в КПП в 3–4 раза превышает число работниц. Но при этом последние в общем являются более ответственными и со-

средоточенными исполнителями, что подтверждается зависимостями на рисунках 4.3...4.4, которые показывают это наглядным образом.

Так, в 1985 г. (рисунок 4.2) вклад женщин в общем количестве НС только в мае составляет три четверти по сравнению с мужчинами, а в другие месяцы он колеблется от нулевого в декабре до трети в ноябре.

В 1987 г. (рисунок 4.3) количество травмированных женщин только в сентябре уравнивается с числом травмированных мужчин и составляет соответственно 5 и 6, а в другие месяцы зависимость почти соответствует полученной за 1985 год с минимумом летом и в декабре.

В 1989 г. (рисунок 4.4) данные только за август нарушают полученные выше зависимости такого распределения в 1985 и 1987 годах, хотя количество НС женщин в ноябре – феврале 1989 года является нулевым, что вполне соответствует минимальным значениям этих месяцев в 1985 и 1987 гг.

4.2 Исследование распределения основных причин травматизма в КПП

Распределение основных причин травматизма в КПП, как в общем количестве НС, так и отдельно для мужчин и женщин, показанных в таблице 4.2 и на рисунках 4.5...4.15, свидетельствует о том, что причины организационного характера имеют львиную долю (45%) среди других, а комплексные занимают второе место (~30%), на третьем месте психофизиологические (~20%) [195].

В таблице 4.3 представлена классификация причин травматизма.

Таблица 4.2. Распределение причин травматизма в КПП по годам

Причины травматизма	Общее количество травм среди мужчин			Общее количество травм среди женщин			Общее количество травм в КПП		
	1985	1987	1989	1985	1987	1989	1985	1987	1989
Организационные	77	71	38	15	12	12	92	83	50
Технические	8	10	20	0	1	5	8	11	25
Психофизиологические	18	24	27	7	13	4	25	37	31
Комплекс причин	40	37	36	10	8	2	50	45	38
Всего	143	142	121	32	34	23	175	176	144

Таблица 4.3. Классификация причин травматизма

Причины травматизма	Характеризующие составляющие
Организационные	Неудовлетворительная организация работ; недостатки в обучении безопасным приемам труда, неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест, отсутствие обеспечения работников СИЗ; выполнение работы не по специальности и др.
Технические	Конструктивные недостатки; несовершенство, недостаточная надежность машин, механизмов и оборудования (например, плохой обзор; слабая освещенность и т. п.); несовершенство технологического процесса (например, ручная загрузка сырья, отсутствие сигнализации об отклонениях в течение технологического процесса и т. п.) и др.
Психофизиологические	Нежелание выполнять определенные действия (операции). Человек недооценивает опасность, склонен к риску, отрицательно относится к трудовым и (или) техническим регламентам, безопасный труд не стимулируется и т. п.) Проявляется в незнании правил эксплуатации технических систем и норм по безопасности труда и способов их выполнения; невыполнение правил (инструкций, предписаний, норм) вследствие несоответствия психических и физических возможностей человека требованиям работы.
Комплекс причин	Одновременно проявляется две и более причины

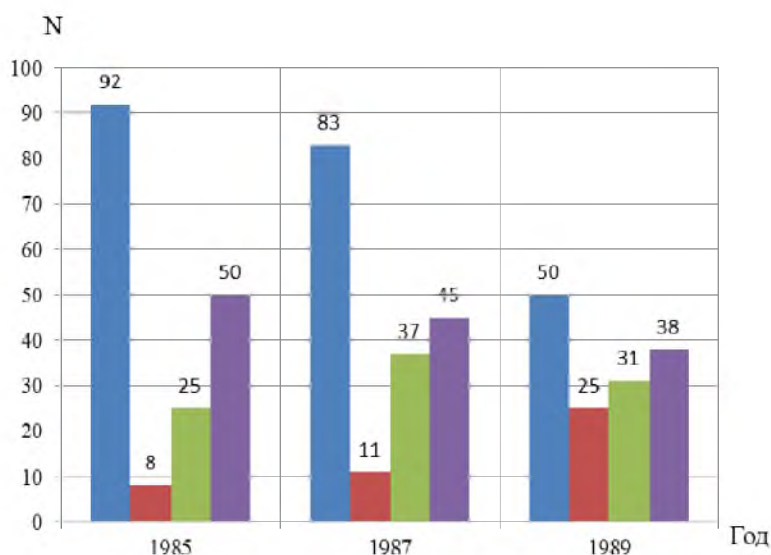


Рисунок 4.5. Распределение причин травматизма в КПП по годам:

- — организационные; ■ — технические; ■ — психофизиологические;
- — комплекс причин

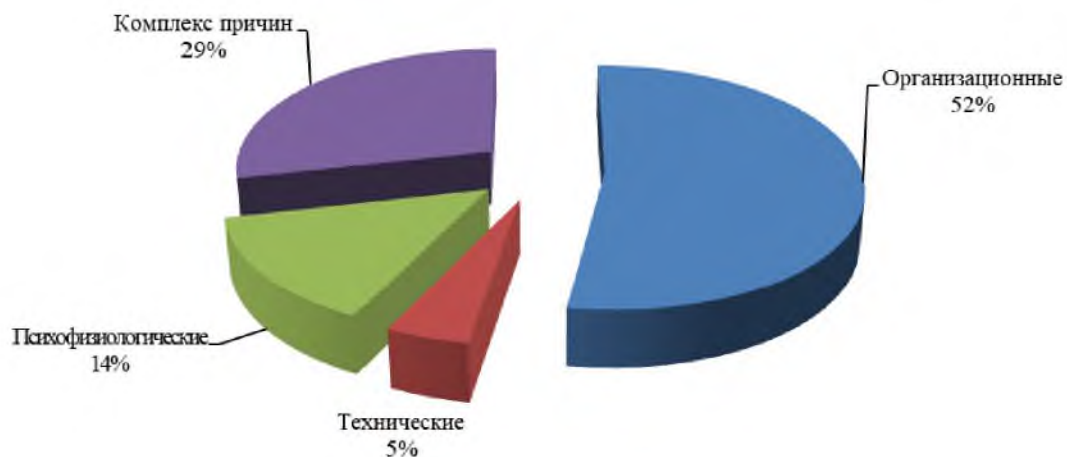


Рисунок 4.6. Распределение причин травматизма в КПП в 1985 г.

■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические;
 ■ – комплекс причин

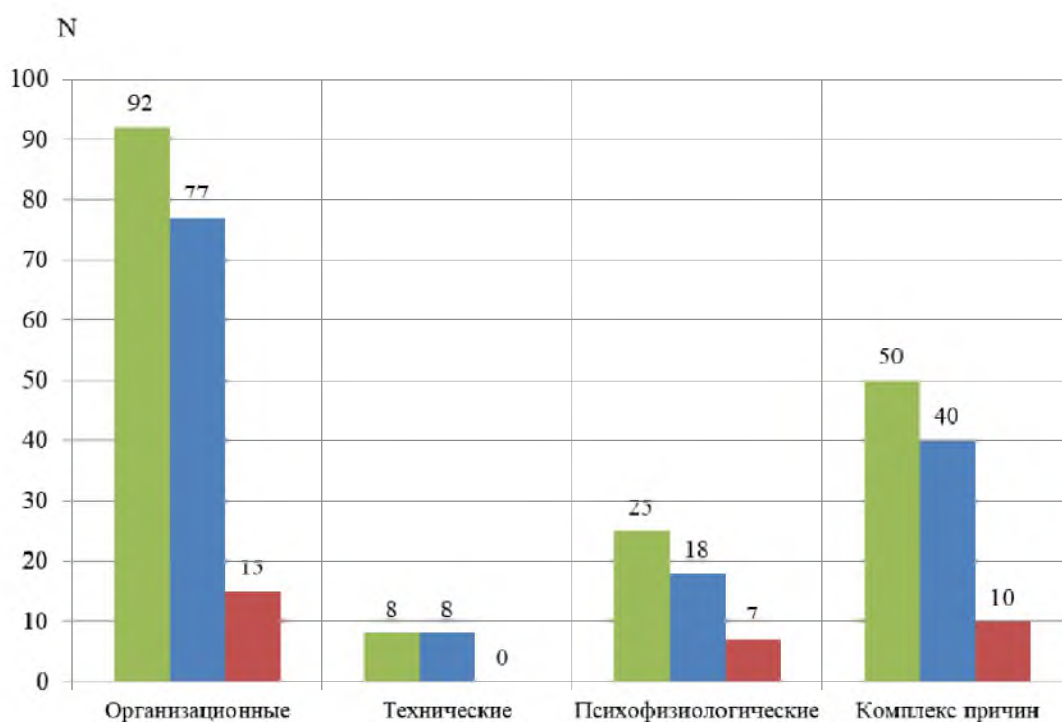


Рисунок 4.7. Распределение причин травматизма в КПП в 1985 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин

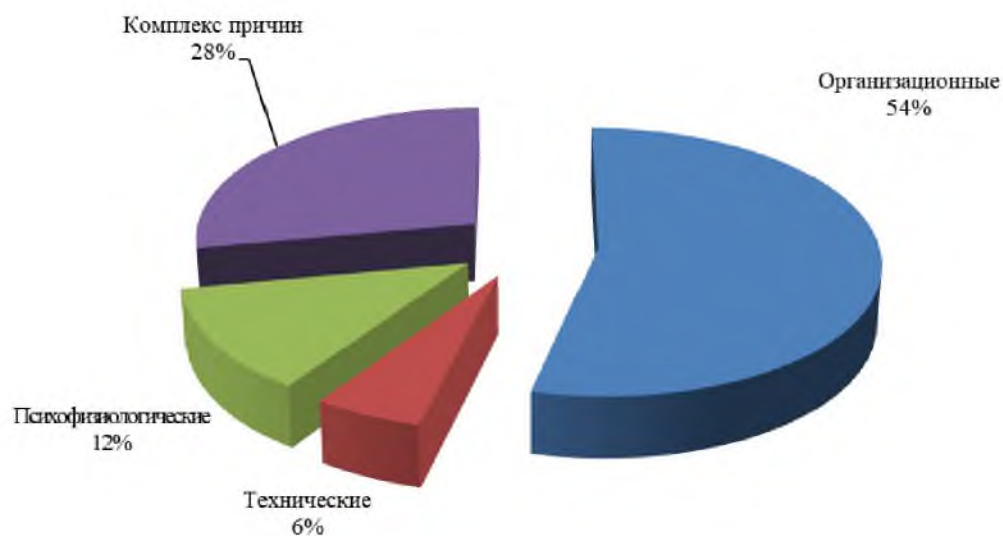


Рисунок 4.8. Распределение причин травматизма в КПП среди мужчин в 1985 г.: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

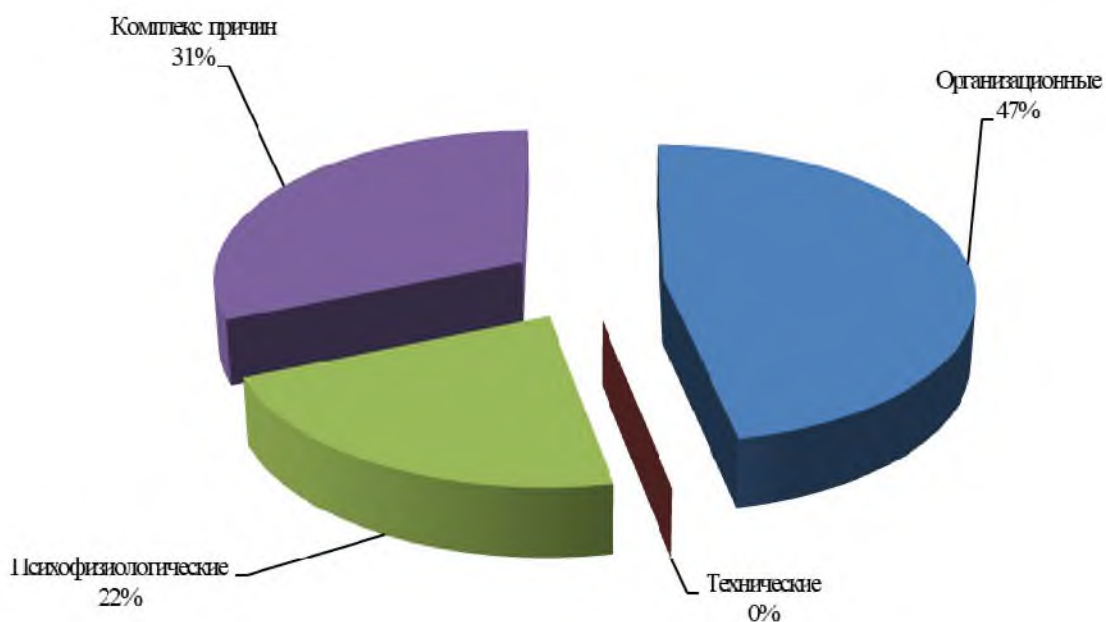


Рисунок 4.9. Распределение причин травматизма в КПП среди женщин в 1985 г.: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

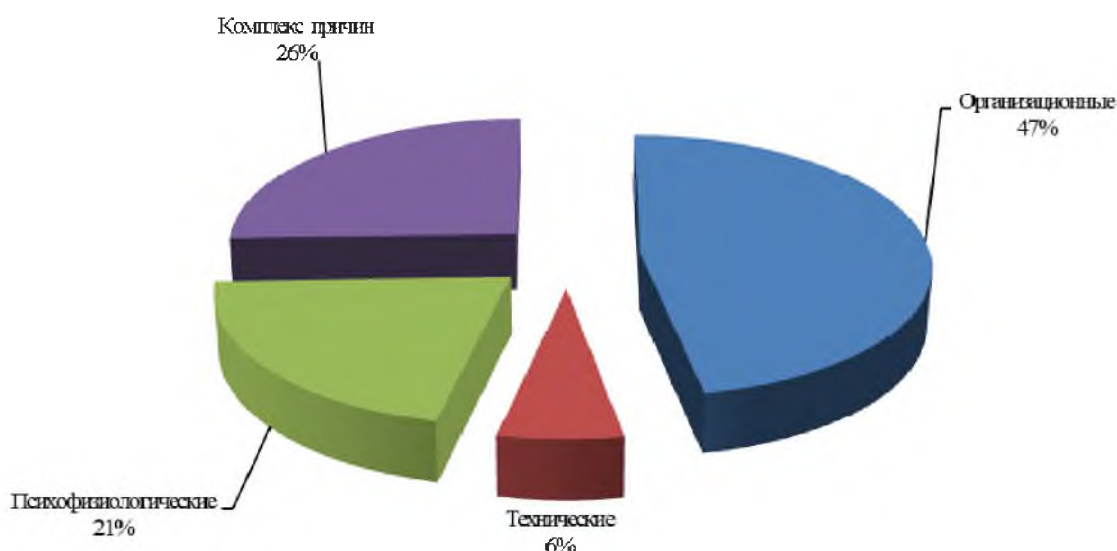


Рисунок 4.10. Распределение причин травматизма в КПП в 1987 г. среди мужчин и женщин: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

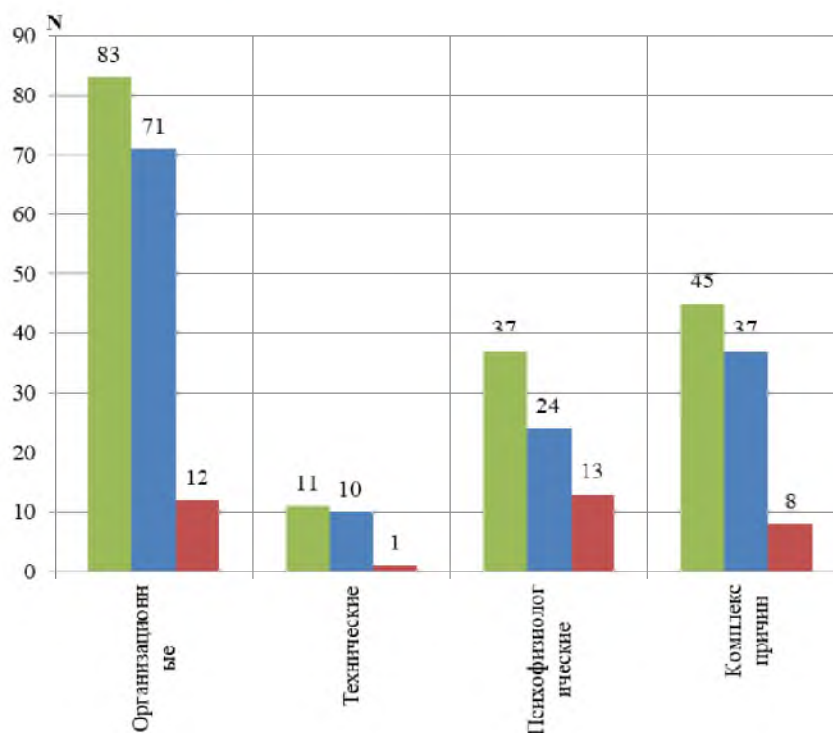


Рисунок 4.11. Распределение причин травматизма в КПП в 1987 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин

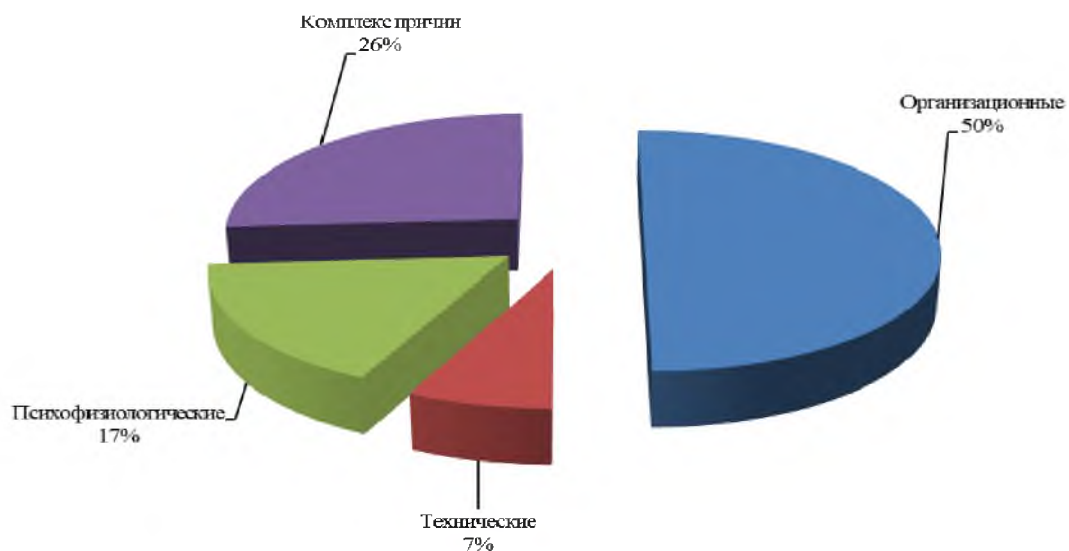


Рисунок 4.12. Распределение причин травматизма в КПП среди мужчин в 1987 г.: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

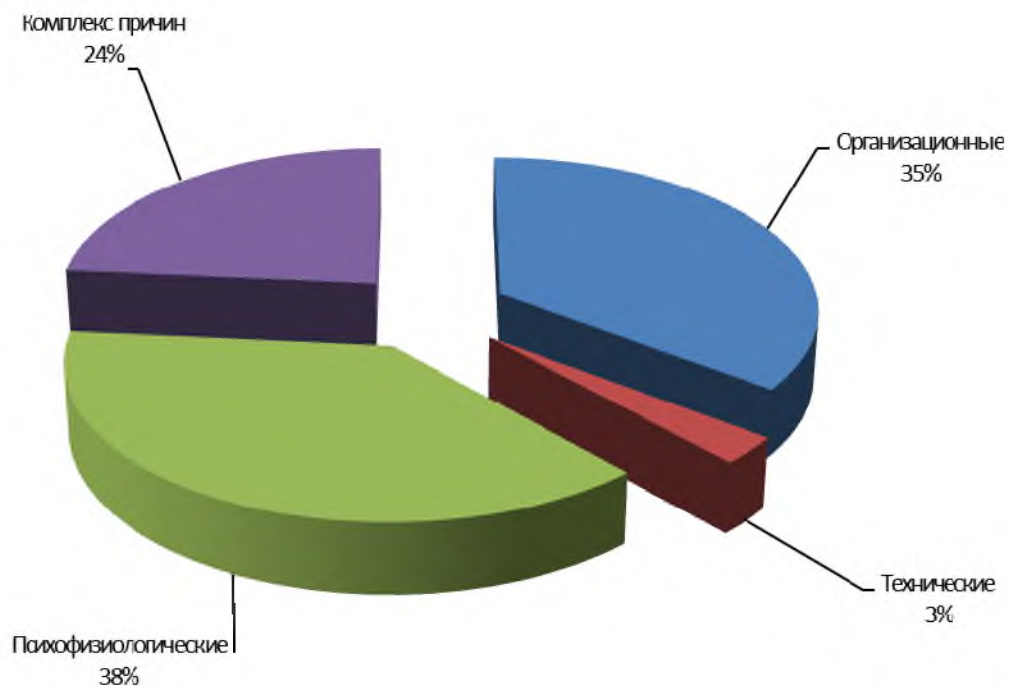


Рисунок 4.13. Распределение причин травматизма в КПП среди женщин в 1987 г.: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

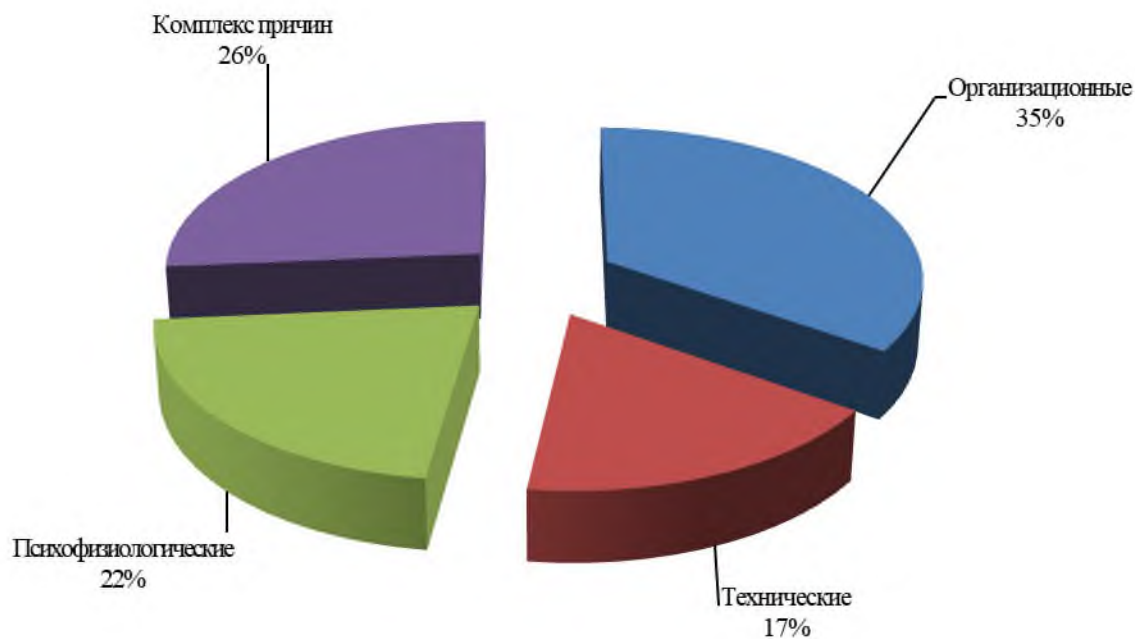


Рисунок 4.14. Распределение причин травматизма в КПП в 1989 г.: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

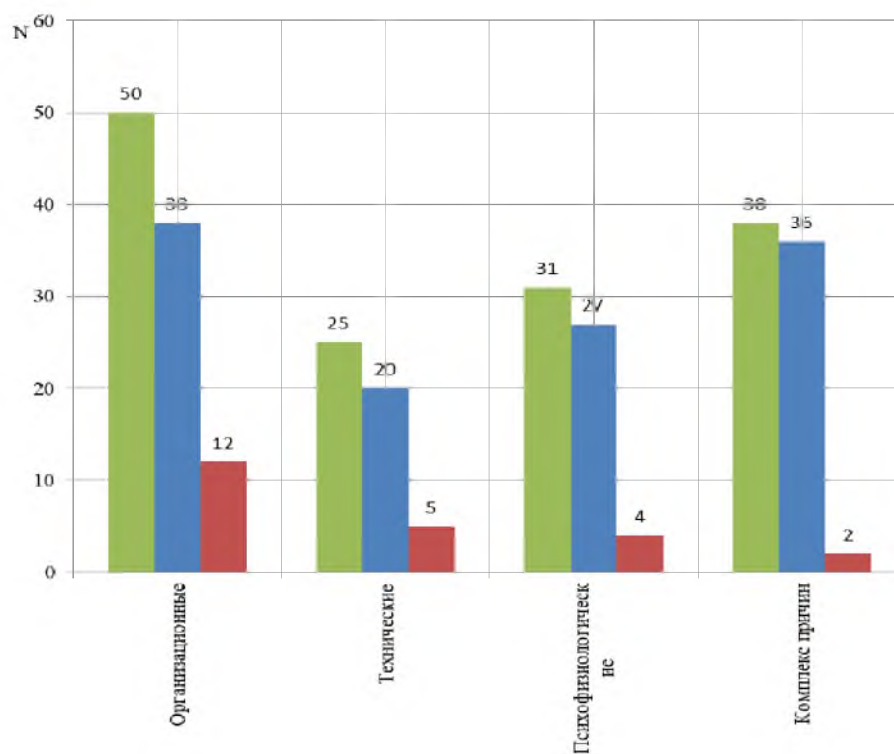


Рисунок 4.15. Распределение причин травматизма в КПП в 1989 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин

Психофизиологические причины составляют от ~14% в 1985 г. до 22% в 1989 г., что свидетельствует об их росте, который связан, во-первых, с повышением износа оборудования [196], во-вторых, с тем, что последнее имеет невысокие эргономические показатели, которые при высокой физической нагрузке работников в КПП [197] существенно влияют на их самочувствие и усталость в процессе выполнения рабочей программы.

Анализ распределения причин травматизма в КПП среди мужчин и женщин в указанные годы (рисунки 4.7...4.17) свидетельствует о том, что его характер является неизменным. Во-первых, это значительное превышение как общего количества НС, так и с мужчинами по всем группам причин – организационным, техническим, психофизиологическим и комплексным. Во-вторых, организационные и комплексные причины травматизма как мужчин, так и женщин, являются наиболее значительными.

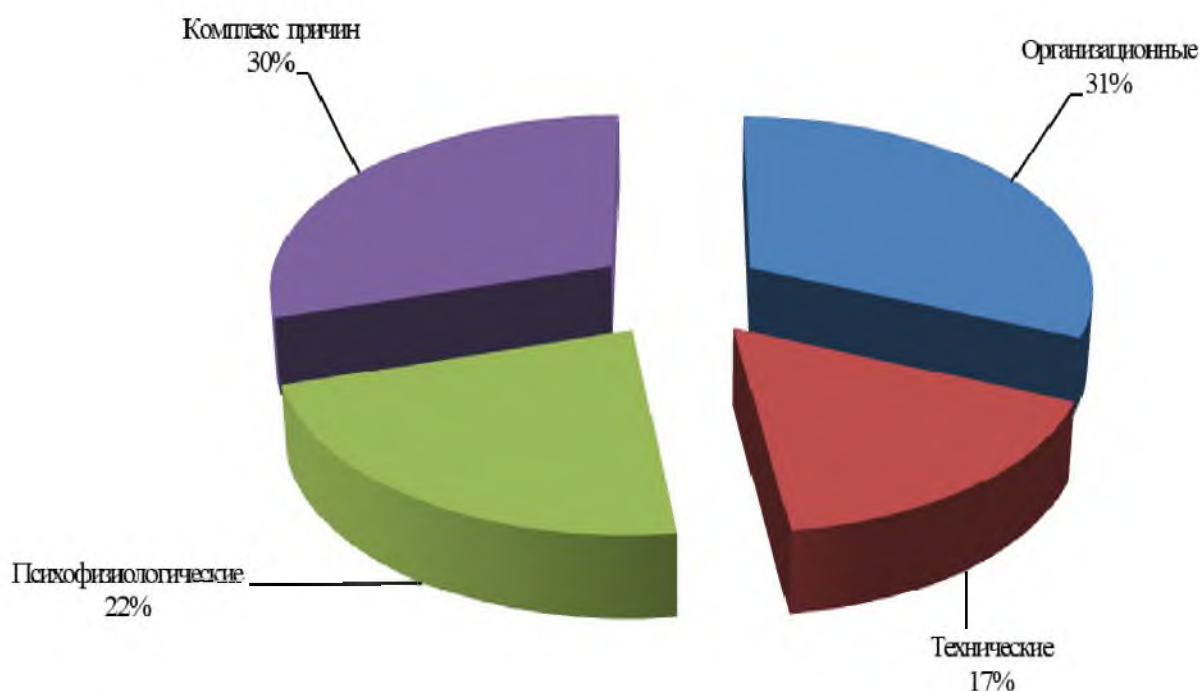


Рисунок 4.16. Распределение причин травматизма в КПП среди мужчин в 1989 г.: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

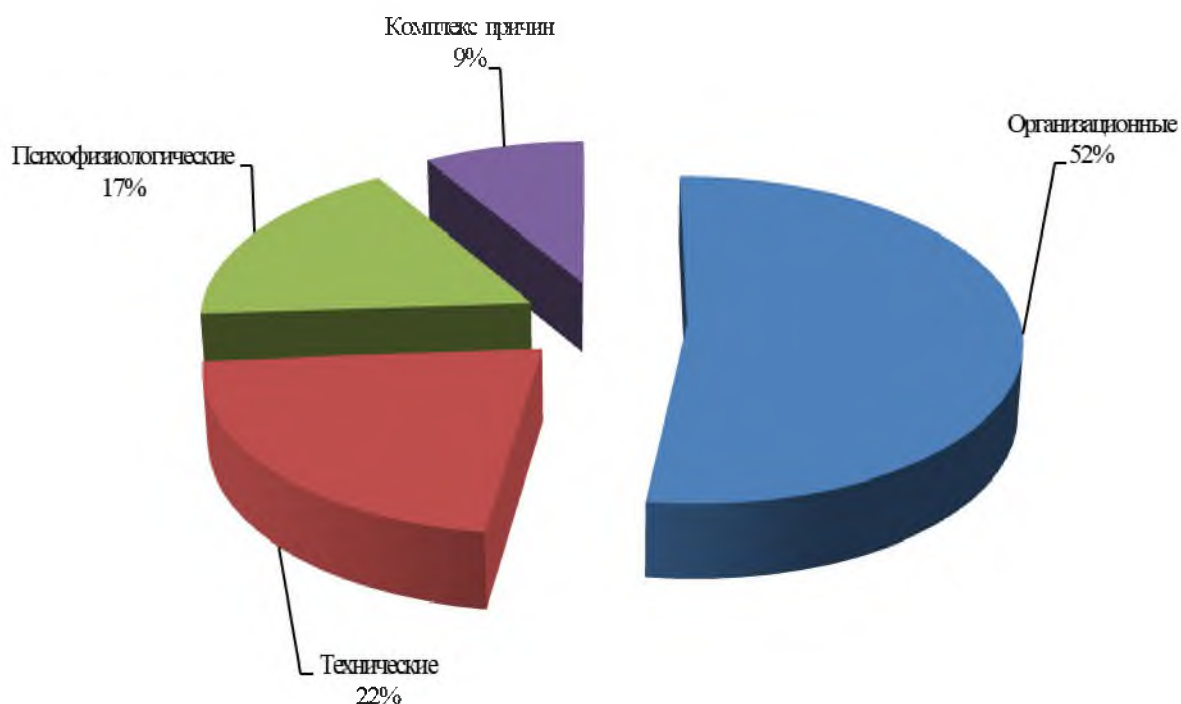


Рисунок 4.17. Распределение причин травматизма в КПП среди женщин в 1989 г.: ■ – организационные; ■ – технические; ■ – психофизиологические; ■ – комплекс причин

В 1985 г. организационные причины привели к 54% травматизма мужчин, комплексные – до 28%, психофизиологические – до 12%, а технические – до 6%. Касательно женщин это распределение таково: 1 – 47%; 2 – 31%; 3 – 22%; 4 – 0%. Однако надо учесть, что при этом из общего совокупного количества травмированных мужчин и женщин организационные причины для первых составляют 54%, для вторых – 47%; технические – соответственно 6% и 0%; психофизиологические – 12% и 22%; комплексные – 28% и 31%. В 1987 г. и в 1989 г. наблюдается почти такая же зависимость с незначительным перераспределением причин травмирования между организационными и комплексными.

В отношении же к общему количеству травмированных мужчин и женщин в 1985 году организационные причины имеют 52%, комплексные – 29%, психофизиологические – 14%, технические – 5% соответственно (рисунки 4.7...4.9).

Распределение причин травматизма в КПП среди женщин по указанным го-

дам (рисунки 4.9...4.17) свидетельствует о том, что и для них преобладают организационные (в 1985 г. – 47%, в 1987 г. – 35%, в 1989 г. – 52%) и комплексные (в 1985 г. – 31%, в 1987 г. – 24% и в 1989 г. – 22%) причины.

При этом отмечен рост доли психофизиологических причин травматизма в КПП женщин в 1987 г. до 24% по сравнению с 1985 г. – 6% и в 1989 г. – 4%. Также зафиксирован рост в 1989 г. доли травматизма по техническим причинам в КПП среди женщин до 22%: в 1985 г. их не было вообще, а в 1987 г. – 9%.

Анализируя вышесказанное, можно сделать следующий вывод: психофизиологические причины травматизма в процентах колеблются от 18 % до 27% от общего количества травм за исследуемый период (довольно большой показатель), что позволило подтвердить необходимость дальнейшего исследования методов снижения воздействия психофизиологических факторов на обслуживающий персонал.

4.3 Исследование распределения НС в КПП по месту происшествия

Выполненные исследования распределения НС в КПП по месту происшествия (таблица 4.4, рисунки 4.18...4.28) в указанных годах свидетельствуют о том, что их максимальные значения связаны с рабочим местом. Так, в 1985 г. на рабочем месте произошло 88% всех НС в КПП, в 1987 г. – 86%, в 1989 г. – 81%. На территории непроизводственных участков произошло в 1985 г. 7% НС от общего их количества, в 1987 г. – 8% и в 1989 г. – 12%. Что касается НС, которые произошли на территории предприятия, то их доля в общем количестве составляла в 1985 г. 5%, в 1987 г. – 6% и в 1989 г. – 7% [198].

В связи с незначительными количественными показателями распределение НС в КПП по месту события по годам, а именно в подсобных помещениях и при выполнении общественных работ, при построении графического материала (рисунки 4.18–4.28) не было учтено.

Таблица 4.4. Распределение НС в КПП по месту события по годам

№ п/п	Место события	Общее количество травм среди мужчин			Общее количество травм среди женщин			Общее количество травм в КПП		
		1985	1987	1989	1985	1987	1989	1985	1987	1989
1	На рабочем месте	127	124	96	27	25	19	154	149	115
2	На территории цеха	9	9	16	3	4	2	12	13	18
3	На территории предприятия	7	7	8	1	3	2	8	10	10
4	В подсобных помещениях	0	2	1	0	0	0	0	2	1
5	При выполнении общественных работ	0	0	0	1	2	0	1	2	0
6	Всего	143	142	121	32	34	23	175	176	144

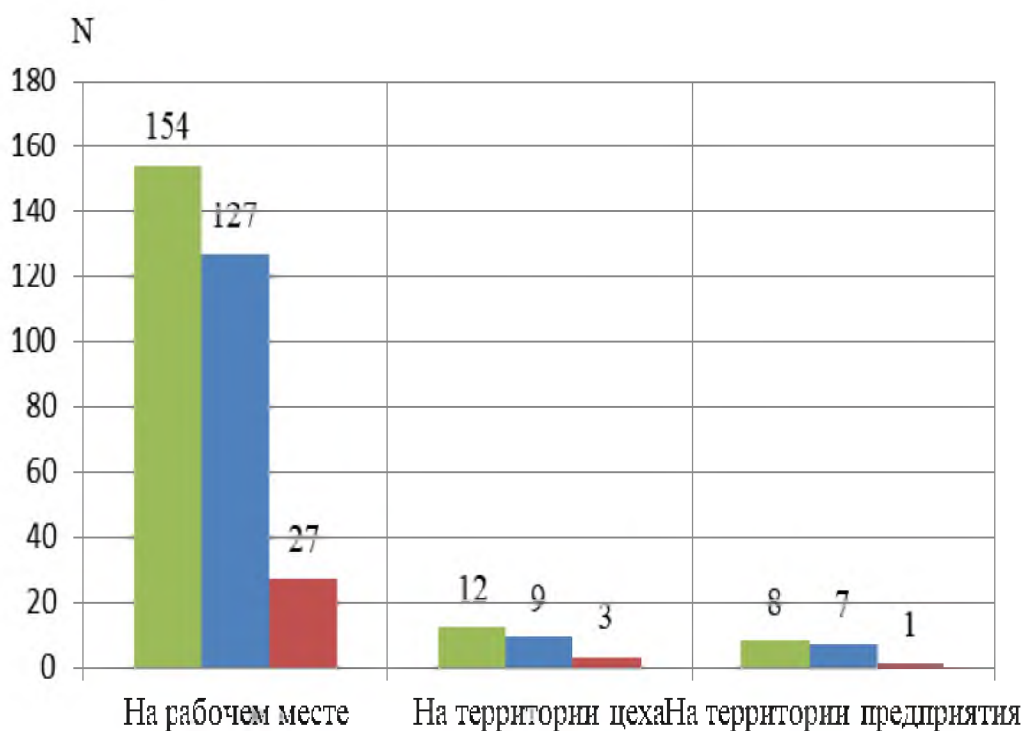


Рисунок 4.18. Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1985 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин

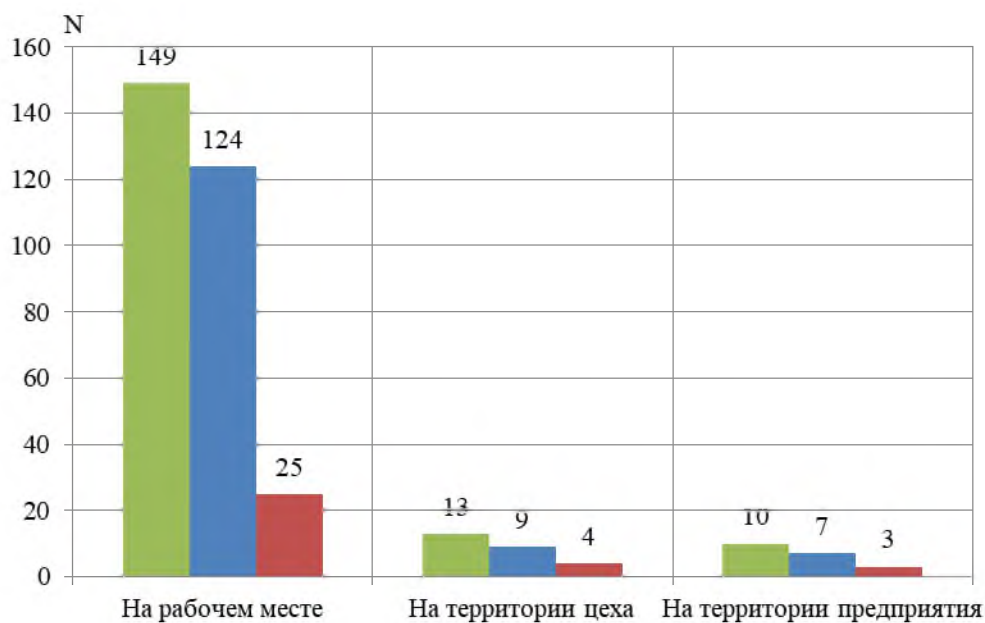


Рисунок 4.19. Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1987 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин

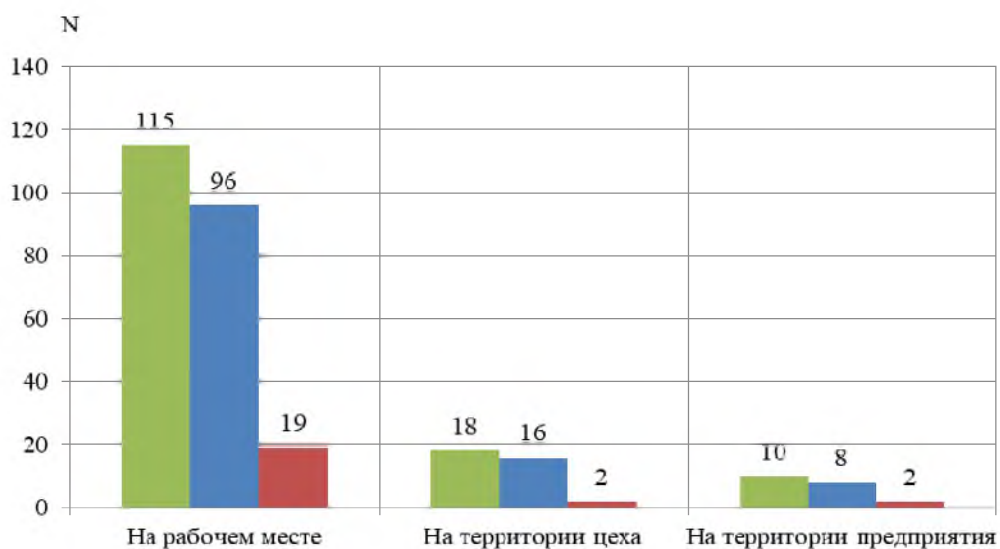


Рисунок 4.20. Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1989 г. среди мужчин и женщин: ■ – общее количество НС; ■ – НС среди мужчин; ■ – НС среди женщин



Рисунок 4.21. Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1985 г.: ■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия



Рисунок 4.22. Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1987 г.: ■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия



Рисунок 4.23. Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1989 г.:

■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия



Рисунок 4.24. Распределение НС в КПП по месту происшествия среди мужчин в 1985 и 1987 гг.:

■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия

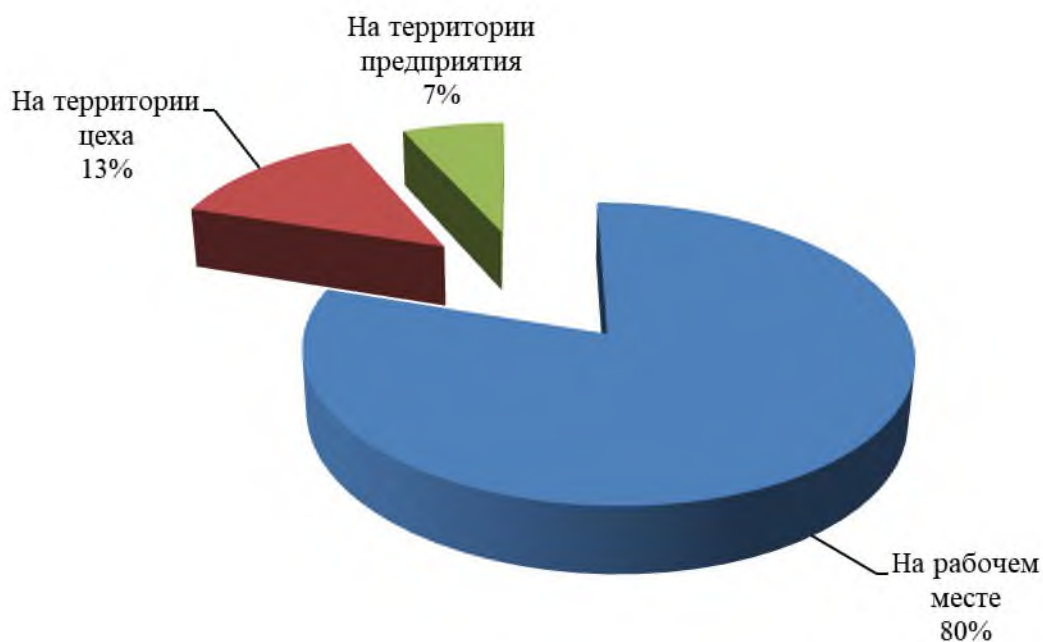


Рисунок 4.25. Распределение НС в КПП по месту происшествия среди мужчин в 1989 г.: ■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия

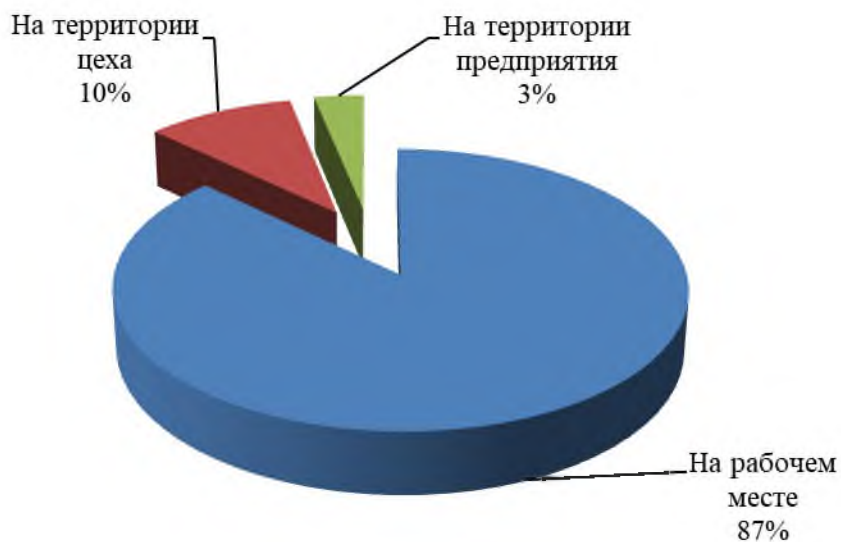


Рисунок 4.26. Распределение НС в КПП по месту происшествия среди женщин в 1985 г.: ■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия

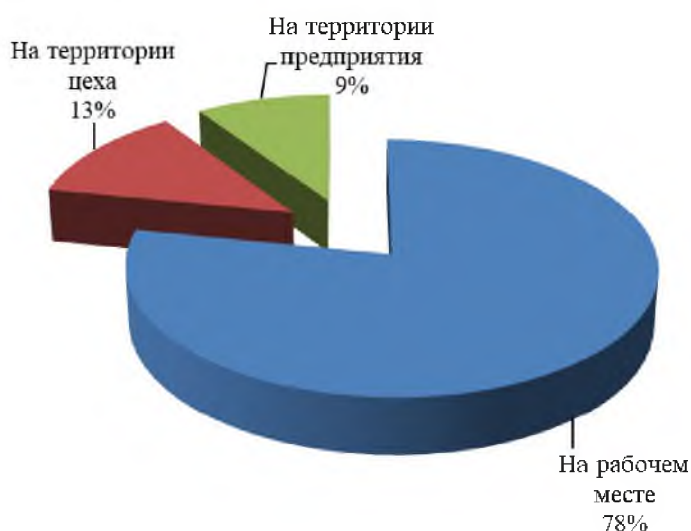


Рисунок 4.27. Распределение НС в КПП по месту происшествия среди женщин в 1987 г.: ■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия



Рисунок 4.28. Распределение НС в КПП по месту происшествия среди женщин в 1989 г.: ■ – общее количество НС на рабочем месте; ■ – общее количество НС на территории цеха; ■ – общее количество НС на территории предприятия

Приведенные данные свидетельствуют о том, что основные рискообразующие причины связаны с оборудованием, его надежностью, характером труда и его напряженностью, физическим и психофизиологическим состоянием работников, их

профессиональными навыками и умениями, способностями к обучению и т. д. Но и совокупный вклад НС, произошедших на территории цеха и предприятия, в общее их количество привлекает внимание, поскольку он колеблется от 12% в 1985 г. и 14% в 1987 г. до 19% в 1989 г., что является значительным резервом по снижению количества НС в КПП, ведь, как правило, такие места событий мало связаны с состоянием технических систем и вероятностью их безотказной работы.

Они в первую очередь, а в частности в производственных помещениях, связаны с существующими строительно-планировочными решениями, которые менялись при переоснащении их новым оборудованием, характерами технологических процессов, размещением основного и вспомогательного оборудования, наличием возвращения и пересечения путей транспортировки заготовок и готовых деталей, схемой размещения складских мест и т. д., то есть с организационными причинами.

Во вторую очередь такие места травмирования связаны с психофизиологическими особенностями работников, неспособных до конца понимать смысл выражения «нельзя», который, как правило, является основным во всех должностных инструкциях по охране труда. И в третью очередь это места возникновения НС, связанные с отсутствием инструктивно закреплённых путей передвижения работников как в производственных помещениях, так и на территории предприятия.

Необходимо отметить, что распределение НС в КПП по месту происшествия отдельно среди мужчин и женщин за указанные годы почти не отличается от вышерассмотренного общего положения дел. Так, для мужчин (рисунки 4.24, 4.25) показатель НС складывается следующим образом: на рабочем месте – от 81% до 89%; на территории цеха – от 6%; на территории предприятия – от 5% до 6%. Данные по 1985 и 1987 гг. почти одинаковы, поэтому на рисунке 4.24 предоставлено одно графическое представление распределения количества НС в КПП по месту происшествия среди мужчин в эти годы. Такая же картина травмирования и среди женщин: на рабочем месте – от 78% до 87%; на территории цеха – от 9% до 13%; на территории предприятия – от 3% до 9% (рисунки 4.26–4.28).

Материалы настоящего раздела опубликованы в следующих научных работах [191, 195198]

Выводы

1. Распределение основных причин травматизма в КПП, как в общем количестве НС, так и отдельно для мужчин и женщин, свидетельствует о том, что причины организационного характера имеют львиную долю (45%) среди других, а комплексные занимают второе место (~30%), на третьем месте психофизиологические (~20%), что достаточно большой процент. Данные сведения подтверждают необходимость разработки методов и средств снижения влияния психофизиологических факторов на рабочих.

2. Экспериментальные исследования показателей травматизма различных цехов машиностроительного предприятия свидетельствуют о том, что предельные и средние значения общегодовых коэффициентов частоты $K_{\text{ч}}$ и тяжести $K_{\text{т}}$ существенно выше для кузнечно-прессового производства по сравнению с другими. Поэтому для повышения показателей надежности оборудования необходимо проводить профессиональный отбор рабочих, улучшить мотивацию работников к соблюдению правил охраны труда, оптимизировать режимы работы и отдыха.

3. Установлено, что в августе всех исследованных лет количество НС в КПП является стабильно высоким (от 17 до 20), а в июле и сентябре – низким: соответственно от 9 до четырнадцатого июля и от 9 до одиннадцатого сентября. Это указывает на значительное повышение интенсивности труда с существенным повышением влияния психофизиологических ВОПФ на показатели травматизма в период нахождения максимального количества работников в отпусках при неизменной программе выпуска продукции.

4. Исследованием характера распределения НС в КПП по месту происшествия установлено, что его максимальные показатели связаны с рабочим местом (РМ) (от 81% до 88% всех НС).

РАЗДЕЛ 5.

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Как показано ранее, ЧФ оказывает значительное, а в иных случаях и определяющее влияние на создание аварийных ситуаций при эксплуатации металлургического оборудования, которое в большинстве случаев представляет собой сложные технические системы (СТС) [92, 94, 96, 97].

СТС не могут нормально функционировать без такого важного звена, как человек. Согласно изученной литературе, около 40% отказов различных технических систем прямо или косвенно связано с ЧФ, а 20% – напрямую с человеком [115–120]. В этой связи актуально создание моделей оценки изменения надежности металлургического оборудования (детерминистских, статистических, вероятностных, имитационных и др.), в которых наряду с параметрами надежности технических узлов и систем, входящих в СТС, представлены показатели, связанные с ЧФ, влияющие на общую надежность системы.

Наиболее простым подходом для учета ЧФ в общей надежности системы «человек – машина» является статистический анализ случаев, при которых возникали аварии, и оценка статистической частоты головного события (отказа всей системы), вызванного техническими причинами или неправильными (случайными, непреднамеренными или непрофессиональными) действиями оператора [16, 17, 29]. В этом случае используется статистика, в которой предполагается независимость действия причин множества отказов по техническим причинам или в результате деятельности определенной направленности человека-оператора [30, 31, 33]. Такой подход, в котором человеческий и технические факторы оцениваются отдельно друг от друга по влиянию на отказ всей СТС, дает достаточно большую погрешность в моделировании и, с другой стороны, уменьшает маневренность в управлении техническими рисками через возможность изменения ЧФ.

Отсутствие надежной статистики для моделирования человека-оператора как системного звена в СТС, большая вариабельность и подверженность к изме-

нению показателей оператора, принятых к расчету, приводят к появлению большого числа неопределенностей, в результате чего классические математические модели с их традиционной точностью не дают приемлемого прогноза при анализе поведения СТС в сложных ситуациях [200, 201, 202].

В данной работе предлагается подход комбинирования вероятностных моделей оценки надежности системы «человек – машина» и имитационных моделей, позволяющих воспроизводить различные ситуации изменения характеристик человека как элемента СТС и их влияния на надежность системы в целом.

В применении к оценке безотказности металлургического оборудования с учетом ЧФ предлагается гибридная модель, которая реализуется как последовательная система взаимосвязанных задач, каждая из которых имеет как самостоятельное значение, так и является ступенькой для решения следующей задачи. На рисунке 5.1 представлена обобщенная схема такой гибридной модели.

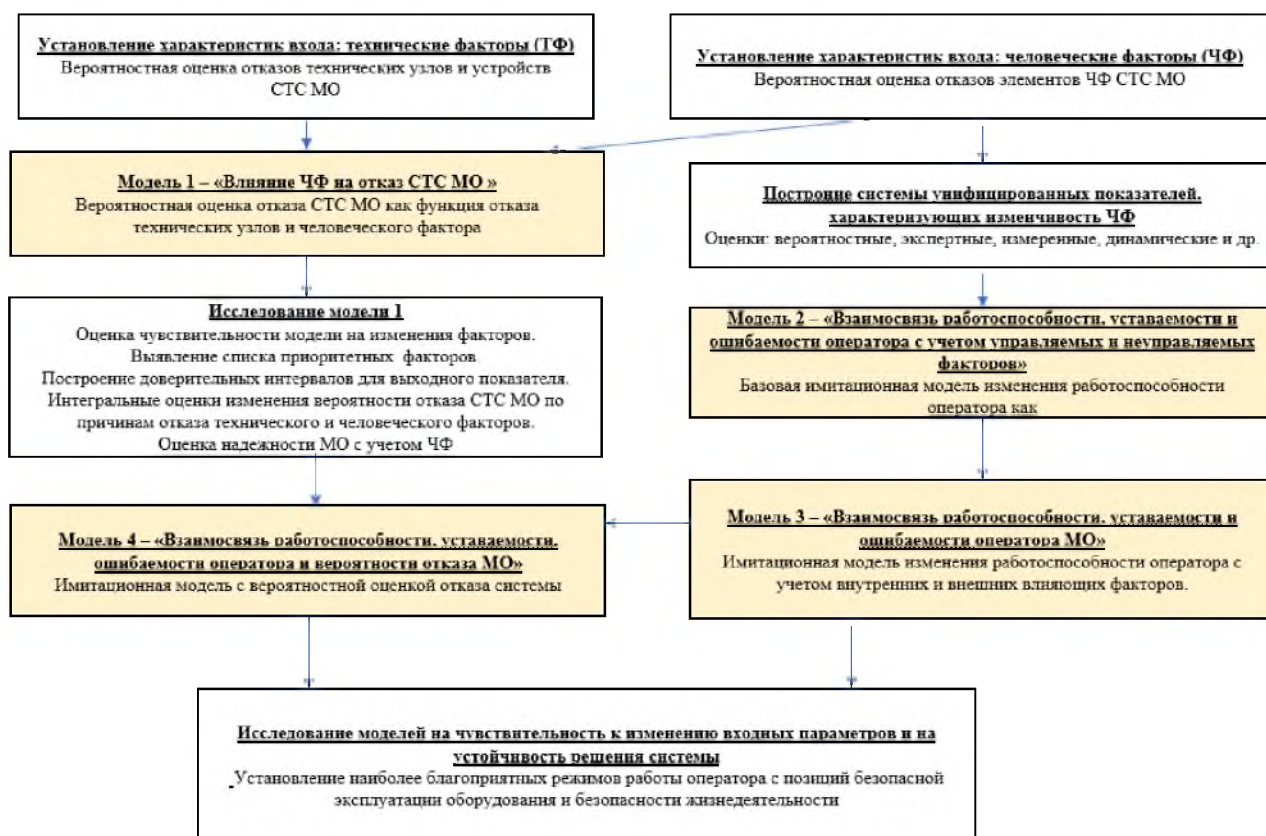


Рисунок 5.1. Схема исследования влияния ЧФ на надежность металлургического оборудования

5.1 Модель 1. Влияние человеческого фактора на безотказность оборудования металлургических предприятий

В основе данной модели лежит представление сложной технической системы МО, управляемой человеком-оператором, в виде системы связанных элементов, часть из которых соответствует основным техническим узлам оборудования, отказ которых может привести к отказу всего устройства, а другая часть характеризует оператора (точнее, его действия или бездействие, приводящие к созданию аварийной ситуации).

Модель носит вероятностный характер. Для построения модели используется «дерево отказов», где на основе входных данных о вероятностях отказов простых элементов рассчитывается вероятность головного события – отказа всей системы [8, 145, 146].

Влияние ЧФ на безотказность металлургического оборудования определяется путем введения в схему «дерева отказов» событий, связанных с ошибками оператора, как отдельных элементов схемы, расчетом вероятности всего устройства и выявлением в итоговой оценке роли ЧФ [203].

Модель 1 реализуется следующим образом:

Шаг 1. Построение базовой модели.

– Анализируется работа выбранного оборудования с точки зрения возможности отказа всей системы при отказе технических узлов и ошибок оператора.

– Строится «дерево отказов».

– По справочным, расчетным или экспериментальным данным устанавливаются вероятности отказов технических элементов и ошибок оператора(ов) в течение определенного времени T .

– На основании теорем алгебры вероятностей определяется вероятность $P(S)$ финального события S – «Отказ всей системы», которую представим как функцию входных вероятностей в следующем виде [88, 204, 205, 206]:

$$R = P(S) = f(P(A_{u1}), P(A_{u2}), \dots, P(A_{un}), P(A_{T1}), P(A_{T2}), \dots, P(A_{Tm})), \quad (5.1)$$

где $P(\dots)$ – вероятность соответствующего события;

$A_{ч1}, A_{ч2}, \dots, A_{чn}$, – события, соответствующие ошибочным действиям человека;

$A_{Т1}, A_{Т2}, \dots, A_{Тm}$ – события, соответствующие отказам технических узлов устройства;

n или m – число элементов в расчетной схеме, связанных с человеческим и техническими факторами соответственно;

вид функции f определяется исходя из принятой схемы «дерева отказов» и формул теории вероятностей.

Примем обозначения: $P(A_{ч1}) = p_{ч1}, P(A_{ч2}) = p_{ч2}, \dots, P(A_{чn}) = p_{чn}$,

$$P(A_{Т1}) = p_{Т1}, P(A_{Т2}) = p_{Т2}, \dots, P(A_{Тm}) = p_{Тm}.$$

Тогда формула (5.1) примет вид

$$R = f(p_{ч1}, p_{ч2}, \dots, p_{чn}, p_{Т1}, p_{Т2}, \dots, p_{Тm}). \quad (5.2)$$

Шаг 2. Исследование модели на чувствительность к изменению входных параметров.

Под чувствительностью модели в данном случае понимается определение чувствительности конечной вероятности отказа всей системы R к изменениям значений вероятностей отдельных элементов системы $p_{ч1}, p_{ч2}, \dots, p_{чn}, p_{Т1}, p_{Т2}, \dots, p_{Тm}$ в определенных пределах [207–210].

В данной работе анализируется чувствительность модели 1 при различных вариантах изменения входных параметров: 1%-ное изменение показателей, а также изменения в пределах доверительного интервала. При этом показатели изменяются как по одному, так и по группам, включая изменения всех показателей одновременно.

Случай А. Чувствительность модели к поодиночному изменению входных показателей.

Пусть вероятность p^* одного из элементов системы (например, из группы ЧФ) в модели 1 получит приращение Δp^* , которое может быть как положительного, так и отрицательного знака. Тогда изменение выходного показателя R можно оценить по абсолютной величине по формуле (5.3)

$$\Delta R_* = f(p_{q1}, \dots, p_* + \Delta p_*, \dots, p_{qn}, p_{T1}, p_{T2}, \dots, p_{Tm}) - f(p_{q1}, \dots, p_*, \dots, p_{qn}, p_{T1}, p_{T2}, \dots, p_{Tm}) \quad (5.3)$$

и по относительной величине по формуле (5.4)

$$\delta R_* = \frac{\Delta R_*}{f(p_{q1}, \dots, p_*, \dots, p_{qn}, p_{T1}, p_{T2}, \dots, p_{Tm})} \cdot 100\% \quad (5.4)$$

Наиболее представительной оценкой чувствительности модели является относительная оценка (5.4), которую и будем называть показателем чувствительности модели к изменению входного параметра p^* . Данной процедуре можно подвергнуть все входные вероятности как группы ТФ, так и группы ЧФ [211].

Для сравнительной оценки влияния входных вероятностей на конечный результат выберем 1%-ное увеличение каждого из факторов ($\Delta p_* = 0,01p_*$). В результате получим вектор чувствительностей (5.5)

$$\bar{d} = \{\delta R_{q1}, \dots, \delta R_{qn}, \delta R_{T1}, \dots, \delta R_{Tm}\}, \quad (5.5)$$

каждая из компонент которого показывает, на сколько процентов изменится выходной показатель R , если соответствующая компоненте входная вероятность p^* увеличится на 1%.

Ранжирование компонент вектора чувствительностей в порядке убывания позволяет выявить в системе МО наиболее значимые с позиций безотказности технические и человеческие факторы. В приоритете будут элементы с наибольшей чувствительностью.

Случай Б. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей.

Этот случай является продолжением и обобщением случая А. Только показатели изменяются одновременно и по группам. Соответственно получаются разные оценки чувствительности модели.

1. Чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ:

$$\delta R_{\text{ЧФ}} = \frac{f(p_{\text{ч1}} + \Delta p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}} + \Delta p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}}) - f(p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}})}{f(p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}})} \cdot 100\% \quad (5.6).$$

2. Чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ:

$$\delta R_{\text{ТФ}} = \frac{f(p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}} + \Delta p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}} + \Delta p_{\text{Тm}}) - f(p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}})}{f(p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}})} \cdot 100\% \quad (5.7).$$

3. Чувствительность модели к одновременному изменению вероятностей групп ТФ и ЧФ:

$$\delta R_{\text{Ч+Т}} = \frac{f(p_{\text{ч1}} + \Delta p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}} + \Delta p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}} + \Delta p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}} + \Delta p_{\text{Тm}}) - f(p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}})}{f(p_{\text{ч1}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, \dots, p_{\text{Тm}})} \cdot 100\% \quad (5.8).$$

Сравнение результатов оценок чувствительности по формулам (5.6)–(5.8) позволит оценить роль ЧФ в безотказном функционировании сложных технических систем металлургического оборудования, а ранжированный ряд компонент вектора \bar{d} поможет выявить приоритетные направления для улучшений характеристик надежности МО как за счет модернизации технических узлов системы, так и путем оптимизации действий и условий труда человека-оператора.

Случай В. Оценка чувствительности модели к изменениям входных показателей в пределах их доверительных интервалов.

Поскольку используемые в модели 1 входные показатели вероятности отказов $p_{\text{ч1}}, p_{\text{ч2}}, \dots, p_{\text{чn}}, p_{\text{Т1}}, p_{\text{Т2}}, \dots, p_{\text{Тm}}$ являются, как правило, результатами статистической обработки данных, для их адекватного применения недостаточно исполь-

зовать только точечные оценки. Необходимо учитывать разброс входных вероятностей в пределах их доверительных интервалов (p_i^h, p_i^g) , который строится с использованием соответствующего закона распределения.

Тогда для каждой входной вероятности отказа p_i строится доверительный интервал, далее выполняется расчет чувствительности модели по формуле (5.4) для нижнего и верхнего конца доверительного интервала. После этого делается прогноз на верхний и нижний пределы изменения выходной вероятности R отказа всей системы.

Данный случай позволит оценить влияние ЧФ в отказе МО в интервальной форме, в результате чего надежность выводов будет существенно повышена. Ранжирование факторов отказа, связанных как с техническими причинами, так и с ЧФ, также примет интервальную форму.

5.2 Модель 2. Взаимосвязь работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора

Данная модель относится к классу имитационных моделей.

Основная задача, решаемая данной моделью, – это прогноз динамики изменения факторов, влияющих на функциональные характеристики оператора МО, в результате чего оператором может быть совершена ошибка, приводящая к выходу из строя всей системы. В качестве таких функциональных характеристик нами выбраны факторы: работоспособность (X), утомляемость (Y) и ошибаемость (Z) оператора в течение рабочего дня.

Выбранные показатели X , Y и Z в моделях 2 и 3 берутся в унифицированном виде с интервалом значений для каждого $[0, 1]$. Крайние значения интервала являются маркерами для переменных и имеют однозначную и понятную интерпретацию: 0 обозначает, что описанное термином качество отсутствует; 1 – напротив, соответствует максимально возможному состоянию описанного качества.

Кроме этого, мы предлагаем шкалу $[0, 1]$ классифицировать по трем градациям качественными категориями А, В и С (таблица 5.1).

Таблица 5.1. Шкалы оценки функциональных характеристик оператора в системе «человек – машина»

Интервал всех значений	Классы интервалов разбиения		
	Класс С	Класс В	Класс А
$[0, 1]$	$[0, 0.3]$	$(0.3, 0.7]$	$(0.7, 1]$
Показатели	Описание классов для данного показателя		
X	Низкая работоспособность	Средняя работоспособность	Высокая работоспособность
У	Низкая утомляемость оператора	Средняя утомляемость оператора	Высокая утомляемость оператора
Z	Низкая степень ошибаемости оператора	Средняя степень ошибаемости оператора	Высокая степень ошибаемости оператора

Данные шкалы используются на различных этапах создания модели и ее решения для диагностики текущего состояния системы по результатам решения соответствующей системы уравнений.

Модель 2 строится на общих допущениях о характере изменения факторов со временем и по отношению друг к другу [212–216]:

- повышение интенсивности работы приводит к увеличению утомляемости сотрудника;
- увеличение утомляемости оператора приводит к снижению работоспособности;
- ошибаемость оператора во время работы увеличивается при увеличении степени его утомляемости;
- изменения X , Y и Z во времени без учета ограничений, накладываемых другими факторами, (внутреннее саморазвитие) подчиняются логистическому закону. Аналог такой модели в биологии – модель Ферхюльста [217]:

$$\frac{dx}{dt} = ax\left(1 - \frac{x}{K}\right), \quad (5.9)$$

где K – емкость популяции, в нашем случае – параметр, регулирующий верхнюю границу показателя,

a – характеризует процесс саморазвития при отсутствии сдерживающих факторов.

В настоящее время имеются уточняющие модели [217], использующие нелинейную форму первого сомножителя формулы (5.9)

$$\frac{dx}{dt} = \frac{ax}{x + \beta} \cdot \left(1 - \frac{x}{K}\right), \quad (5.10)$$

которые регулируют процесс при малых значениях X .

Схема взаимосвязей показателей X , Y , Z , внешних и внутренних влияющих факторов показана на рисунке 5.2.

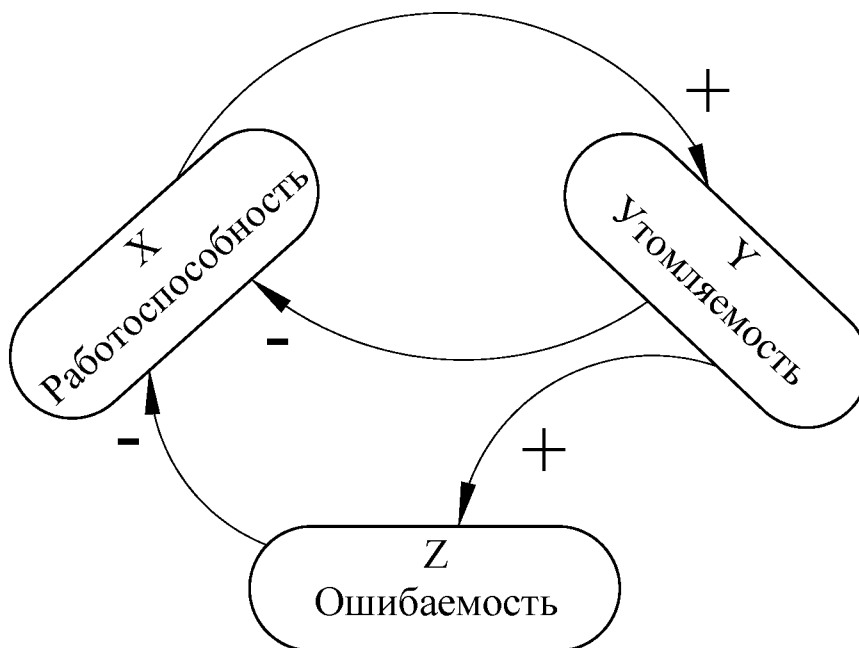


Рисунок 5.2. Граф связей функциональных характеристик человека-оператора

На рисунке 5.2 отражено взаимовлияние показателей-переменных X , Y , Z . Схема организована в виде ориентированного графа, где вершинами являются по-

казатели X, Y, Z, направление дуг указывает в сторону показателя, на который оказывается влияние, а знак дуги отражает прямую (+) или обратную (-) связь.

Модель, удовлетворяющая описанным выше допущениям, может быть представлена в непрерывной форме в виде систем дифференциальных уравнений (5.11) либо в дискретной форме рекуррентных соотношений (5.13).

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a_1 \frac{x}{d_1x + c_1} \cdot \left(1 - \frac{x}{k_1}\right) - b_1xy - h_1xz; \\ \frac{dy}{dt} = a_2 \frac{y}{d_2y + c_2} \cdot \left(1 - \frac{y}{k_2}\right) + b_2xy; \\ \frac{dz}{dt} = a_3 \frac{z}{d_3z + c_3} \cdot \left(1 - \frac{z}{k_3}\right) + b_3yz. \end{cases} \quad (5.11)$$

Начальные условия системы (5.11) имеют вид

$$x_0 = x(0), y_0 = y(0), z_0 = z(0). \quad (5.12)$$

Параметры a_i , b_i , k_i , h_1 определяются в результате предварительного тестирования работника, а в дальнейшем корректируются дополнительными коэффициентами, соответствующими изменениям ограничивающих факторов; параметры c_i и d_i являются параметрами формы нелинейности, используемой в правой части системы (5.11).

Для выполнения расчета приведем систему (5.11) к рекуррентной форме, используя шаг дискретизации по времени $\Delta t = 1$ мин :

$$\begin{cases} x_{i+1} = x_i + a_1 \frac{x_i}{d_1x_i + c_1} \cdot \left(1 - \frac{x_i}{k_1}\right) - b_1x_iy_i - h_1x_iz_i; \\ y_{i+1} = y_i + a_2 \frac{y_i}{d_2y_i + c_2} \cdot \left(1 - \frac{y_i}{k_2}\right) + b_2x_iy_i; \\ z_{i+1} = z_i + a_3 \frac{z_i}{d_3z_i + c_3} \cdot \left(1 - \frac{z_i}{k_3}\right) + b_3y_iz_i. \end{cases} \quad (5.13)$$

Система (5.13) решается следующим образом:

- задаются начальные условия переменных: x_0, y_0, z_0 – нулевая итерация системы, соответствует началу работы оператора;

- вычисляются правые части системы (5.13) при нулевой итерации и получаем:

- x_1, y_1, z_1 – первая итерация системы, соответствует моменту времени $t=1$ мин;

- вычисляются правые части системы (5.13) при первой итерации:

- x_2, y_2, z_2 – вторая итерация системы, соответствует моменту времени $t=2$ мин;

- и т. д.

Одной из вычислительных программ для решения системы (5.13) является табличный процессор Microsoft Excel, который представляет собой пакет электронных таблиц, позволяющий реализовать алгоритм последовательного расчета рекуррентных уравнений. Данное программное средство используется на первом этапе решения системы, его преимущество – в возможностях составлять и оценивать разные сценарии связей показателей, в возможности варьировать и подбирать входные параметры. Особенно это важно на начальной стадии моделирования в условиях выбора начальных приближений основных параметров модели.

Решением системы (5.13) являются три сопряженных временных ряда значений показателей X, Y, Z , которые могут быть проиллюстрированы в графической форме на рисунке 5.3 (а и б – разные ситуации).

Исследование поведения переменных X, Y, Z в зависимости от параметров системы, начальных данных, корректирующих коэффициентов поможет лучше понять их взаимовлияние и затем подобрать наиболее оптимальный режим работы оператора.

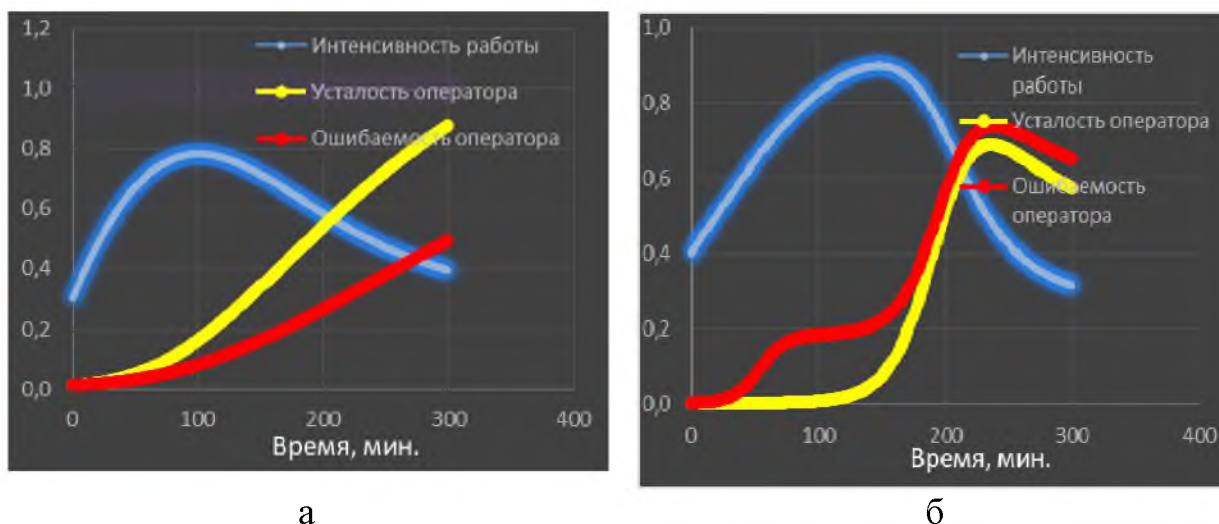


Рисунок 5.3. Изменение показателей работы оператора МО

Представляет интерес тестирование с помощью представленной модели влияния краткосрочных перерывов на уменьшение уровня ошибаемости оператора, что позволит повысить надежность работы оператора.

Важной частью данного этапа моделирования является проверка модели на адекватность. Параметры модели подбираются на основе экспериментальных данных, затем решения систем (5.11) или (5.13) сравниваются с фактическими результатами. Качество модели оценивается количественно с помощью средней квадратической ошибки уравнения, относительной погрешности уравнения, подтвержденными исследованиями [218, 219].

5.3 Модель 3. Взаимосвязь работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора с учетом управляемых и неуправляемых факторов

При дальнейшем развитии подхода, сформулированного в разделе 5.2, необходимо также учесть другие ограничивающие факторы, которые мы разделяем на две группы – неуправляемые факторы внешней среды, например время суток и года, и управляемые факторы. В качестве последних в модели 3 учитываются в виде соответствующих коэффициентов следующие факторы: психофизические факторы соответствия качеств работника требованиям профессии; состояние

здоровья; рациональность конструкции рабочего места оператора; скорость изменения производства за счет инноваций; возраст и опытность оператора; санитарно-гигиенические и климатические условия работы; рациональность режима труда и отдыха работника и др. Часть перечисленных факторов может быть введена в модель в виде динамических показателей психофизического состояния оператора, которые измеряются и поступают в модель в виде функций от времени. Все коэффициенты, используемые в модели 3 для корректировки исходных параметров, также приведены к унифицированным шкалам (таблица 5.2.).

Таблица 5.2. Шкалы оценки факторов, влияющих на качественное изменение показателей X, Y и Z в процессе работы оператора

Интервал всех значений фактора	Классы интервалов разбиения корректирующих коэффициентов для учета их в математической модели		
	Класс С	Класс В	Класс А
[0, 1]	[0, 0.3]	(0.3, 0.7]	(0.7, 1]
1	2	3	4
Факторы	Описание классов для данного фактора		
Е1 – психофизические факторы соответствия качеств работника требованиям профессии	Плохо соответствует	Средняя степень соответствия	Хорошее соответствие
Е2 – рациональное устройство рабочего места	Не рациональное	Рациональное	Рационально на высоком уровне
Е3 – скорость изменения производства за счет инноваций	Очень быстро	Быстро	Умеренно
Е4 – молодость работника, его физическая выносливость	Не молод, физически не подготовлен	Средняя степень соответствия	Молод, физически вынослив
Е5 – опытность работника	Опыта нет или очень мало	Достаточно опытен	Очень опытен
Е6 – образовательный уровень работника	Минимальное образование	Средняя степень соответствия	Образование по профилю
Е7 – санитарно-климатические условия работы	Плохие	Нормальные	Хорошие
Е8 – коэффициент сезона года	Плохо способствует нормальной работе	Средне способствует нормальной работе	Хорошо способствует нормальной работе
Е9 – коэффициент времени суток	Плохо способствует нормальной работе	Средне способствует нормальной работе	Хорошо способствует нормальной работе

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4
E10 – рациональные условия организации режима труда и отдыха	Плохо способствует нормальной работе	Средне способствует нормальной работе	Хорошо способствует нормальной работе
E11 – степень модернизации производства с уклоном в производственную безопасность	Низкая степень модернизации	Средняя степень модернизации	Высокая степень модернизации
E12 – внешние факторы среды, влияющие на работу оператора (атмосферное давление, солнечная активность и др.)	Плохо способствует нормальной работе	Средне способствует нормальной работе	Хорошо способствует нормальной работе

Схема взаимосвязей показателей X, Y, Z, внешних и внутренних влияющих факторов показана на рисунке 5.4.

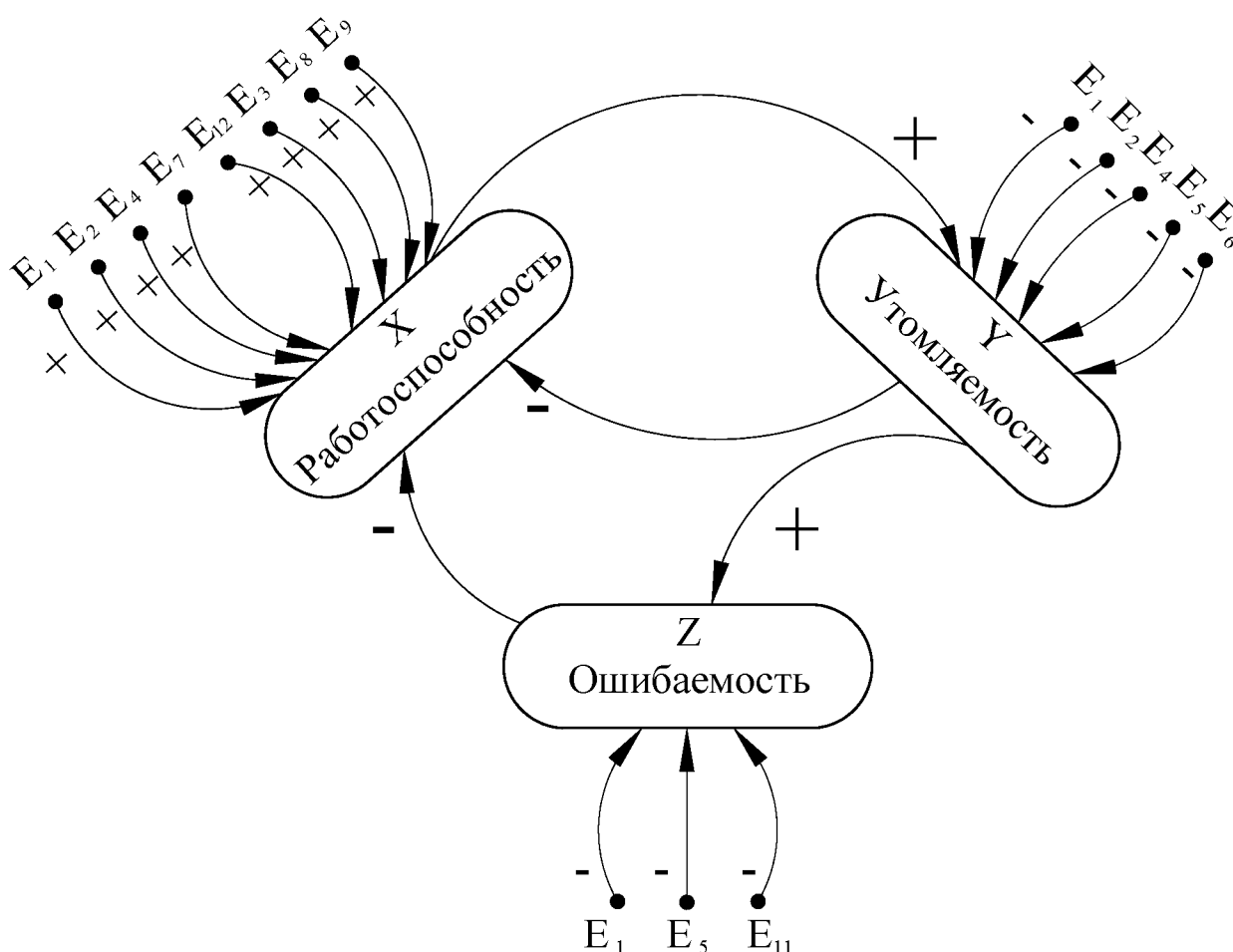


Рисунок 5.4. Граф связей функциональных характеристик оператора и влияющих факторов производства и внешней среды

На рисунке 5.4 отражено взаимовлияние показателей-переменных X , Y , Z , а также направление воздействия и точки приложения факторов организации внутренней среды производства и некоторых внешних факторов среды. Схема организована в виде ориентированного графа, где вершинами являются показатели X , Y , Z , направление дуг указывает в сторону показателя, на который оказывается влияние, а знак дуги отражает прямую (+) или обратную (–) связь.

Модель 3, соответствующая схеме рисунка 5.4, представлена в непрерывной форме в виде систем дифференциальных уравнений (5.14).

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \tilde{a}_1 \frac{x}{d_1x + c_1} \cdot \left(1 - \frac{x}{\tilde{k}_1}\right) - \tilde{b}_1xy - \tilde{h}_1xz; \\ \frac{dy}{dt} = \tilde{a}_2 \frac{y}{d_2y + c_2} \cdot \left(1 - \frac{y}{\tilde{k}_2}\right) + \tilde{b}_2xy; \\ \frac{dz}{dt} = \tilde{a}_3 \frac{z}{d_3z + c_3} \cdot \left(1 - \frac{z}{\tilde{k}_3}\right) + \tilde{b}_3yz. \end{cases} \quad (5.14)$$

Начальные условия системы: $x_0 = x(0)$, $y_0 = y(0)$, $z_0 = z(0)$.

Параметры $\tilde{a}_i, \tilde{b}_i, \tilde{k}_i, \tilde{h}_i$ являются скорректированными параметрами модели 2 при помощи дополнительных коэффициентов, соответствующих текущему состоянию ограничивающих факторов (таблица 5.2); остальные коэффициенты системы (5.14) равны соответствующим коэффициентам системы (5.12). Общий вид перехода от параметров a_i, b_i, k_i, h_i к скорректированным представлен формулами (5.15–5.17).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_i &= f_{ai}(a_i, e_1, \dots, e_{12}); \\ \tilde{b}_i &= f_{bi}(b_i, e_1, \dots, e_{12}); \\ \tilde{k}_i &= f_{ki}(k_i, e_1, \dots, e_{12}); \\ \tilde{h}_i &= f_{hi}(h_i, e_1, \dots, e_{12}), \\ i &= 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Модель 3 является основной для анализа функциональных характеристик человека-оператора и влияющих на них факторов, а также для предварительной

оценки и подбора оптимальных управляемых параметров производства, которые обеспечивали бы безопасность оператора и надежную работу управляемых им систем.

Система (5.14) представляет собой логико-математическую часть модели 3. Для нахождения ее решения используются подходы имитационного моделирования с применением соответствующего программного обеспечения.

По классификации задач, решаемых имитационными моделями, модель 3 относится к классу «Системная динамика». В настоящее время для решения задач системной динамики используются такие программные пакеты, как VenSim, iSink, PowerSim, AnyLogic и др. [220].

В данной работе имитационное моделирование выполняется с помощью инструмента AnyLogic, который, являясь разработкой отечественных программистов, имеет все средства для создания и реализации в его среде имитационной модели, анализа модели на чувствительность к изменению параметров, устойчивость решения и визуализации результатов моделирования [220, 221].

5.4 Модель 4. Взаимосвязь работоспособности, утомляемости, ошибаемости оператора и вероятности отказа МО

Модель 4 является объединением моделей 1 и 2. Наиболее проблемной частью при объединении моделей является связывание ошибаемости оператора (показатель X) и вероятностей ошибочных действий оператора $p_{ч1}, p_{ч2}, \dots, p_{чn}$.

Запишем вероятности ошибочных действий оператора в виде вектора:

$$\bar{P}_ч = \{p_{ч1}, p_{ч2}, \dots, p_{чn}\}. \quad (5.16)$$

Модель 1 оперирует с вектором вероятностей $\bar{P}_ч$, а в модели 2 понятие ошибаемости оператора используется безотносительно вида ошибочного действия.

Очевидно, что обе величины, вероятность ошибочного действия и показатель ошибаемости оператора, обусловлены одной причиной – ошибкой человека

(ЧФ), имеют одинаковое направление, даже имеют одинаковые шкалы измерения $[0, 1]$, однако по происхождению разные. Вероятность ошибочного действия оператора определяется, как правило, статистически с использованием аппарата математической статистики, а показатель ошибаемости – на основании качественных представлений, зависит от времени работы оператора и находится из решения системы уравнений (5.12) или (5.13).

Очевидно, что показатель ошибаемости может быть разным для разных действий оператора, поэтому введем вектор ошибаемости, компоненты которого соответствуют разным видам ошибок:

$$\overline{Z}(t) = \{z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t)\},$$

где нумерация координат соответствует принятой в модели 1 для вероятностей из группы ЧФ.

Логично предположить, что векторы \overline{P}_q и \overline{Z} связаны положительной корреляционной зависимостью линейной или криволинейной формы. Для выявления такой зависимости для вектора \overline{Z} берутся компоненты, усредненные за некоторый промежуток времени t или соответствующие начальным условиям z_{i0} модели 2.

Тогда модель 2 можно расширить, используя вместо одного показателя Z вектор из n компонент \overline{Z} , начальные приближения для которых берутся из вектора вероятностей \overline{P}_q , с корректировкой на коэффициент масштаба k_z . Таким образом, $\overline{Z} = k\overline{P}_q$.

В результате модель 3 может быть представлена следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \tilde{a}_1 \frac{x}{d_1 x + c_1} \cdot \left(1 - \frac{x}{\tilde{k}_1}\right) - \tilde{b}_1 xy - \tilde{h}_1 xz; \\ \frac{dy}{dt} = \tilde{a}_2 \frac{y}{d_2 y + c_2} \cdot \left(1 - \frac{y}{\tilde{k}_2}\right) + \tilde{b}_2 xy; \\ \frac{dz_1}{dt} = \tilde{a}_{31} \frac{z_1}{d_{31} z_1 + c_{31}} \cdot \left(1 - \frac{z_1}{\tilde{k}_{31}}\right) + \tilde{b}_{31} yz_1; \\ \frac{dz_2}{dt} = \tilde{a}_{32} \frac{z_2}{d_{31} z_2 + c_{32}} \cdot \left(1 - \frac{z_1}{\tilde{k}_{32}}\right) + \tilde{b}_{32} yz_2; \\ \dots \\ \frac{dz_n}{dt} = \tilde{a}_{3n} \frac{z_n}{d_{3n} z_n + c_{3n}} \cdot \left(1 - \frac{z_n}{\tilde{k}_{3n}}\right) + \tilde{b}_{3n} yz_n. \end{array} \right. \quad (5.17)$$

Начальные условия системы (5.17) имеют вид:

$$x_0 = x(0), y_0 = y(0), z_{10} = z_1(0), \dots, z_{n0} = z_n(0).$$

Оценка вероятности отказа МО с учетом ТФ и ЧФ определяется по формуле (5.2) с учетом коррекции для вероятностей соответствующих ЧФ, выполненной с использованием решений системы (5.17).

5.5 Оценка влияния человеческого фактора на отказ оборудования металлургических предприятий

В данном разделе моделируются и выполняются расчеты для модели 1 при эксплуатации различных типов металлургического оборудования. Цель представленных ниже расчетов – проверить разработанную методику и на реальных примерах оценить влияние ЧФ на отказ металлургического оборудования.

5.5.1 Оценка влияния человеческого фактора в аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора

Для определения причин возникновения отказов на производственном оборудовании применяется анализ методом «дерева неполадок». Оценка возможно-

сти отказа или безотказной работы отдельных элементов технических систем проводится на основе статистических данных по интенсивности их отказа.

При использовании манипулятора с пневмоприводом для погрузки и выгрузки заготовок из печи можно констатировать, что он состоит из большого количества технических элементов, отказ которых может привести к его поломке или преждевременному износу основных узлов, может существенно повлиять на сроки осуществления технологических процессов, принимая во внимание то, что в состав простейшей пневмосистемы входят компрессор, редуктор, электропривод, валы с подшипниками, баллон, конечные выключатели и т. д.

Структурно-логическая схема оценки отказа пневмосистемы манипулятора в зависимости от отказов технических узлов и ошибок оператора представлена в виде дерева отказов на рисунке 5.5, а соответствующие вероятности отказов приведены в таблице 5.3.

Для оценки вероятности $P(Y)$ отказа всей системы используем формулы алгебры вероятностей, учитывая, что при параллельном соединении элементов в схеме необходимо применить теорему сложения вероятностей, при последовательном – теорему умножения. Расчет базируется на следующих формулах:

для вероятности противоположного события:

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A); \quad (5.18)$$

для вероятности суммы совместных независимых событий:

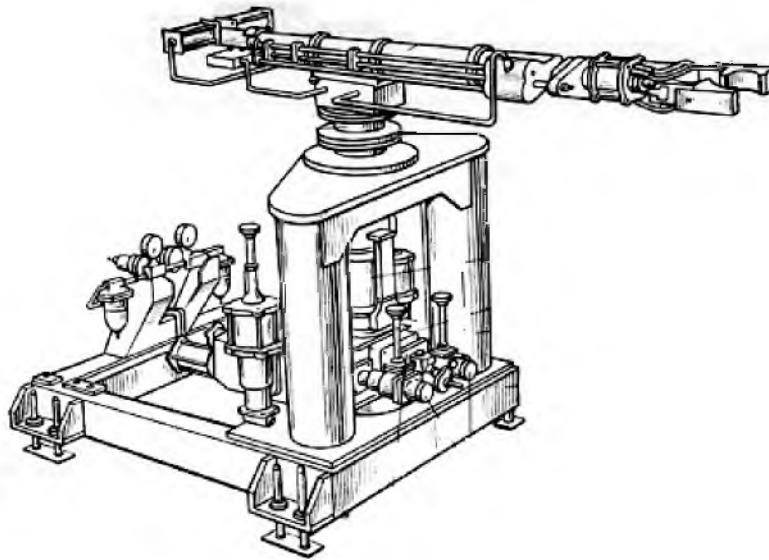
$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = 1 - P(\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \dots \cdot \bar{A}_n); \quad (5.19)$$

для вероятности произведений независимых событий:

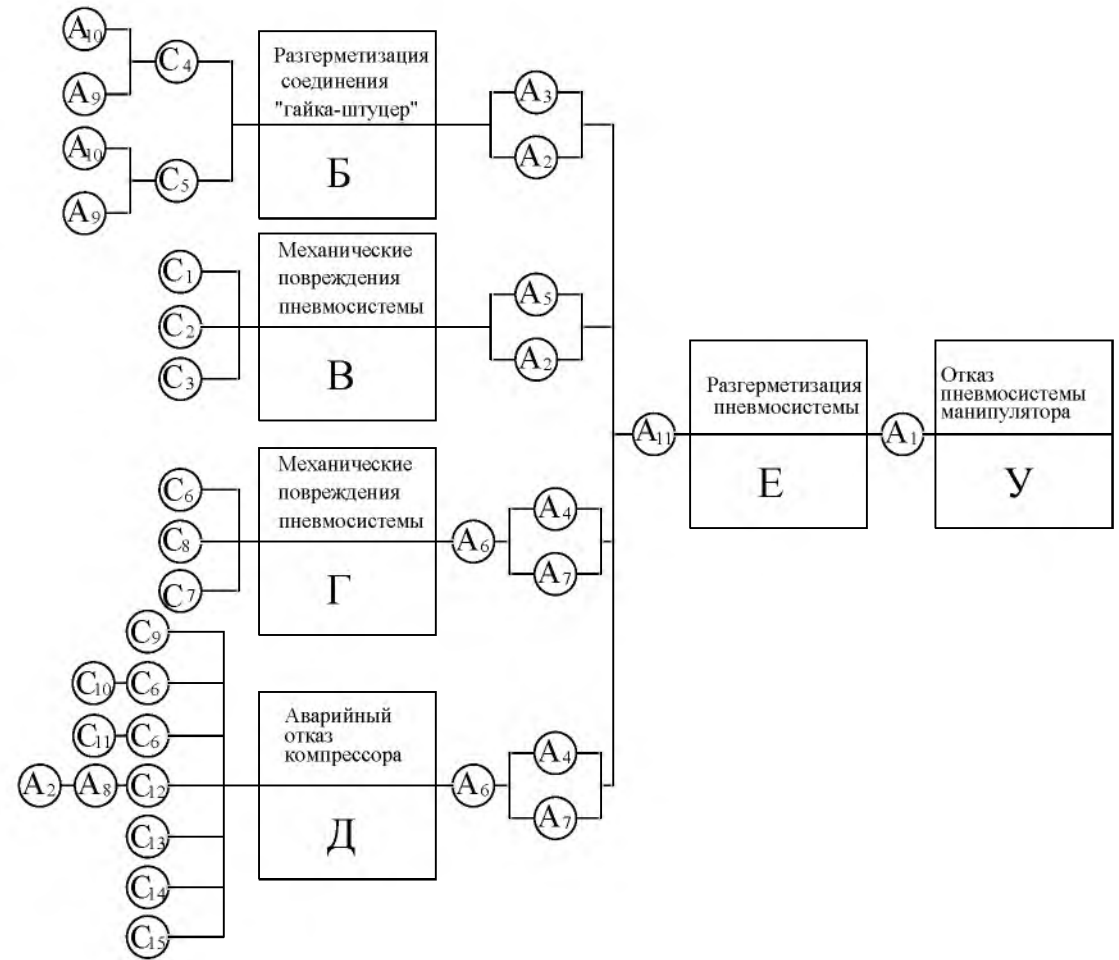
$$P(A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n). \quad (5.20)$$

Для исходных вероятностей из таблицы 5.3 примем обозначения:

$$P(A_{q1}) = p_{q1}, P(A_{q2}) = p_{q2}, \dots, P(A_{q11}) = p_{q11}, \\ P(A_{T1}) = p_{T1}, P(A_{T2}) = p_{T2}, \dots, P(A_{T15}) = p_{T15}.$$



а



б

Рисунок 5.5. Промышленный пневматически манипулятор (а), дерево отказов пневмосистемы манипулятора (б)

Таблица 5.3. Вероятности возникновения человеческого и машинного отказа пневмосистемы манипулятора

Обозначение вероятности чело-век/машина	Событие А	Вероятность P(A)
A1	Нарушение правил безопасности	0.05
A2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	0.004
A3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	0.039
A4	Необнаружение сигнала	0.062
A5	Невыполнение операции нажатия кнопки	0.015
A6	Невыполнение операции включения тумблера	0.01
A7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	0.002
A8	Невыполнение действия по соединению кабеля	0.014
A9	Некачественно выполнено действие по соединению шланга	0.045
A10	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	0.09
A11	Неиспользование средств защиты съемных ограждений	0.25
C1	Механическое повреждение редуктора баллона	0.003
C2	Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	0.005
C3	Механическое повреждение редуктора трубопровода пневмосистемы	0.005
C4	Выход из строя гайки редуктора	0.00002
C5	Выход из строя прокладки редуктора	0.04
C6	Превышение давления воздуха в баллоне	0.00004
C7	Эксплуатация неисправного баллона	0.0002
C8	Эксплуатация неисправной компрессорной установки	0.0002
C9	Отказ предохранителя	0.00003
C10	Выход из строя подшипника электродвигателя	0.00002
C11	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	1.1E-06
C12	Отказ конечного выключателя	0.00003
C13	Износ сальникового уплотнителя	0.00003
C14	Выход из строя подшипника вала компрессора	0.00002
C15	Износ муфты	0.000025

Вероятности противоположных событий обозначим q_i с соответствующими индексами.

Запишем формулы событий, соответствующих схеме рисунка 5.5:

событие Б = «Разгерметизация соединения „гайка – штуцер“»:

$$B = (A_9 + A_{10}) \cdot (C_4 + C_5);$$

событие В = «Механическое повреждение пневмосистемы»:

$$B = C_1 + C_2 + C_2;$$

событие Г = «Механическое повреждение пневмосистемы»:

$$Г = C_6 + C_7 + C_8;$$

событие Д = «Аварийный отказ компрессора»:

$$Д = C_9 + C_{13} + C_{14} + C_{15} + C_6 \cdot C_{10} + C_6 \cdot C_{11} + A_2 \cdot A_8 \cdot C_{12};$$

событие Е = «Разгерметизация пневмосистемы»:

$$E = (B \cdot (A_2 + A_3) + B \cdot (A_2 + A_5) + Г \cdot A_6 \cdot (A_4 + A_7) + Д \cdot A_6 \cdot (A_4 + A_7)) \cdot A_{11};$$

финальное событие У = «Отказ пневмосистемы манипулятора»:

$$У = E \cdot A_1.$$

Вероятности описанных событий рассчитываются последовательно по формулам (5.18)–(5.20) [222].

Расчеты выполнены в табличном процессоре Excel. В приложении Г1 представлены все расчеты по модели 1 для данного случая.

Запишем результаты для основных событий:

$$P(B) = 0,00524; P(B) = 0,01295; P(Г) = 0,00044; P(Д) = 0,0001; P(Е) = 0,00012.$$

Вероятность отказа всей системы равна $P(У) = 5,9 \cdot 10^{-6}$.

Для выявления силы влияния ЧФ в итоговой вероятности отказа системы $P(Y)$ проведем исследование модели на чувствительность к изменению входных параметров – вероятностей отказов (из таблицы 5.3).

Случай А. Чувствительность модели к поодиночному изменению входных показателей.

Расчет осуществляем по формулам (5.3)–(5.5). Результаты представлены в Приложении Г1. Показатель чувствительности, характеризующий процентное изменение итоговой вероятности отказа $P(Y)$, если i -й параметр увеличился на 1%, рассчитывается для каждой вероятности отказа входных событий (таблица 5.4). На диаграмме рисунка 5.6 показан ранжированный по показателю чувствительности ряд отказов технических узлов и ошибок оператора, соответствующих обозначениям таблицы 5.4.

Таблица 5.4. Показатели чувствительности ряда отказов технических узлов и ошибок оператора пневмосистемы

№ п/п	Событие	Событие	Показатель чувствительности
1	2	3	4
1	Нарушение правил безопасности	A1	1
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.151344965
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	A3	0.433008027
4	Необнаружение сигнала	A4	0.00071709
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.411398058
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.000740268
7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	A7	2.17412E-05
8	Невыполнение действия по соединению кабеля	A8	2.29133E-09
9	Некачественно выполнено действие по подсоединению шланга	A9	0.149351784

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4
10	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	A10	0.313474624
11	Неиспользование средств защиты съемных ограждений	A11	1
12	Механическое повреждение редуктора баллона	C1	0.119661505
13	Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	C2	0.199836717
14	Механическое повреждение редуктора трубопровода пневмосистемы	C3	0.199836717
15	Выход из строя гайки редуктора	C4	0.000229137
16	Выход из строя прокладки редуктора	C5	0.47735878
17	Превышение давления воздуха в баллоне	C6	5.43168E-05
18	Эксплуатация неисправного баллона	C7	0.000271621
19	Эксплуатация неисправной компрессорной установки	C8	0.000271621
20	Отказ предохранителя	C9	4.07499E-05
21	Выход из строя подшипника электродвигателя	C10	1.0866E-09
22	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C11	7.08628E-11
23	Отказ конечного выключателя	C12	2.29133E-09
24	Износ сальникового уплотнителя	C13	4.07499E-05
25	Выход из строя подшипника вала компрессора	C14	2.71664E-05
26	Износ муфты	C15	3.39581E-05

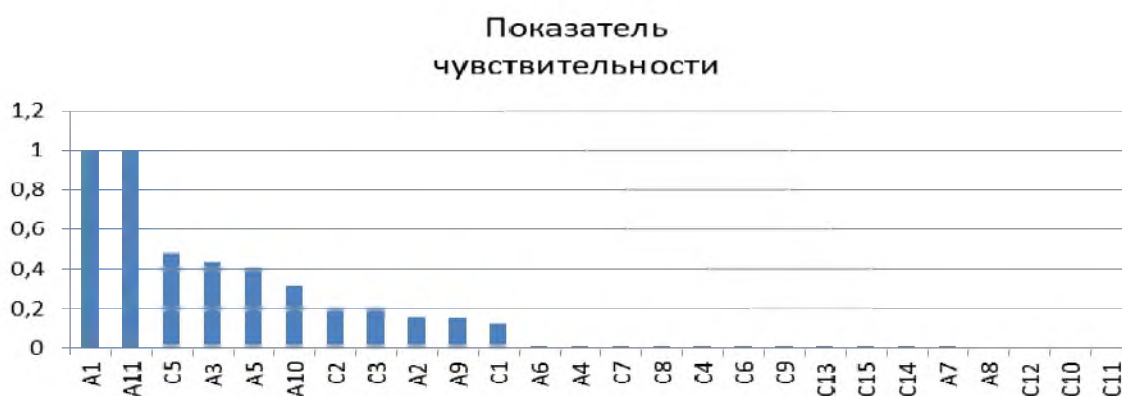


Рисунок 5.6. Показатели чувствительности отказов технических узлов и ошибок оператора согласно таблице 5.4

Анализ полученных результатов позволяет выделить как наиболее влияющие на отказ всей системы события, связанные с ЧФ: А1 – нарушение правил без-

опасности, А11 – неиспользование средств защиты съёмных ограждений, А3 – совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия, А5 – невыполнение операции нажатия кнопки, А10 – некачественное выполнение действия по установке уплотнения. Из технических отказов выделяется событие С5 – выход из строя прокладки редуктора.

Анализируя полученные результаты проведенных исследований, видим, что по показателям чувствительности человеческих отказов из 26 вероятностей возникновения отказов в диапазоне от 1 до 0,3 пять относятся к человеческим отказам и один к отказу технических узлов.

Это говорит о том, что показатель чувствительности ЧФ занимает высокое процентное значение, изменение параметров А11, А1 на 1% приводит к изменению итоговой вероятности отказа пневмосистемы на 1%. Полученные данные дают подтверждение о влиянии человека на безотказность пневмосистемы.

Случай Б. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей.

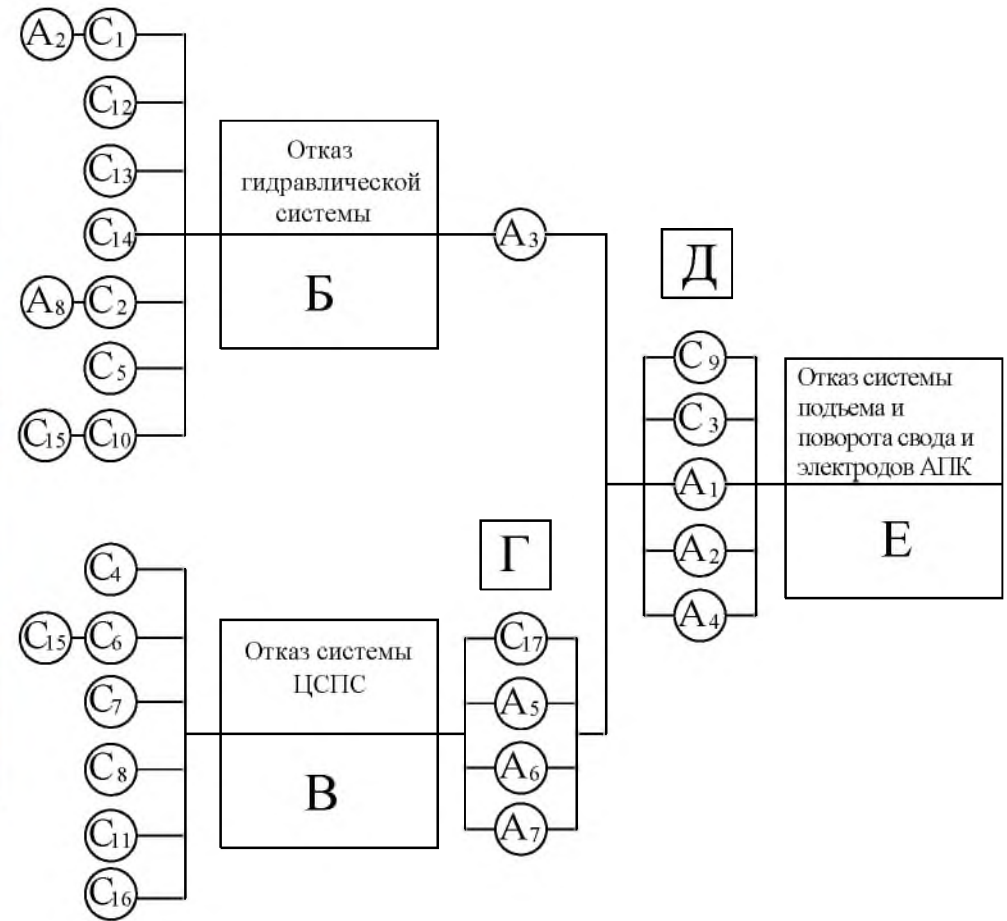
Изменяем входные вероятности для каждого из факторов групп ЧФ и ТФ поочередно, а затем для всех вероятностей вместе. Расчет выполняем по формулам (5.6)–(5.8). Получаем следующие результаты:

- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 3,5%;
- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1%;
- общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 4,5%.

Отсюда видно, что ЧФ является основным фактором, влияющим на создание аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора.

5.5.2 Оценка влияния человеческого фактора в аварийной ситуации при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш

Структурно-логическая схема оценки отказа данной технической системы в зависимости от отказов технических узлов и ошибок оператора представлена в виде «дерева отказов» на рисунке 5.7, а соответствующие вероятности отказов приведены в таблице 5.5.



а

б

Рисунок 5.7. Механизм подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш (а), дерево отказов механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш (б)

Таблица 5.5. Вероятности отказов при возникновении аварийной ситуации в процессе эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата
печь-ковш

Обозначение вероятности человек/машина	Событие А	Вероятность P(A)
A1	Нарушение правил безопасности	0.05
A2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	0.004
A3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	0.039
A4	Необнаружение сигнала	0.062
A5	Невыполнение операции нажатия кнопки	0.015
A6	Невыполнение операции включения тумблера	0.01
A7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	0.002
A8	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	0.014
C1	Механическое повреждение трубопровода	0.00005
C2	Выход из строя прокладки	0.04
C3	Превышение давления в системе	0.00004
C4	Отказ электромагнитного распределителя	0.0000035
C5	Отказ предохранителя	0.000003
C6	Выход из строя подшипника электродвигателя	0.00002
C7	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	1.1E-06
C8	Отказ конечного выключателя	0.00003
C9	Износ сальникового уплотнителя	0.00003
C10	Выход из строя подшипника вала насоса	0.00002
C11	Выход из строя муфты	0.000025
C12	Дефекты сварных соединений	0.000076
C13	Отказ предохранительного клапана	0.026
C14	Отказ нагнетательного клапана	0.00086
C15	Отказ датчика контроля температуры	0.029
C16	Отказ фланца	0.000086
C17	Отказ предохранительной арматуры	0.026

Оценка итоговой вероятности отказа всей системы выполняется аналогично пункту 5.5.1.

Запишем основные события согласно схеме рисунка 5.7:

$$B = C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_5 + A_2 \cdot C_1 + A_8 \cdot C_2 + C_{15} \cdot C_{10};$$

$$B = C_4 + C_7 + C_8 + C_{11} + C_{16} + C_{15} \cdot C_6;$$

$$Г = C_{17} + A_5 + A_6 + A_7;$$

$$Д = C_9 + C_3 + A_1 + A_2 + A_4.$$

Финальное событие $E =$ «Отказ системы подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш»:

$$E = (B \cdot A_3 + B \cdot Г) \cdot Д.$$

Запишем результаты для основных событий:

$$P(B) = 0,0275; P(B) = 0,00015; P(Г) = 0,0521; P(Д) = 0,1125.$$

Вероятность отказа всей системы равна $P(E) = 1,21 \cdot 10^{-4}$.

Результаты расчетов, выполненных в программе Excel, представлены в приложении Г2.

Для выявления силы влияния ЧФ в итоговой вероятности отказа системы $P(E)$ исследуем модель на чувствительность к изменению входных параметров – вероятностей отказов (из таблицы 5.5).

Случай А. Чувствительность модели к поодиночному изменению входных показателей.

Результаты показаны в таблице 5.6 и на диаграмме рисунка 5.8.

Таблица 5.6. Показатели чувствительности ряда отказов технических узлов и ошибок оператора механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата

печь-ковш

№ п/п	Событие	Событие	Показатель чувствительности
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.41509
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.03168
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия	A3	0.99294
4	Необнаружение сигнала	A4	0.52130
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.00195
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.00130
7	Невыполнение операции выдачи или принятия голосовой команды	A7	0.00026
8	Некачественно выполнено действие по установке уплотнения	A8	0.01970
9	Механическое повреждение трубопровода	C1	0.00001
10	Выход из строя прокладки	C2	0.01970
11	Превышение давления в системе	C3	0.00032
12	Отказ электромагнитного распределителя	C4	0.00017
13	Отказ предохранителя	C5	0.00011
14	Выход из строя подшипника электродвигателя	C6	0.00003
15	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C7	0.00005
16	Отказ конечного выключателя	C8	0.00145
17	Износ сальникового уплотнителя	C9	0.00024
18	Выход из строя подшипника вала насоса	C10	0.00002
19	Выход из строя муфты	C11	0.00121
20	Дефекты сварных соединений	C12	0.00267
21	Отказ предохранительного клапана	C13	0.93873
22	Отказ нагнетательного клапана	C14	0.03027
23	Отказ датчика контроля температуры	C15	0.00005
24	Отказ фланца	C16	0.00415
25	Отказ предохранительной арматуры	C17	0.00343

Показатель
чувствительности

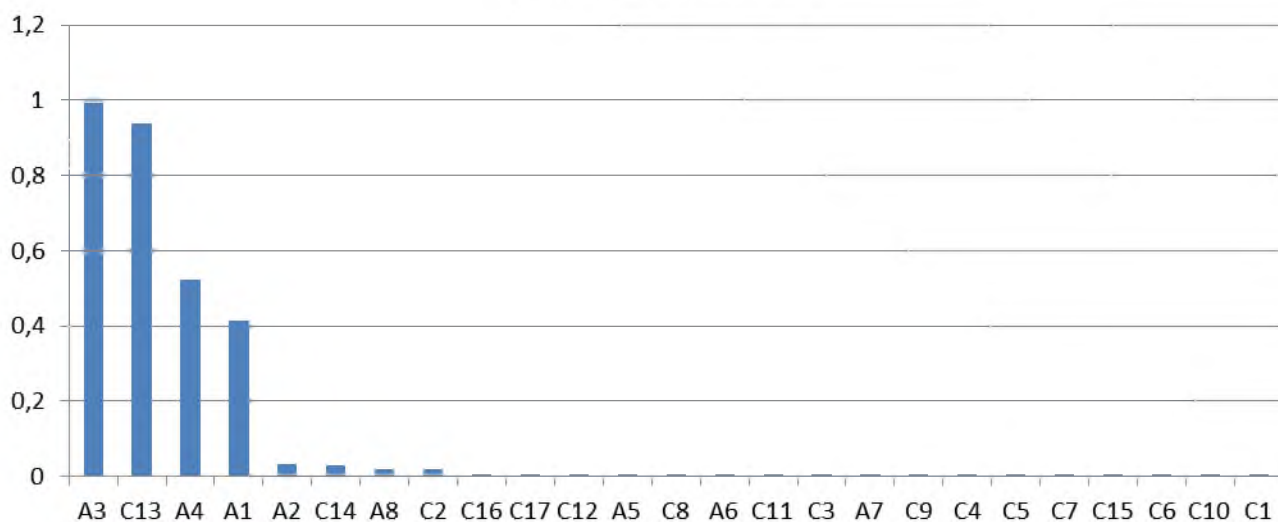


Рисунок 5.8. Показатели чувствительности отказов технических узлов и ошибок оператора согласно таблице 5.6

Согласно выполненному анализу, выделяются следующие наиболее влияющие на вероятность отказа всей системы факторы: в группе ЧФ: А3 – совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия; А4 – необнаружение сигнала; А1 – нарушение правил безопасности; в группе ТФ: С13 – отказ предохранительного клапана.

Случай Б. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей.

Изменяем входные вероятности для каждого из факторов групп ЧФ и ТФ поочередно, а затем для всех вероятностей вместе. Расчет выполняем по формулам (5.6)–(5.8). Получаем следующие результаты:

- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 1,998%;
- чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1,003%;
- общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 3,001%.

Отсюда видно, что ЧФ и в этом случае является основным фактором, влияющим на создание аварийной ситуации при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш.

5.6 Реализация модели взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора МО

В данном разделе выполняется численное моделирование на основе математических моделей взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора, описанных в разделе 5.2. Расчеты выполняются в два этапа: сначала в табличном процессоре Excel осуществляется предварительная оценка параметров модели, описываемой системой рекуррентных уравнений (5.13), а затем в среде программного продукта AnyLogic по экспериментальным данным для системы дифференциальных уравнений (5.11) проводится калибровка параметров модели и проверяется ее адекватность.

5.6.1 Реализация рекуррентной модели взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора в Excel

Для реализации разработанной ранее модели, представленной системой (5.13), необходимо определить следующие параметры оператора: a_1 , b_1 , k_1 , h_1 , a_2 , b_2 , k_2 , a_3 , b_3 , k_3 и начальные условия системы x_0 , y_0 , z_0 . Используем следующую трактовку параметров: a_i – скорость прироста i -го показателя, определяемого логикой внутреннего процесса; b_i и h_1 – коэффициенты влияния совместного действия показателей; k_i — параметр, регулирующий предельное значение i -го показателя; параметры c_i и d_i являются параметрами формы нелинейности правой части системы.

На данном этапе параметры определяются на основании предварительных тестов оператора по его реакциям на изменение интенсивности работы, длительности работы, усталостных характеристик и др., а после реализации системы (5.13) в Excel уточняются методом проб и ошибок и с учетом анализа качественного поведения исследуемых процессов на примерах реальных операторов. Для первых тестов выбирались испытуемые с высокими физическими, психофизиче-

скими, образовательными и прочими способностями, характеризующими максимальную пригодность операторов к выполняемой работе в условиях, наиболее комфортных для труда и отдыха на предприятии. Таким образом, задается система с наилучшими характеристиками (базовый уровень), которые в последующих моделях 3 и 4 адаптируются к реальным условиям с помощью коэффициентов – оценок факторов по таблице 5.2.

Значения параметров системы (5.13) приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7. Значение параметров системы 5.13

№	Параметр	Значение
1	a1	0.02
2	a2	0.002
3	a3	0.002
4	b1	0.02
5	b2	0.0075
6	b3	0.001
7	k1	0.9
8	k2	0.9
9	k3	0.9
10	h1	0.005
11	x0	0.3
12	y0	0.01
13	z0	0.01
14	c1	0.13
15	c2	0.15
16	c3	0.2
17	d1	0.2
18	d2	1
19	d3	1

Последовательные итерации решения рекуррентных уравнений системы (5.13) приведены в Приложении Г3.

На рисунке 5.9 показано поведение решения системы за период 240 минут. Максимальное значение работоспособности $x=0,882$ для исследуемого случая достигается при $t=82$ мин. Затем работоспособность оператора достаточно плавно уменьшается и к концу интервала достигает значения 0,795. Это поведение соот-

ветствует наблюдаемому по начальному приросту показателя x , по конечным его характеристикам.

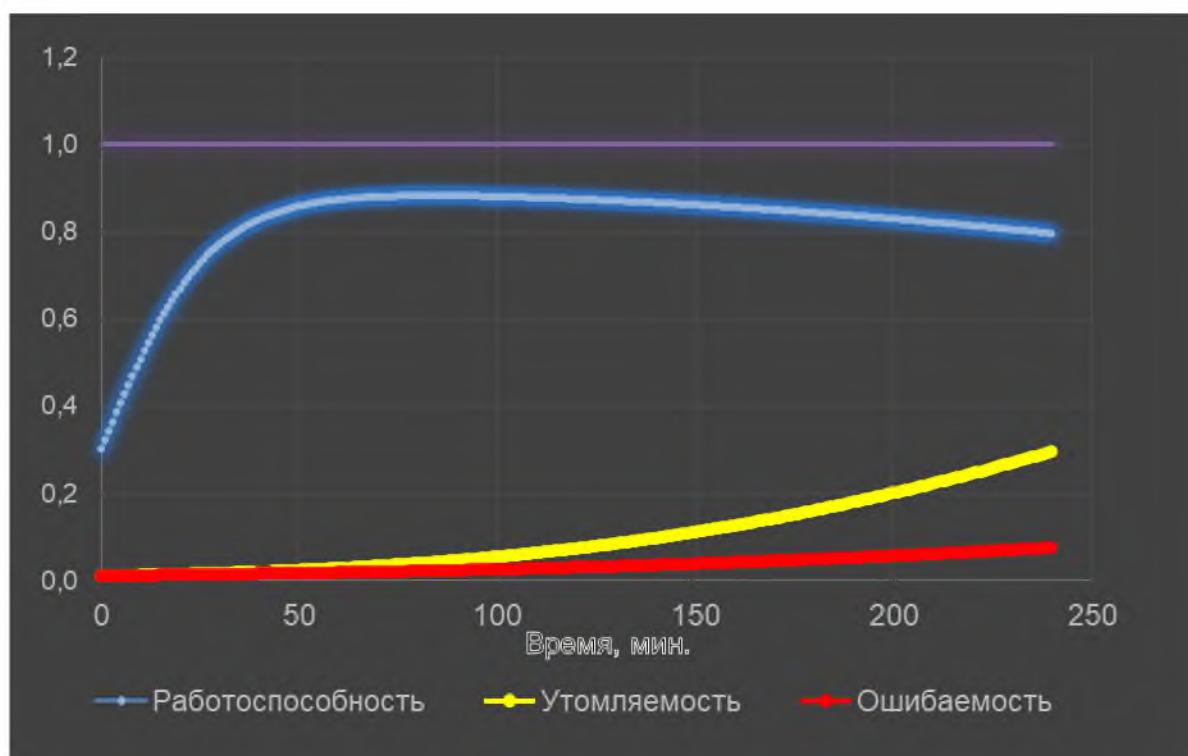


Рисунок 5.9. Поведение решения системы за период 240 минут

Показатели Y и Z характеризуют другую динамику: с увеличением времени работы утомляемость и ошибаемость оператора растут до значений 0,295 и 0,075, что также согласуется с экспериментальными наблюдениями.

Из классификации выходных показателей X , Y и Z , приведенной в таблице 5.1, следует, что оператор в течение четырех часов своей работы имеет высокую работоспособность, низкую утомляемость и низкую степень ошибаемости. Это соответствует высокому уровню функциональных характеристик оператора в системе «человек – машина» в условиях производства и внешней среды, максимально приближенных к наиболее благоприятным условиям труда.

Данный случай реализации модели 2 может использоваться для изучения качественного поведения характеристик работы оператора во времени, изучения зависимостей их между собой, для моделирования разных ситуаций их внезапного изменения, таких как краткосрочные перерывы и др.

Уточнение поведения решения показателей работы оператора X , Y и Z возможно за счет более точных значений параметров решаемой системы, для чего необходимо получить дополнительные экспериментальные данные и использовать специальные компьютерные программы, ориентированные на решение задач имитационного моделирования.

5.6.2 Имитационное моделирование взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора инструментами системной динамики AnyLogic

Специализированное программное обеспечение, созданное для реализации задач имитационного моделирования, такое как AnyLogic, имеет развитый вычислительный аппарат для решения моделей разных типов. Реализованы три подхода моделирования:

- дискретно-событийное (процессное) моделирование,
- агентное моделирование,
- системная динамика.

Программа AnyLogic разработана в 2003 году российской компанией XJ Technologies [223]. Среда разработки моделей AnyLogic — это Java-приложение.

В работе используется версия программы AnyLogic 8 University 8.7.2, предназначенная для открытых исследований в университетах.

В данном пункте посредством программы AnyLogic нами решается система (5.11), составленная для модели 2. На первом этапе исследования (п. 5.6.1) модели 2 использовалась система (5.13), полученная из (5.11) путем преобразования Эйлера, и ее параметры носили ориентировочный характер, являясь первым приближением для нахождения параметров модели 2 по системе (5.11).

Рабочее окно проекта моделирования системы (5.11) инструментами программы AnyLogic в палитре «Системная динамика» представлено на рисунке 5.10.

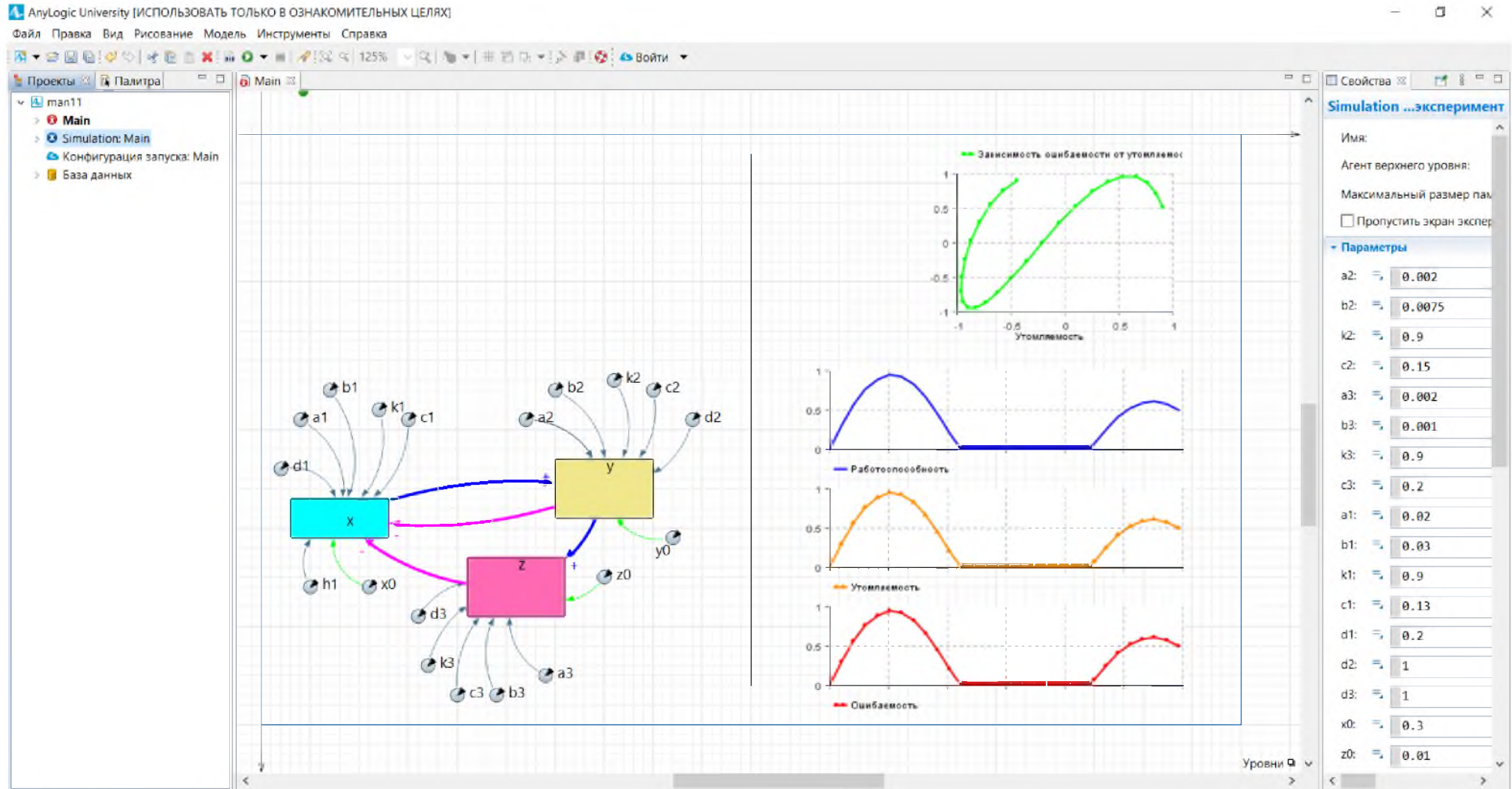


Рисунок 5.10. Рабочее окно проекта моделирования системы (5.11)

Все необходимые параметры системы (таблица 5.8), дифференциальные уравнения (5.11) и формы графического вывода результатов прогонки модели заложены внутри программы, в графическом окне отражена структурная схема взаимосвязей переменных X , Y , Z и постоянных параметров и шаблоны графиков визуализации решений системы.

При запуске (симуляции) программы запускается компилятор, который строит код программы на языке Java в соответствии с заданными условиями, транслирует его, создает исполняемый модуль и запускает его на исполнение.

Результат прогонки модели при заданных параметрах в графической форме представлен на рисунке 5.11. Модельное время – 240 минут, время прогонки модели при симуляции – 3,83 сек.

В таблице 5.8 приведены сравнительные результаты решения модели 2 с ориентировочными параметрами в программах Excel и AnyLogic по максимальным и достигнутым в конечное время 240 минут значениям переменных X , Y , Z .

Таблица 5.8. Сравнительные результаты решения модели 2 в программах Excel и AnyLogic

t	X	Y	Z	ПО
240	0.795	0.295	0.075	Excel
240	0.797	0.299	0.075	AnyLogic
Расхождение, %	0.25	1.36	0.00	
max	0.882	0.295	0.075	Excel
max	0.882	0.299	0.075	AnyLogic
Расхождение, %	0.00	1.36	0.00	

Как видим из таблицы 5.8, расхождение между прогонками модели 2, созданной в разных программных средах, не превышает 1,36%. Необходимо учесть, что решение в среде AnyLogic является более точным, так как основано на исходной системе дифференциальных уравнений (5.11).

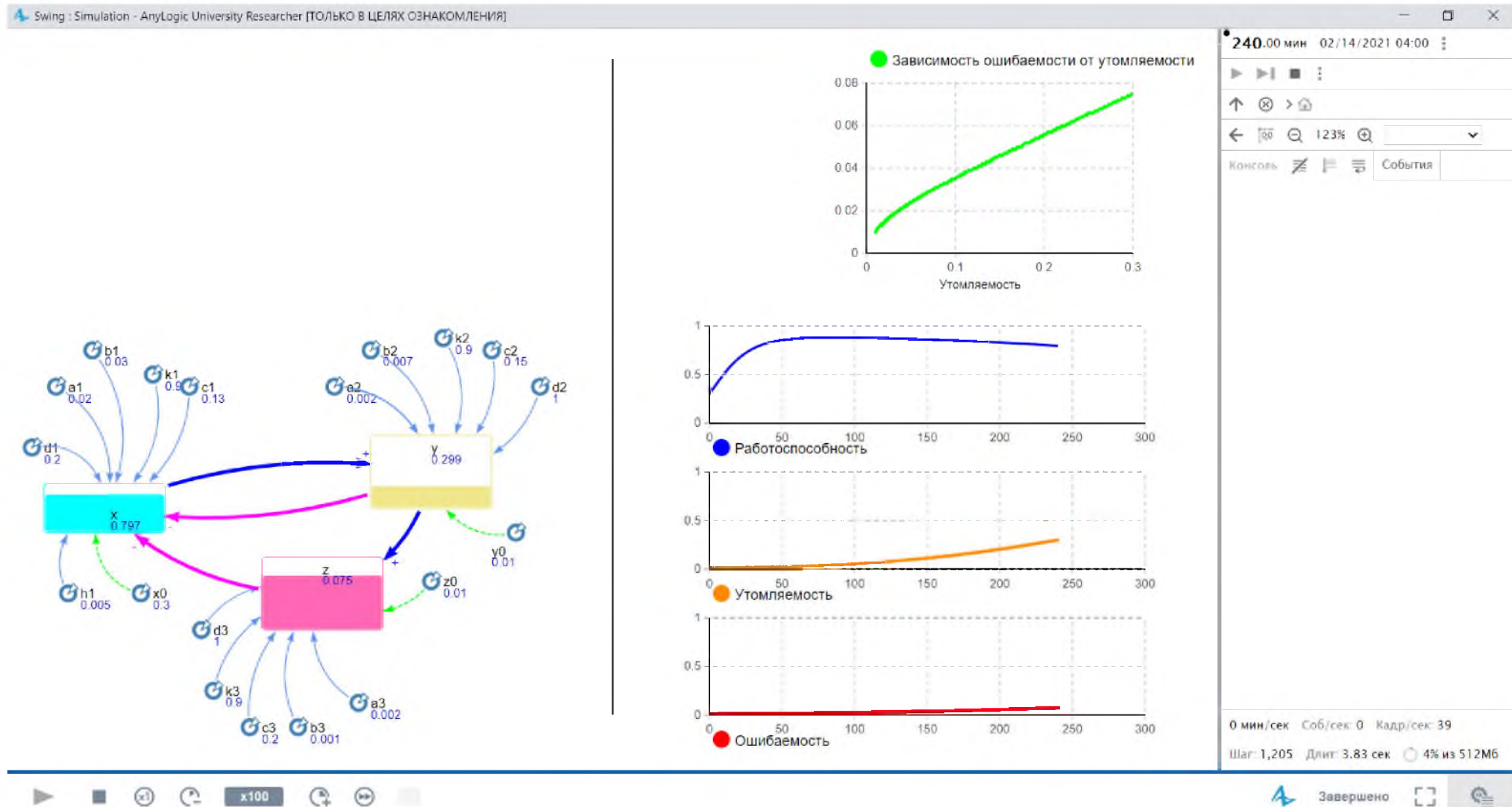


Рисунок 5.11. Результат прогонки модели при заданных параметрах в графической форме

5.6.2.1 Калибровка параметров модели 2 в среде AnyLogic по данным экспериментальных исследований

Для уточнения параметров модели 2 были проведены эксперименты с испытуемыми. Использовались тесты устойчивой работоспособности (ТУР). Оценивали точность и скорость действий в условиях дефицита времени.

Для оценки выходных показателей X и Z , соответствующих модели 2, бралась доля выполненных заданий за текущую минуту (X) и доля правильно выполненных заданий за текущую минуту (Z). Испытуемые брались с наилучшими функциональными характеристиками, ориентированными на выполнение нужной работы, – моделировались параметры идеального оператора.

Общее время проведения эксперимента – 240 минут, в течение которых было выполнено 20 измерений длительностью по 1 минуте. При планировании времени каждого замера использовались случайные числа с помощью генератора случайных чисел в интервале $[0, 200]$ мин. Полученные результаты после соответствующей обработки представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9. Полученные результаты после соответствующей обработки

№ п/п	T, мин	X	Z
1.	0	0.3	0.01
2.	6	0.413	0.013
3.	17	0.653	0.014
4.	21	0.677	0.013
5.	34	0.745	0.016
6.	47	0.854	0.015
7.	53	0.869	0.018
8.	60	0.871	0.018
9.	73	0.875	0.023
10.	84	0.882	0.025
11.	95	0.885	0.025
12.	105	0.876	0.029
13.	123	0.872	0.033
14.	136	0.861	0.035
15.	145	0.861	0.036
16.	172	0.856	0.047
17.	182	0.845	0.049
18.	191	0.836	0.054
19.	205	0.824	0.059
20.	228	0.812	0.068
21.	239	0.788	0.078

Для определения параметров модели a_i , b_i , h_1 ($i=1,2,3$) используем модуль «Калибровка» в AnyLogic, который работает по принципу оптимизации заданных пользователем параметров с параметрическими ограничениями на них и с выбранной целевой функцией. Для оптимизации в программе используется метод Opt Quest, запатентованный компанией разработчиков AnyLogic.

В данной задаче целевая функция определена нами как средневзвешенное из отклонений между экспериментальными данными и расчетными по модели 2 по переменным X и Z . Направление оптимизации – минимизация целевой функции. Рабочее окно проекта по подготовке к калибровке отражено на рисунке 5.12

AnyLogic University (ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО В ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ)

Файл Правка Вид Рисование Модель Инструменты Справка

100% Войти

Проекты Палитра Main

- man12
 - Main
 - Simulation: Main
 - Calibration: Main
 - Calibration1: Main
 - SensitivityAnalysis: Main
 - SensitivityAnalysis1: Main
 - Чувствительность_a1: Main
 - Чувствительность_a2: Main
 - Конфигурация запуска: Main
 - База данных
 - Population [cloud]
 - Model1

connections

xtable
ztable
zDS
xDS

Зависимость отклонения от оптимальности

Работоспособность

Утопленность

Отклонение

Уровни

Свойства Calibration1 - Оптимизационный эксперимент

Имя: Calibration1 Исключить

Агент верхнего уровня: Main

Целевая функция: минимизировать максимизировать

$0.5 * \text{difference}(\text{root.xDS}, \text{root.xtable}) + 0.5 * \text{difference}(\text{root.zDS}, \text{root.ztable})$

Количество итераций: 500

Автоматическая остановка

Максимальный размер памяти: 512 M6

Создать интерфейс

Параметры

Параметры:

Параметр	Тип	Значение			
		Мин.	Макс.	Шаг	Нач.ное
a2	непр..вный	0.001	0.01		
b2	непр..вный	0.001	0.01		
k2	фикс..нный	0.9			
c2	фикс..нный	0.15			
a3	непр..вный	0.001	0.01		
b3	непр..вный	0.001	0.01		
k3	фикс..нный	0.9			
c3	фикс..нный	0.2			
a1	непр..вный	0.01	0.1		
b1	непр..вный	0.01	0.1		
k1	фикс..нный	0.9			
c1	фикс..нный	0.13			
d1	фикс..нный	0.2			
d2	фикс..нный	1			
d3	фикс..нный	1			
x0	фикс..нный	0.3			
z0	фикс..нный	0.01			

Время: минуты

Рисунок 5.12. Рабочее окно проекта по подготовке к калибровке

Результаты исполнения модуля «Калибровка» показаны на рисунке 5.13.

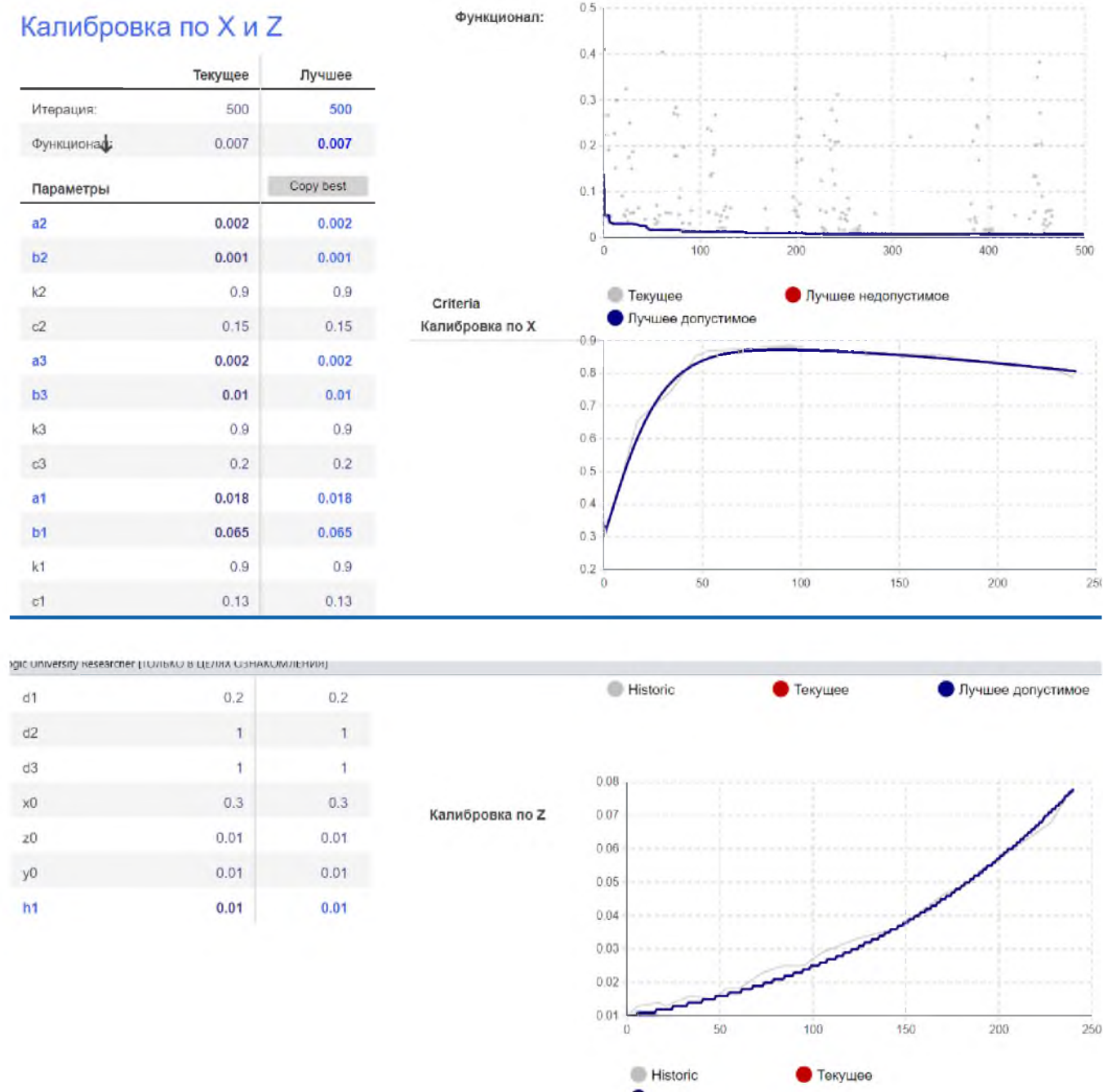


Рисунок 5.13. Результаты исполнения модуля «Калибровка»

Таким образом, оптимальные параметры системы, соответствующие наилучшим образом экспериментальным данным, имеют следующие значения (таблица 5.10).

Таблица 5.10. Оптимальные параметры системы, соответствующие наилучшим образом экспериментальным данным

№	Параметр	Значение
1	a1	0.018
2	a2	0.002
3	a3	0.002
4	b1	0.065
5	b2	0.001
6	b3	0.01
7	h1	0.005

После определения оптимальных параметров модели 2 была выполнена прогонка модели с целью установления адекватности модели, которая устанавливалась с помощью средней квадратической ошибки, средней относительной погрешности модели по переменным X и Z в отдельности и коэффициентов парной корреляции между экспериментальными и модельными значениями. Результаты оценки приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11. Проверка адекватности модели

Показатель оценки адекватности модели	Переменная X	Переменная Z
	Средняя квадратическая ошибка модели	0,017
Средняя относительная погрешность уравнения, %	1,550	6,649
Коэффициент корреляции	0,994	0,997

Как видим из таблицы 5.11, модель 2 с оптимальными параметрами может считаться адекватной и ее можно использовать как имитационную модель для изучения изменения свойств работоспособности, утомляемости и ошибаемости

оператора с изменением времени работы, режимов работы и других влияющих факторов.

5.7 Реализация модели взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора с учетом управляемых и неуправляемых факторов

5.7.1 Создание модели 3 в среде AnyLogic

Модель 3 с соответствующей ей системой (5.14) создается на основе проекта модели 2 в программе AnyLogic, в которую вводятся влияющие факторы внешней среды, качественные характеристики оператора и управляемые факторы организации условий труда и отдыха на производстве E1–E12.

Рабочее окно проекта показано на рисунке 5.14.

Параметры модели берутся из откалиброванной модели 2 (п. 5.6.2.1). Факторы E1–E12 в проекте моделируются варьируемыми параметрами e1–e12, которые определяются на основе соотношений (5.15). На рисунке 5.15 показаны стрелочками соответствующие связи между переменными системы X, Y и Z, динамическими переменными параметров системы дифференциальных уравнений (5.11) и оптимальными параметрами модели по п. 5.6.2.1.

Тип управления динамическими переменными e1–e12 организован в виде управляемых объектов – ползунков с заданными интервалами изменения от 0 до 1.

Созданный в среде AnyLogic проект по модели 3 предназначен для изучения изменения поведения работоспособности, утомляемости и ошибаемости в зависимости от изменения входных факторов путем проведения имитационных экспериментов с виртуальными объектами, отражающими основные изучаемые свойства исходного объекта моделирования.

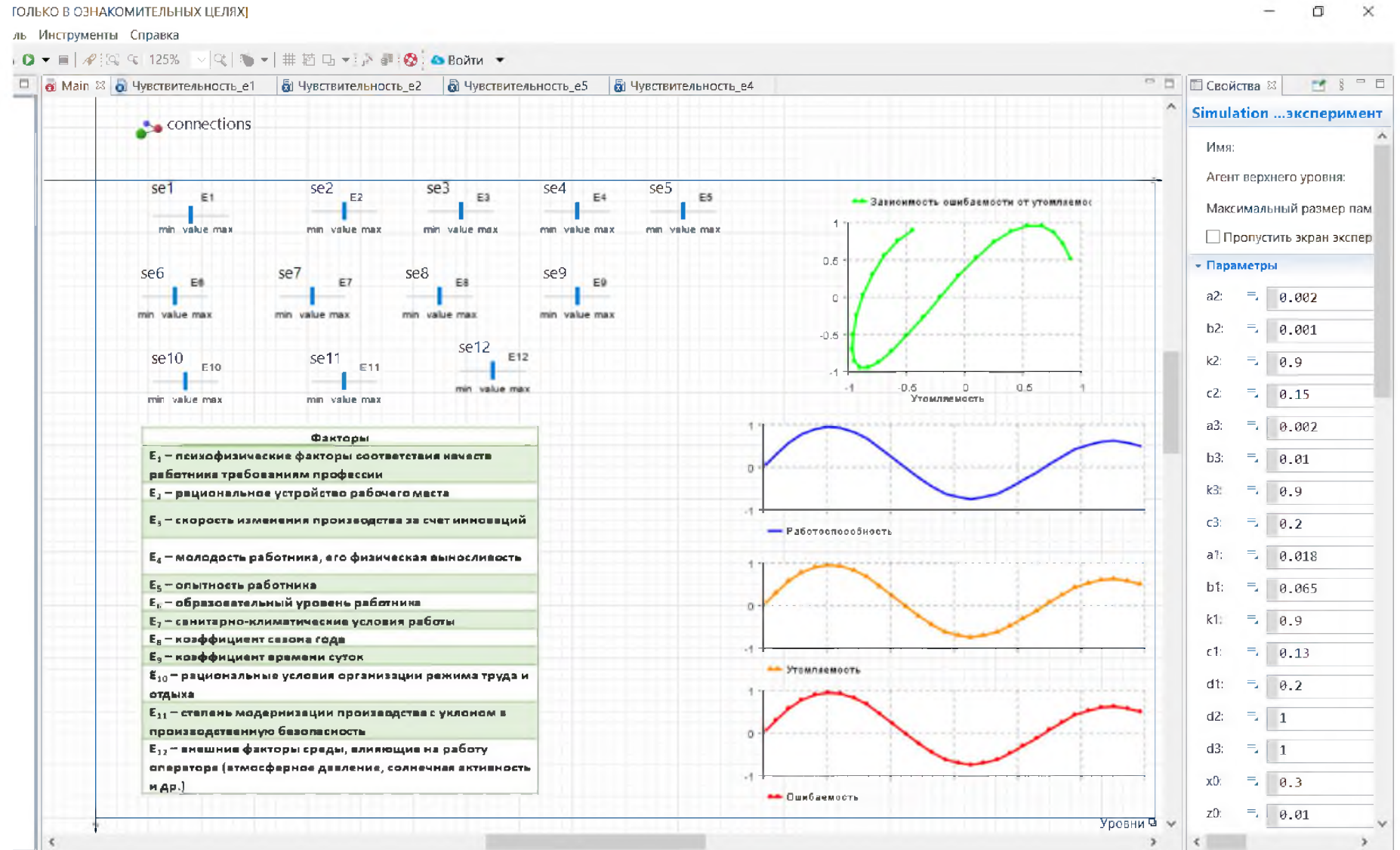


Рисунок 5.14. Рабочее окно проекта

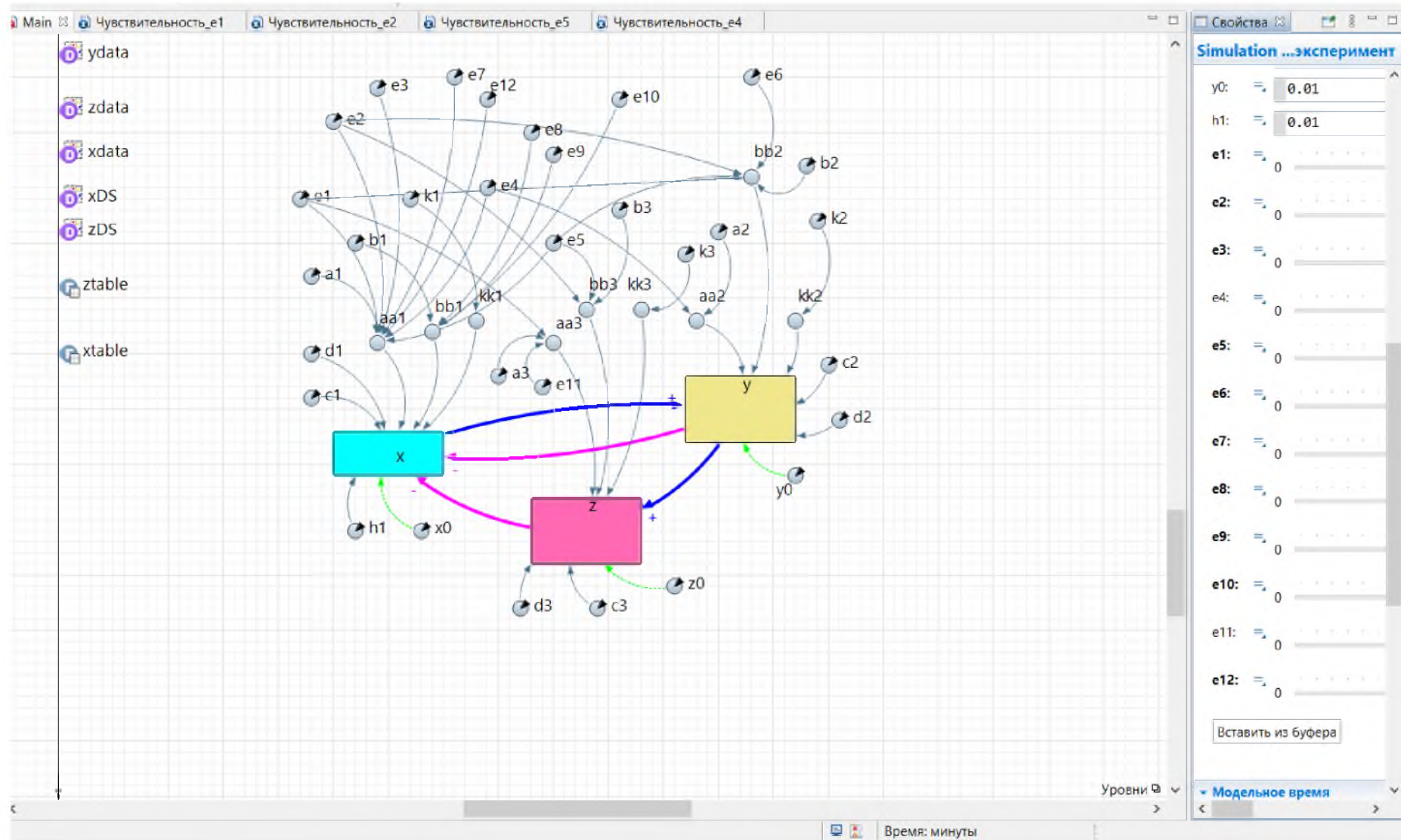


Рисунок 5.15. Модель 3, построенная в программе AnyLogic

Для экспериментирования в AnyLogic используется модуль «Эксперимент» с возможностью выбора разных типов (рис. 5.16).

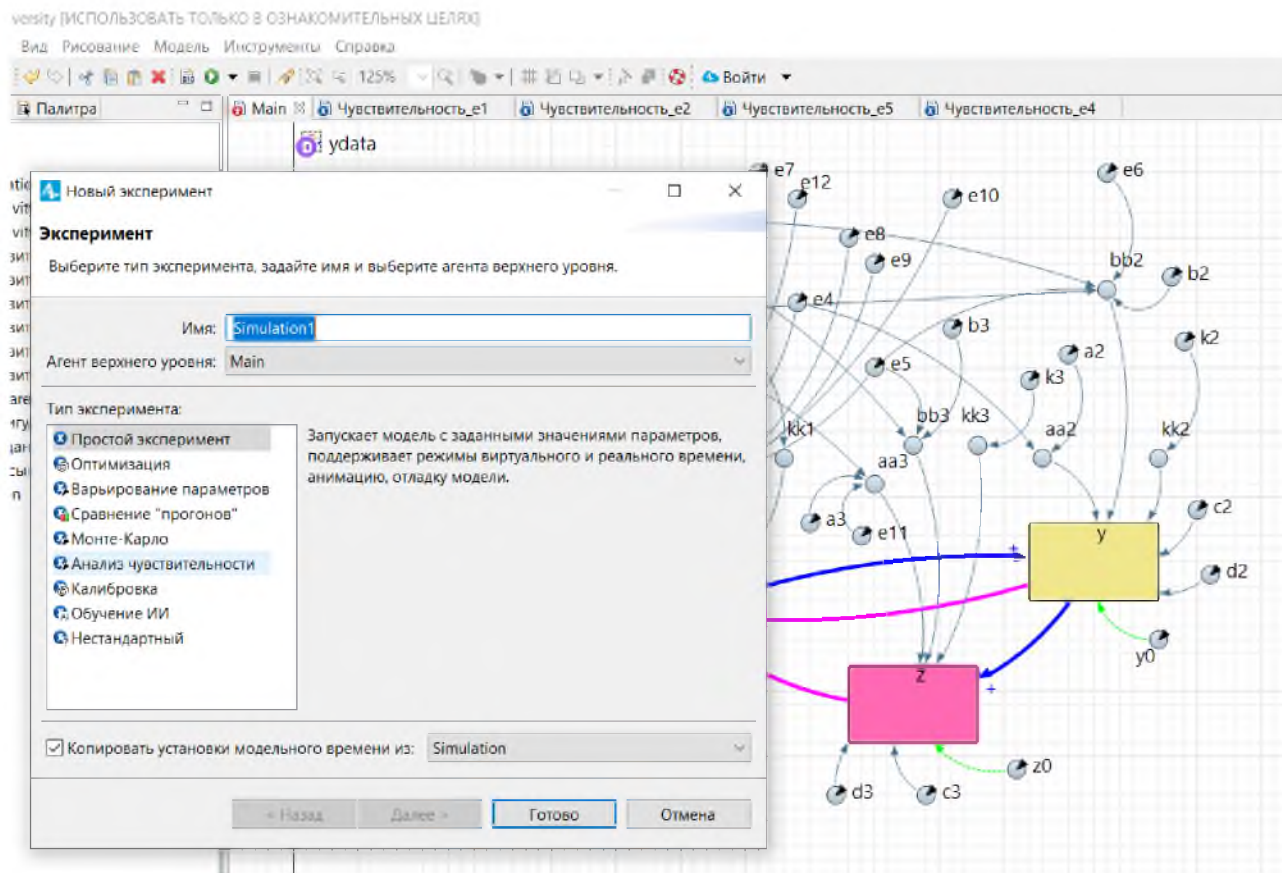


Рисунок 5.16. Использование модуля «Эксперимент» с возможностью выбора разных его типов

Для изучения поведения системы нами используются два типа экспериментов: «Анализ чувствительности» и «Сравнение прогонов».

5.7.2 Анализ чувствительности параметров модели 3

Для анализа чувствительности выходных показателей системы X , Y и Z к изменению входных параметров в программе созданы в меню «Статистика» наборы данных «xdata», «ydata» и «zdata», которые затем отражаются на графиках при анализе на чувствительность.

Выбираем по одному варьируемые параметры $e1$ – $e12$ и оцениваем реакцию системы на их изменения.

Наибольшую чувствительность показатели X , Y и Z имеют в результате изменения факторов:

E1 – психофизические факторы соответствия качеств работника требованиям профессии (рис. 5.17);

E2 – рациональное устройство рабочего места (рис. 5.18);

E4 – молодость работника, его физическая выносливость (рис. 5.19);

E5 – опытность работника (рис.5.20).

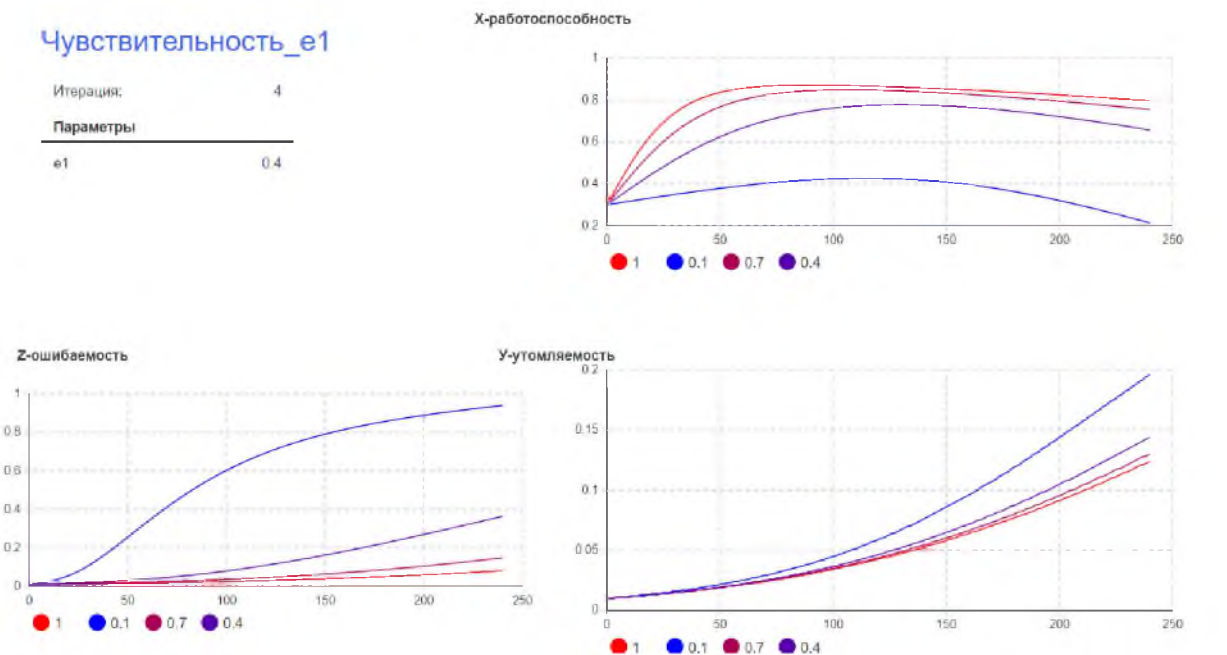


Рисунок 5.17. Соответствие качеств работника требованиям профессии

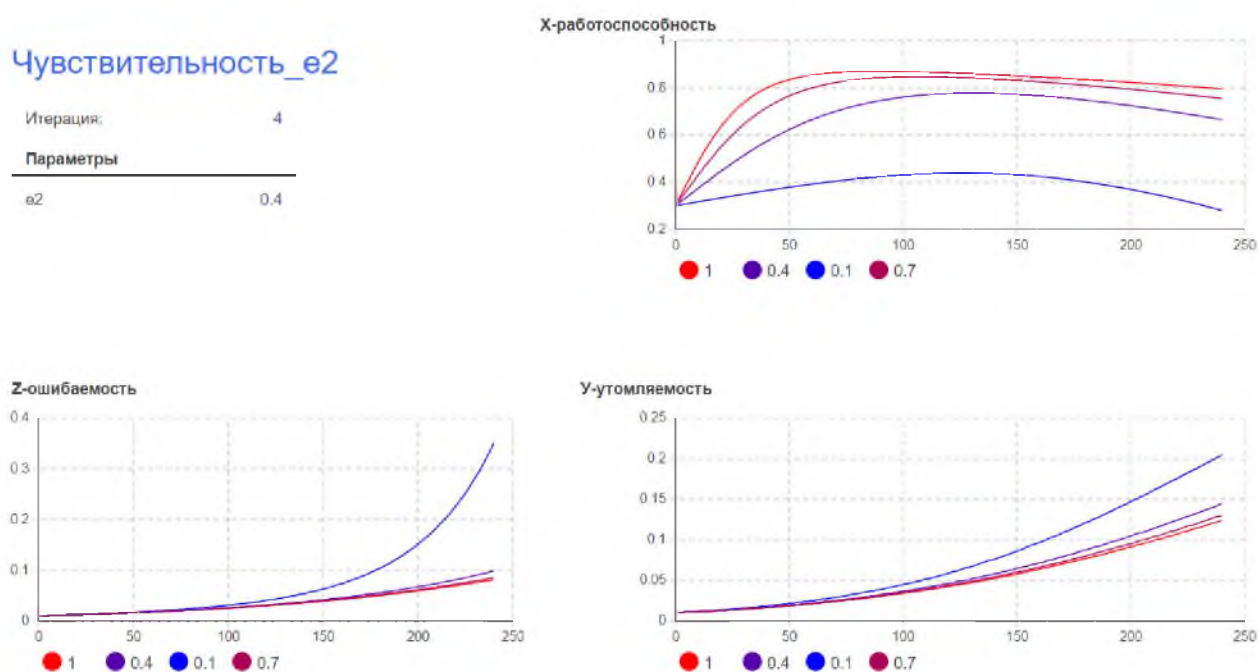


Рисунок 5.18. Рациональное устройство рабочего места

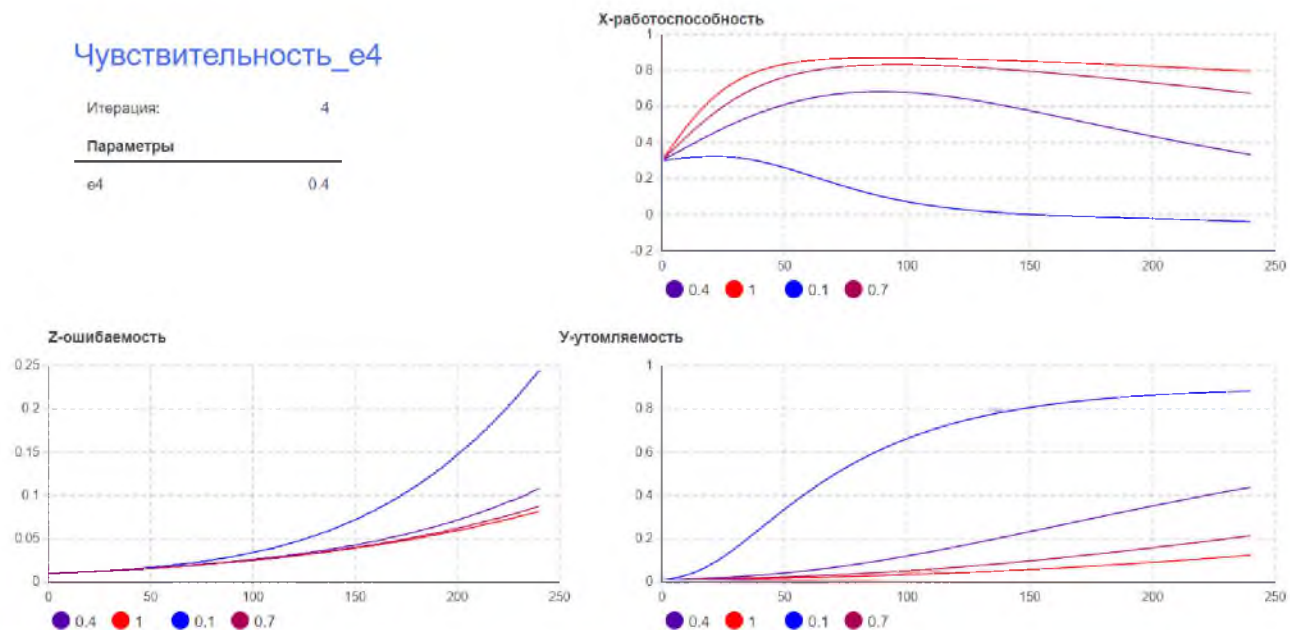


Рисунок 5.19. Молодость работника, его физическая выносливость

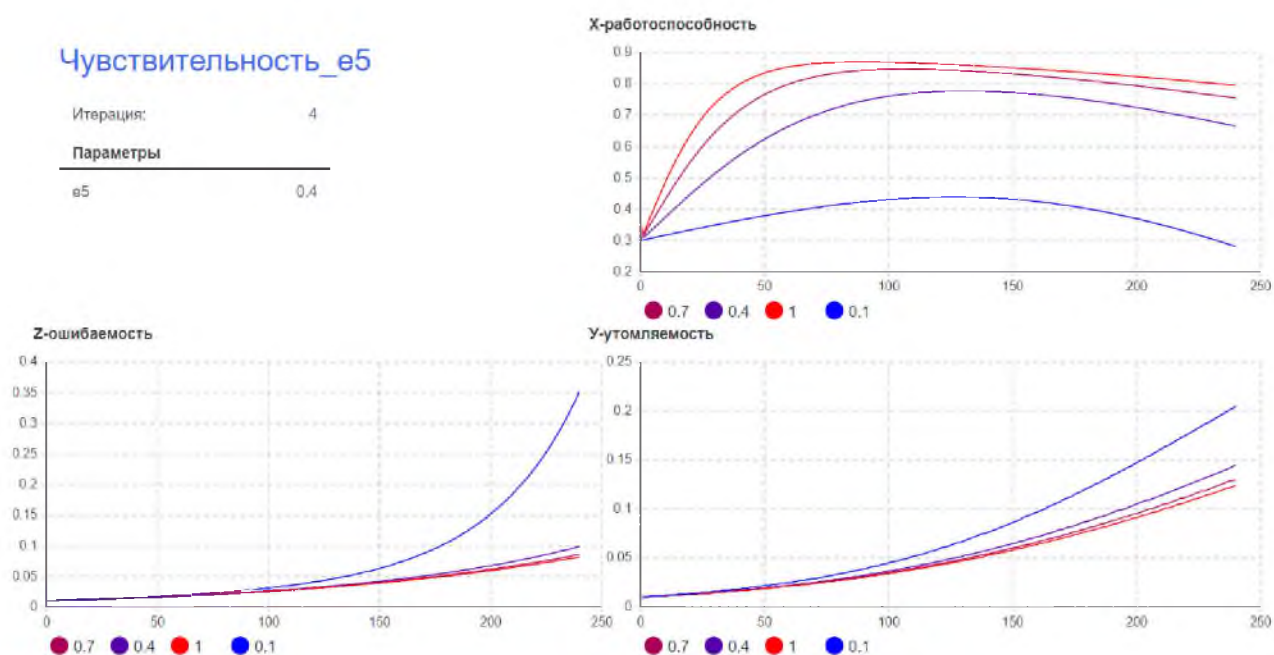


Рисунок 5.20. Опытность работника

5.7.3 Сравнение «прогонов» модели 3

Эксперимент типа «Прогоны» дает возможность проводить эксперименты на модели при различных сочетаниях факторов и параметров модели. На рисун-

ке 5.21 показано окно выбора параметров для осуществления экспериментов при различных их сочетаниях.

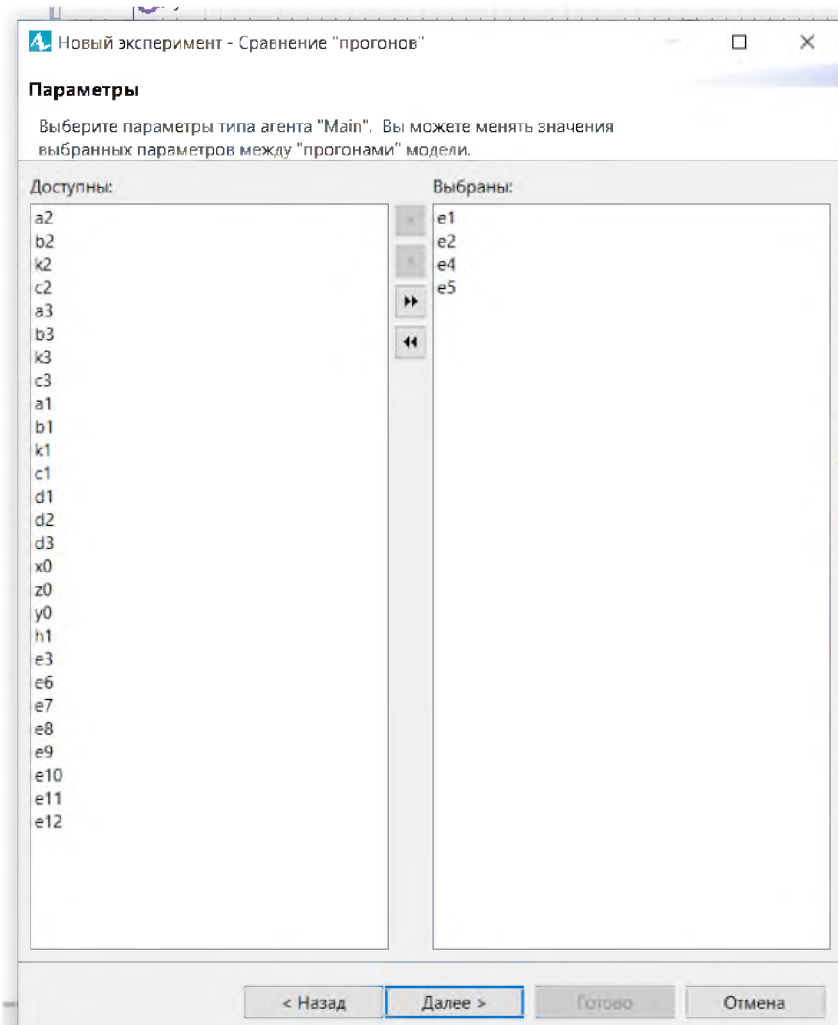


Рисунок 5.21. Окно выбора параметров для осуществления экспериментов при различных их сочетаниях

Для примера сделаем прогоны, изменяя значения факторов E1, E2, E4, E5, которые были отобраны при проверке модели на чувствительность. План проведения экспериментов представлен в таблице 5.13.

Таблица 5.12. План проведения экспериментов

	Run 0	Run 1	Run 2
E1	1	0.7	0.5
E2	1	0.7	0.5
E4	1	0.7	0.5
E5	1	0.7	0.5

Результаты прогона по приведенному плану показаны на рисунке 5.22.

Прогон_e1_e2_e4_e5

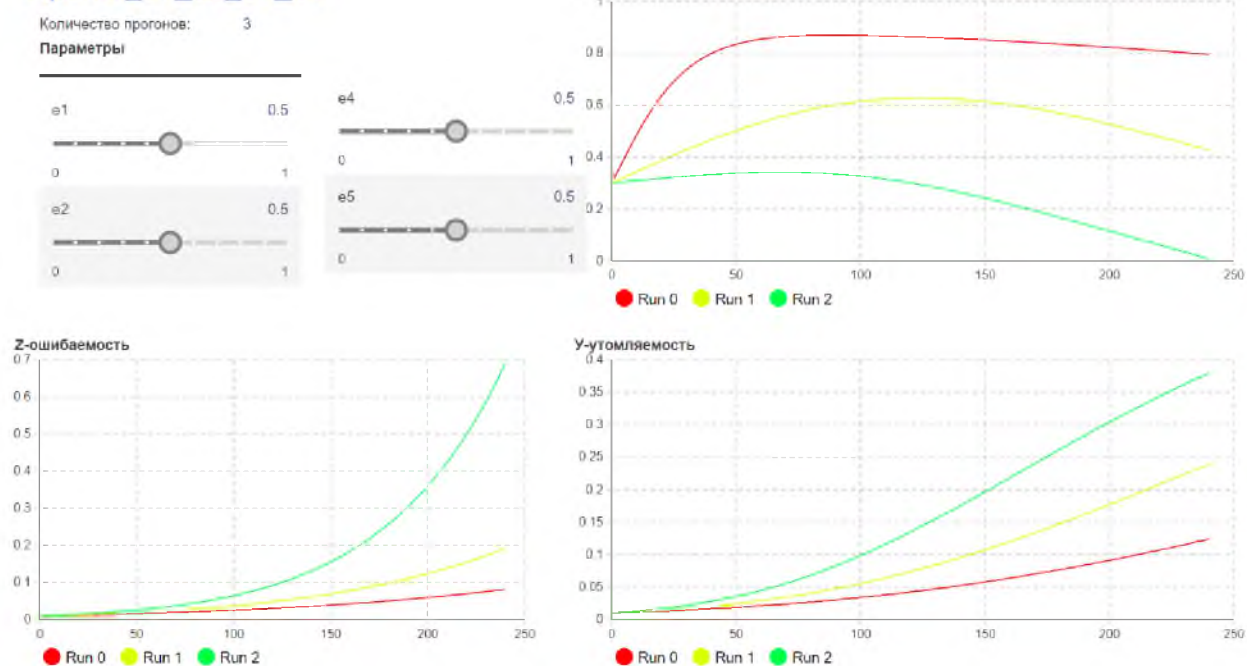


Рисунок 5.22. Результаты прогона по приведенному плану

Применение данного вида эксперимента в имитационном моделировании может использоваться для анализа текущего состояния оператора с определенными параметрами и при соответствующих факторах производства и внешней среды. При неблагоприятных прогнозах развития ситуации с высоким уровнем возникновения ошибок оператора и, следовательно, высоким риском аварии на производстве использование прогонов при измененных управляемых параметрах даст возможность подобрать оптимальный режим работы человека и повысить безопасность производства.

Материалы настоящего раздела опубликованы в следующих научных работах [211, 218, 219, 222, 225].

Выводы

1. Предложена оценка чувствительности модели при различных вариантах изменения входных параметров: изменение показателей на 1%, а также изменения в пределах доверительного интервала, при этом показатели изменяются как по одному, так и по группам, включая изменения всех показателей одновременно. Данной процедуре можно подвергнуть все входные вероятности как группы ТФ, так и группы ЧФ.

2. Основная задача, решаемая данной моделью, – это прогноз динамики изменения факторов, влияющих на функциональные характеристики оператора МО, в результате чего оператором может быть совершена ошибка, приводящая к выходу из строя всей системы. В качестве таких функциональных характеристик нами выбраны факторы: работоспособность (X), утомляемость (Y) и ошибаемость (Z) оператора в течение рабочего дня.

3. Прогнозирование динамики изменения факторов, влияющих на функциональные характеристики оператора МО, решается моделью 2. Оператором может быть совершена ошибка, приводящая к выходу из строя всей системы. В качестве таких функциональных характеристик выбраны факторы: работоспособность (X), утомляемость (Y) и ошибаемость (Z) оператора в течение рабочего дня.

4. Был произведен расчет оценки влияния ЧФ в аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора с учетом ТФ и ЧФ. Из анализа полученных результатов проведенных исследований видно, что по показателям чувствительности человеческих отказов из 26 вероятностей возникновения отказов в диапазоне от 1 до 0,3 пять относятся к человеческим отказам и один к отказу технических узлов.

5. Показатель чувствительности ЧФ имеет высокое процентное значение, изменение параметров A_{11} , A_1 на 1% приводит к изменению итоговой вероятности отказа пневмосистемы на 1%. Полученные данные дают подтверждение о влиянии человека на безотказность пневмосистемы.

6. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей дает следующую картину: чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 3,5%; чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1%; общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 4,5%.

7. Для подтверждения правильности полученных результатов был рассмотрен еще один механизм оценки влияния человеческого фактора в аварийной ситуации при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш. Расчет оценки влияния ЧФ в аварийной ситуации показал, что наиболее влияющие на вероятность отказа всей системы факторы: в группе ЧФ: А3 – совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия; А4 – необнаружение сигнала; А1 – нарушение правил безопасности; в группе ТФ: С13 – отказ предохранительного клапана.

8. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей дает следующую картину: чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 1,998%; чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1,003%; общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 3,017%.

10. Из проведенного анализа полученных результатов исследований видно, что ЧФ в двух случаях – при эксплуатации пневмосистемы манипулятора, при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш – человек является основным фактором, влияющим на создание аварийной ситуации. Чувствительность моделей к изменению вероятностей группы ЧФ от 2 до 3,5%.

11. Реализация рекуррентной модели взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора была проведена в Excel и в среде AnyLogic. Максимальное значение работоспособности $x=0,882$ для исследуемого случая достигается при $t=82$ мин (время от начала работы). После чего работоспособность оператора плавно уменьшается и к концу интервала достигает значения 0,795. Это поведение соответствует наблюдаемому по начальному приросту показателя x , по конечным его характеристикам.

12. Эксперимент типа «Прогоны» в среде AnyLogic дает возможность проводить эксперименты на модели при различных сочетаниях факторов и параметров модели, что может использоваться для анализа текущего состояния оператора с определенными параметрами и при соответствующих факторах производства и внешней среды. При неблагоприятных прогнозах развития ситуации с высоким уровнем возникновения ошибок оператора и, следовательно, высоким риском аварии на производстве использование прогонов при измененных управляемых параметрах даст возможность подобрать оптимальный режим работы человека и повысить безопасность производства.

13. Анализируя полученные результаты чувствительности параметров модели 3, можно сделать следующие выводы:

- работоспособность оператора наиболее чувствительна к изменению фактора E4 (чем моложе и выносливее, тем работоспособность выше);
- утомляемость оператора также сильнее всего зависит от изменения фактора E4 (чем моложе и выносливее, тем утомляемость ниже);
- ошибаемость оператора в наибольшей степени зависит от изменения фактора E1 (если психофизические факторы качеств работника не соответствуют требованиям профессии, то его ошибаемость в процессе работы очень высокая).

14. В применении к оценке безотказности металлургического оборудования с учетом ЧФ предлагается гибридная модель, которая реализуется как последовательная система взаимосвязанных задач, каждая из которых имеет как самостоятельное значение, так и является ступенькой для решения следующей задачи.

15. В данном разделе работы предлагается подход комбинирования вероятностных моделей оценки надежности системы «человек – машина» и имитационных моделей, позволяющих воспроизводить различные ситуации изменения характеристик человека, как элемента СТС и их влияния на надежность системы в целом.

16. Для решения проблемы обеспечения надежной и безотказной эксплуатации машин, агрегатов и процессов необходимо разработать: систему мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами; носимое индивидуальное устройство для снятия психофизиологических показателей и местонахождения работника в реальном времени.

РАЗДЕЛ 6.
ВНЕДРЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ИНДИВИДУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ РАБОТНИКА

Своевременное выявление и реагирование на изменение психического и физического состояния рабочего даст возможность предотвратить производственные аварии и катастрофы. Внедрение в металлургическое и машиностроительное производство новых технологий в сфере интернета вещей (англ. Internet of Things, IoT) [224, 225] и носимой электроники [226, 219], а именно нового подхода в медицинском контроле – индивидуального мониторинга физиологических параметров работника, позволит:

- дать оценку психофизиологического состояния сотрудника в режиме реального времени;
- на основе оценки психофизиологического состояния работника принять своевременные меры для разрешения критической ситуации или хотя бы минимизировать ущерб;
- создать на предприятии сеть из устройств-датчиков (носимой электроники, IoT) мониторинга индивидуальных физиологических параметров работника для составления общей картины психофизиологического уровня состояния трудящихся работников предприятия;
- на основе полученных данных от сети из датчиков (носимой электроники, IoT) провести статистический анализ-сравнение для внедрения на предприятии и в отрасли в целом улучшений алгоритма подбора сотрудников по их индивидуальным психофизиологическим параметрам.

Интернет вещей (IoT) представляет собой соединение между любыми устройствами и интернетом, включая сотовый телефон, систему домашней ав-

томатизации и носимые устройства [227, 228, 229]. Эта новая технология может рассматриваться как недорогое средство изменения фазы приложений, касающихся наблюдений за операторами сложных технических систем.

Главный ключ к тому, чтобы связать IoT и промышленность – это присоединиться к наблюдателям и операторам сложных технических систем с помощью интеллектуальных устройств, в то время как каждый человек находится в роуминге без каких-либо ограничений. Для загрузки данных могут использоваться облачные сервисы с использованием технологии больших данных, а затем переданные данные могут быть проанализированы.

Как правило, интеллектуальные устройства играют важную роль в жизни людей. Одним из важных аспектов проектирования любого устройства является протокол связи, который реализуется через сеть ZigBee, в которой используются протоколы реактивной и проактивной маршрутизации. Следовательно, в первую очередь подключенные клиенты зависят от сети подключенных устройств, которые могут подключаться друг к другу для обработки данных через прослойку защищенного сервиса [230–233].

Предстоящий IoT будет зависеть от микропроцессора с низким энергопотреблением и эффективных беспроводных протоколов. Носимые устройства облегчают передачу информации, но требуют наличия в системе передачи высокой степени защиты [234]. Системы телемониторинга осуществляют удаленное наблюдение за оператором сложных технических систем. Металлургическая и машиностроительная отрасли могут добиться серьезных изменений на основе многочисленных изобретений по передаче электронных данных с носимых устройств сотрудников предприятий. Подключенные к интернету носимые устройства становятся основной частью системы.

Коммуникационные технологии 5G (пятое поколение) поддерживают технологии интернета вещей в нескольких приложениях. Они обеспечивают более высокую (в 100 раз) пропускную способность беспроводной сети с экономией энергии и максимальным использованием хранилища за счет приме-

нения аналитики больших данных. Как правило, плотные развертывания беспроводной связи связаны с триллионами беспроводных устройств с расширенной конфиденциальностью, контролируемой пользователем.

Интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT) — концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой [235].

На 2017 год термин «интернет вещей» распространяется не только на киберфизические системы для «домашнего» применения, но и на промышленные объекты. Развитие концепции «Интеллектуальных зданий» получило название Building Internet of Things (BIoT, «Создание интернета вещей»), развитие распределённой сетевой инфраструктуры в АСУ ТП привело к появлению Industrial Internet of Things (IIoT, «Индустриальный (промышленный) интернет вещей») [236].

Внедрение в металлургическую и машиностроительную отрасли промышленности таких технологий, как носимая электроника, интернет вещей, и устройств индивидуального мониторинга психофизиологического состояния работника представляет собой перспективное направление на пути повышения производительности рабочего процесса, не говоря уже о повышении безопасности труда работников.

Рынок интернета вещей – бурно развивающаяся отрасль, и то, что она может обеспечить металлургии и машиностроению в плане безопасности труда посредством контроля за ЧФ, и в плане профилактики здравоохранения работников предприятия, что повлечет повышение КПД производства, а также в плане подбора эффективного персонала в дальнейшем, на базе статистического анализа-сравнения психофизиологического портрета по влиянию внешней среды на рабочего и по отклику его психофизических параметров на эту среду, а также психофизиологической эффективности самого рабочего по отношению к поставленным задачам, и выполнению конкретных работ.

По данным IDC, общий мировой объем капиталовложений в IoT в 2016 г. составил 737 млрд долл. США, в 2017 г. — более 800 млрд. Прогноз к 2021 г. — 1,4 трлн [237].

По оценкам Директ ИНФО общий размер российского рынка IoT составил в 2016 году 17,9 млн устройств и вырос по сравнению с 2015 годом на 42%. К 2021 году общее число IoT-устройств вырастет до 79,5 млн, а к 2026 году — до 164,7 млн. Общий потенциал российского рынка оценивается на уровне 0,5 млрд устройств [238].

6.1 Определение местоположения

Технология позиционирования для промышленного комплекса чаще всего базируется на данных о мощности сигналов, принимаемых объектами от различных точек доступа, называемых базовыми станциями. Такие системы мониторинга относятся к классу Realtime Locating Systems (RTLS) и позволяют отслеживать местонахождение персонала, проводить инвентаризацию активов организации, а также обеспечивают быстрый доступ к оборудованию и транспортным средствам. Данные области применения требуют высокой точности определения расположения объектов. Учитывая распространенность и доступность оборудования, в большинстве случаев применимо определение местоположения по мощности сигнала Wi-Fi. В качестве базовых станций задействуются стандартные точки доступа. Базовые станции могут иметь пылевлагозащищённое исполнение, поэтому решение одинаково применимо как в офисах организации, так и на промышленных территориях.

Конечно, внедрение такой технологии, как RTLS, на предприятии — это довольно трудоемкий процесс. Обычно процесс внедрения включает в себя установку сети Wi-Fi-точек или добавления к уже имеющимся и адаптацию системы к конкретным условиям эксплуатации. Учесть специфику деятельности производства в полной мере позволит проектный подход и внедрение технологий IoT. На данном этапе развития IoT-технологий уже есть возможность

применять модульную структуру для нужд конкретного производства. Метки для оборудования можно легко интегрировать с промышленными датчиками, дополнить информацию о местонахождении рабочего данными о давлении, температуре и загазованности в помещении, в котором находится рабочий, а также показателями жизненной активности. В случае возникновения аварийной ситуации на опасном участке производства система RTLS поможет определить, где и кому необходима неотложная помощь. Осуществить централизованный мониторинг и координацию действий аварийных команд во время чрезвычайной ситуации помогут специально разработанные для спасателей RTLS-браслеты. Браслеты помогут построить кратчайший маршрут выхода из опасной зоны.

6.2 Показатели физиологического состояния сотрудника

Трудно переоценить достоинства возможности слежения за жизненной активностью персонала в режиме реального времени. Предварительное хорошее психическое и физическое состояние сотрудника производства не гарантирует, что дальнейшее его состояние позволит ему выполнять свои обязанности в течение всей смены. А введение предсменного контроля не всегда может спрогнозировать внезапные приступы заболеваний или критическое переутомление. Состояние рабочего после нескольких часов смены может резко ухудшиться. Кроме того, существует возможность со стороны работника пойти на подлог ради беспрепятственного прохода медицинского осмотра.

Современные фитнес-трекеры позволяют измерять пульс, температуру, потоотделение, а также транслировать эти данные на мобильное устройство по Bluetooth. Создание единой корпоративной базы данных на основе мониторинга показателей здоровья сотрудников производства по какому-либо виду канала связи является лишь делом техники. Конечно, данные о жизненной активности, полученные таким образом, не совсем полные и точные: это все-таки не замена стационарному пункту медицинского контроля, а скорее спо-

соб получать актуальную информацию состояния рабочего, создавая при этом полную картину психофизиологического состояния сотрудников предприятия на временном отрезке. Если показатели, полученные с устройства индивидуального мониторинга психофизиологического состояния работника, демонстрируют угрожающую тенденцию, информация об этом поступает как на консоль дежурному, так и непосредственно рабочему, психофизиологическое состояние (ПФС) которого вызывает опасение. Более того, если какой-то из показателей жизненной активности (кожно-гальваническая реакция (КГР), пульс, ЭЭГ и т. д. в зависимости от условий рабочего процесса) превысили пороговое значение, устройство (фитнес-трекер, IoT, смартфон или аналогичное устройство) подаст звуковой сигнал работнику, даже если нет связи с сервером в данный момент по какой-то из причин. Своевременная реакция позволит нивелировать угрозу полностью или хотя бы выиграть пару минут, секунд, так необходимых для предотвращения аварии, или свести ущерб от происшествия к минимуму. Одним из вариантов для создания единой корпоративной базы данных психофизиологической активности сотрудников предприятия является вариант использования функционала смарт-браслета Microsoft Band 2. Положительным моментом в использовании данного устройства из семейства IoT является наличие в данном смарт-браслете широкого спектра датчиков и сенсоров, оптимально подходящих для мониторинга индивидуальной психофизиологической активности сотрудника производства. Однако использование готового решения не всегда оправдано из-за различий в условиях труда, влияния внешней среды и поставленной задачи перед сотрудником предприятия машиностроительной и металлургической отраслей. В этом случае целесообразно разработать и создать устройство с модульной структурой. Преимущество такого подхода к созданию устройств индивидуального мониторинга психофизиологического состояния заключается в наличии достаточного количества различных модуль-сенсоров и модуль-датчиков, подходящих для использования в различных условиях трудового процесса в металлургической и машиностроительной отраслях.

6.3 Разработанный метод контроля индивидуальных показаний психофизиологических реакций организма во время рабочего процесса и определения местоположения работника на территории производства в реальном времени

6.3.1 Контроль за вегетативной нервной системой обслуживающего персонала в реальном времени как метод повышения надежности металлургического оборудования

В металлургической и машиностроительной отраслях, как и в других сферах человеческой деятельности, вклад ЧФ в аварийность на производстве довольно существенен, принимая во внимание также то, что аварии в металлургической и машиностроительной отраслях по вине ЧФ могут привести кроме крупных финансовых потерь к серьезным, непоправимым последствиям из-за масштабов происшествия. Статистика аварийности показывает (рисунок 6.1), что основными причинами происшествий являются некорректные действия персонала, технические причины, неудовлетворительная организация и проведение работ, биолого-социальные факторы и неблагоприятное воздействие различных внешних факторов [238, 239].



Рисунок 6.1. Факторы аварийности в металлургической отрасли за период с 2008 по 2017 год в России

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что условие безаварийной работы на производстве зависит не только от удовлетворительного технического состояния оборудования или отсутствия различных отрицательных внешних факторов, но и от обеспечения надежной и безошибочной работы персонала предприятия. Надежность персонала в плане безошибочного выполнения требуемых задач во многом зависит от сочетания личных качеств самого персонала, обеспечивающих адекватное и точное восприятие как поставленной задачи, так и сложившейся ситуации в момент нестандартной ситуации. Также от персонала требуется быстрое и успешное выполнение регламента действий для разрешения сложившейся ситуации. Чтобы корректно оценивать и пытаться контролировать обстановку во время чрезвычайного происшествия (ЧП) или аварии, необходимо учитывать ПФС задействованного персонала [240].

Само понятие ЧФ многозначное, но в данном случае является показателем возможности принятия рабочим предприятия ошибочных или алогичных решений в конкретных ситуациях рабочего процесса [241].

Одна из причин, способствующих ошибочным действиям персонала предприятия, – это неудовлетворительное физическое и психологическое состояние работника. Для определения особенностей психофизиологических реакций можно применить регистрацию КГР в качестве высокочувствительного, простого и технически легко определяемого показателя уровня активности вегетативной нервной системы (ВНС), а также для оценки когнитивного напряжения сотрудника. Известно два способа регистрации КГР: по методу Тарханова и методу Фере. Суть метода регистрации КГР по Тарханову заключается в регистрации разности потенциалов между двумя участками кожи, при этом регистрация кожных потенциалов допускает отсутствие внешнего источника питания в электрической цепи, а значения потенциала фиксируются чувствительным гальванометром. Метод регистрации КГР по Фере заключается в исследовании электропроводимости кожи по пропускаемому через нее току. На производстве предпочтительно использовать метод Фере как эффективный в рабочей среде и являющийся более конструктивно простым методом регистрации КГР [242–246].

Одной из возможностей является применение регистрации КГР во время трудового процесса в режиме реального времени. Нельзя переоценить достоинства такой возможности слежения за психофизиологическим состоянием (ПФС) сотрудников предприятия. Регистрация КГР является простым и технически легко определяемым показателем уровня активности ВНС, при этом оставаясь высокочувствительным методом снятия психофизиологических изменений у сотрудников во время исполнения их обязанностей в режиме реального времени. К положительным сторонам такого подхода можно отнести конструктивную простоту создания измерительного устройства, многолетние научные разработки и методики по регистрации КГР и применение полученных данных на практике одним из институтов Российской академии наук (РАН) [247].

Устройство для регистрации КГР технически довольно просто выполнить в виде носимого индивидуального измерительного устройства, например, в виде браслета, кольца или части защитной каски или спецодежды. Образуя сеть из таких устройств посредством передачи данных от этих устройств по какому-либо доступному каналу связи (Wi-Fi, Bluetooth и др.) на сервер, можно развернуть на предприятии систему мониторинга показаний ПФС сотрудников производства. Преимущество такого подхода – в выявлении своевременной реакции, позволяющей нивелировать угрозу полностью или хотя бы выиграть время для оценки и принятия решения, а возможно, и ответного действия. Если показатели, полученные с устройства индивидуального мониторинга ПФС работника, демонстрируют угрожающую тенденцию, то информация об этом поступает одновременно на консоль дежурному и непосредственно работнику, ПФС которого вызывает опасение, что полезно, например, при потере связи с сервером по различным причинам. Конечно, информация о состоянии сотрудника, полученная таким образом не совсем полная и точная, так как не является альтернативной заменой классическим методикам, а скорее выступает способом получать актуальную информацию о сотруднике в режиме реального времени, что влечет за собой некоторые недостатки в методике данного способа регистрации КГР. Вышеизложенные преиму-

щества такого подхода перекрывают недостатки, что связано с полнотой и точностью получения данных при регистрации КГР в реальном времени.

Оценивая ПФС оператора по ряду специально подобранных раздражителей в симуляции рабочего процесса, возможно выявить и предотвратить переход из оптимального для работы состояния в негативное, при котором оператор может допустить ошибку или поступить в соответствии со своей психофизиологической реакцией на нестандартную ситуацию. Данная методика включает в себя подготовку реалистичной симуляции рабочего процесса оператора в чрезвычайной ситуации и разработку алгоритма анализа КГР, определяющего уровень нейропсихического и психоэмоционального напряжения оператора в момент проведения симуляции и реагирования на раздражители. Это своего рода биологическая обратная связь (БОС) [241], отображающая протекания внутренних процессов оператора во время нестандартной ситуации, дающая возможность оператору подготовиться к адекватным действиям в таких ситуациях во время реального рабочего процесса.

Также трудно переоценить роль регистрации КГР в плане подбора эффективного персонала в дальнейшем. Используя сеть из индивидуальных устройств по измерению КГР сотрудников в режиме реального времени, можно собирать, хранить и обрабатывать статистически полученные данные, что в будущем позволит проводить их приблизительный сравнительный анализ с показателями психофизиологического и психоэмоционального состояния претендента на должность. Этот сравнительный анализ хоть и является грубой мерой подбора персонала из-за сугубой индивидуальности КГР у людей, но все же даст возможность провести сравнение ПФС претендента по \max/\min допустимым показателям КГР, требуемым для оптимального выполнения поставленной задачи.

6.4 Разработанное носимое индивидуальное устройство для снятия психофизиологических показателей и местонахождения работника в реальном времени

Устройство предназначено для снятия индивидуальных показаний психофизиологических реакций (пульс, КГР) организма сотрудника во время рабочего

процесса и определения его местоположения на территории производства в режиме реального времени. Устройство способно также зафиксировать резкое изменение положения рабочего в пространстве, что косвенно может указывать на нештатную ситуацию. Устройство снимает показатели психофизиологических реакций у рабочего, данные о расположении данного сотрудника на карте производства, о положении в пространстве и передвижениях в течение всей рабочей смены и передает на сервер для дальнейшей обработки, сохранения и последующего использования в конкретных ситуациях производственного процесса.

Область применения полученных данных на производстве:

– данные, полученные с датчиков КГР и пульсометра, послужат отличным детектором психофизиологического состояния сотрудника, позволяя своевременно влиять на ПФС рабочего, что позволит нивелировать или хотя бы частично снизить вероятность возникновения нештатной ситуации или ЧП по вине ЧФ;

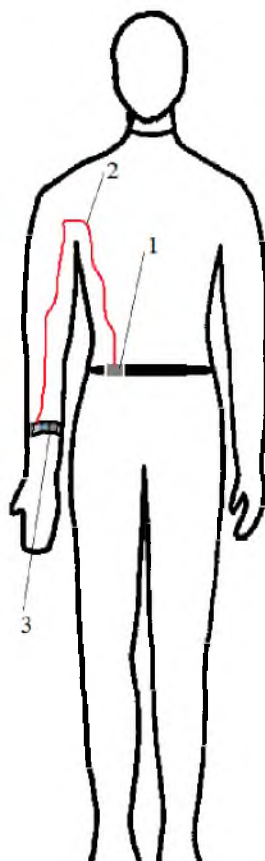
– данные, полученные с GPS в условиях производства, помогут в режиме реального времени узнать точное местоположение сотрудника на производстве, что позволит во время ЧП или нештатной ситуации обеспечить в кратчайшие сроки доступ спасательной бригады к сотруднику или технического специалиста к неисправному механизму. Также наличие точного позиционирования рабочего и состава структурного подразделения производства на территории производства позволит вывести контроль за проведением рабочего процесса на более совершенный уровень;

– данные от акселерометра послужат мерой физической активности рабочего, что косвенно указывают на меру его работоспособности за смену. Также данные, полученные от акселерометра, могут указать на резкое изменение расположения рабочего в пространстве, что может служить показателем нештатной ситуации (падение, чрезмерное ускорение при ударе и т. д.);

– данные, полученные с датчиков устройств работников предприятия, обработанные и сохраненные на сервере за продолжительное время, послужат для оп-

тимизации и усовершенствования производственного процесса на основании их статистического анализа данных (ПФС, анализ местоположения сотрудника на территории производства за смену, производительность за смену сотрудника).

Техническое исполнение. Разработанное устройство (рисунок 6.2) состоит из двух основных частей и одной вспомогательной. Браслет, надеваемый на руку, содержит датчики измерения пульса и КГР. При этом требуется, чтобы между расположенными в нем датчиками и кожей запястья был прямой контакт. Вторая часть устройства представляет собой карбоновый корпус со вставками из органического стекла (акрила) под вывод световой индикации (питание, предупреждение, тревога), перфорированной сетки спикера для вывода звуковой информации (тревога, внимание), внутри корпуса находится собственно контроллер, управляющий устройством, 3-осевой акселерометр, GPS-модуль, bluetooth-модуль, модули пульсометра и КГР соответственно и элемент питания.



1 – корпус устройства; 2 – гибкий кабель; 3 – браслет с датчиками

Рисунок 6.2. Принципиальная схема расположения частей устройства непосредственно на сотруднике

Корпус может быть соединён с браслетом гибким кабелем, по которому к контроллеру поступает информация от датчиков в браслете, а в браслет из корпуса - питание для функционирования этих датчиков. Корпус устройства может располагаться в специальном креплении на поясе рабочего или в специально предназначенном для корпуса устройства отделении рабочей одежды сотрудника. Браслет выполняется из специального эргономичного силикона, что позволит рабочему в течение смены носить его, не раздражая кожу запястья. Корпус устройства является монолитным и влаго/пылезащищенным, тем самым продлевая срок эксплуатации электронных компонентов от неблагоприятной среды.

Испытания носимого устройства были проведены на предприятии «Филиал № 12 ЗАО „Внешторгсервис“» [219].

Датчики устройства, как расположенные в браслете (КГР, пульсометр), так и в корпусе (акселерометр, GPS др.) (рисунок 1 Приложения Е), периодически (промежутки 5–10 секунд) отправляют пакет данных при помощи контроллера устройства и беспроводного модуля Wi-Fi через внутреннюю специализированную Wi-Fi-сеть предприятия, затем поступающий на один из серверов предприятия, где анализируется, обрабатывается и сохраняется при помощи специализированного софта. После обработки, если полученная информация несет опасные тенденции, специализированный софт предлагает оптимальные варианты для разрешения нештатной ситуации и вырабатывает стратегию по минимизации ущерба или полному нивелированию ЧП, а оператор уже принимает окончательное решение. Также в дальнейшем накопленная информация позволит при помощи методологии статистического анализа оптимизировать технологию трудового процесса. При возникновении нестандартных ситуаций и опасных тенденциях, связанных с изменением психофизиологического состояния работника, сервер также сигнализирует рабочего при помощи визуальной и звуковой индикации в корпусе устройства. Предусмотрена также возможность передавать пакеты данных с устройства на смартфон (Android, iOS) сотрудника по bluetooth-каналу со специальным софтом для аналогичного анализа и обработки, что происходит при передаче по Wi-Fi, но при отсутствии связи с основным сервером это позволит сохра-

нить данные, а при восстановлении основного соединения – передать информацию на сервер, способствуя возможности реагирования на изменение психофизиологического состояния самостоятельно. На рисунке 6.3 представлена блок-схема разработанного носимого устройства.

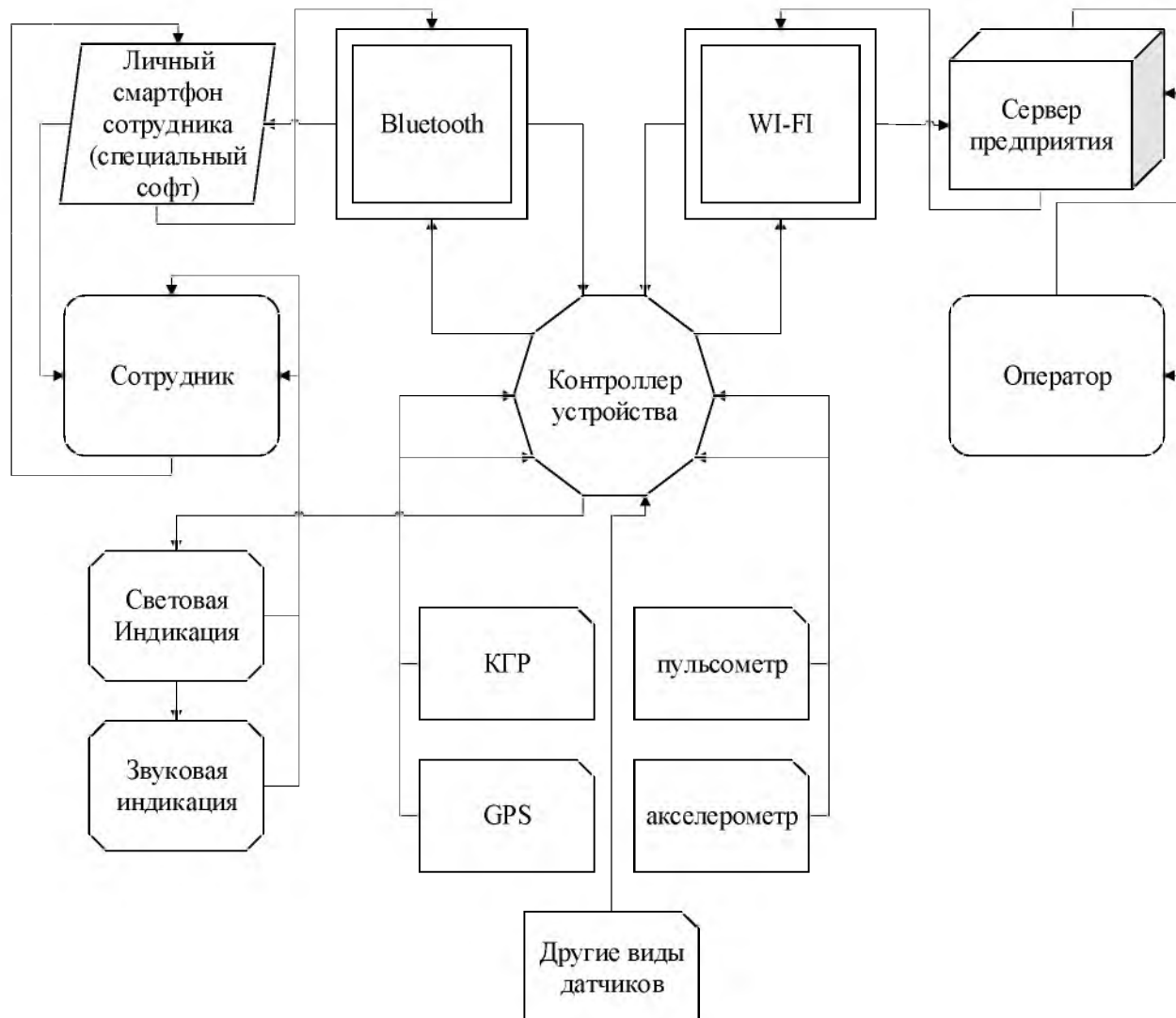


Рисунок 6.3. Принципиальная блок-схема разработанного носимого устройства

6.4.1 Описание разработанного устройства

Устройство разрабатывается на основе семейства программируемых микроконтроллеров Arduino, предназначенных для легкого создания средств автоматизации и робототехники. Arduino – аппаратная платформа для разработки устройств, с платой ввода/вывода и простой средой разработки на Processing/Wiring. Базируется

ся на МК Atmel AVR (ATmega), при этом большинство плат программируются через USB. Эта платформа оптимально подходит для прототипирования устройств, что позволит быстро, эффективно и недорого создать экспериментальный образец, а также апробировать готовое изделие непосредственно в среде его эксплуатации. В случае, если экспериментальный образец докажет свою полезность на производстве, уже на основе работающего образца можно будет создать более специализированное устройство, удовлетворяющее всем условиям эксплуатационной динамики на производстве. Также большим плюсом аппаратной платформы Arduino является значительное количество типовых датчиков, сенсоров и аппаратных решений. Кроме этого, за время существования данной платформы сформировалась большая база аппаратных решений и программного обеспечения, упрощающая создание, поддержку всех функций устройства в реальном времени. Платформа Arduino, являясь компактным и недорогим решением, также предоставляет возможность применения модульной структуры для разрабатываемых устройств, что еще более расширяет возможную область их применения на производстве.

На рисунке 6.4 изображена принципиальная схема разрабатываемого носимого устройства, в которую входят следующие элементы: 1 – Wemos Lolin 32; 2 – микроконтроллер Iskra Nano Pro; 3 – датчик, измеряющий кожно-гальваническую реакцию (КГР); 4 – IMU-сенсор на 10 степеней свободы; 5 – датчик измерения пульса; 6 – аналоговый термометр; 7 – GPS/GLONASS-приёмник; 8 – OLED-дисплей; 9 – зуммер; 10 – вибромотор; 11 – сборка дарлингтона (ULN2003A); 12 – преобразователь логики 3.3V-5V; 13 – элемент питания; 14 – браслет/манжета [250].

Все элементы, представленные на принципиальной схеме (рисунок 6.4), подробно описаны в Приложении Е.

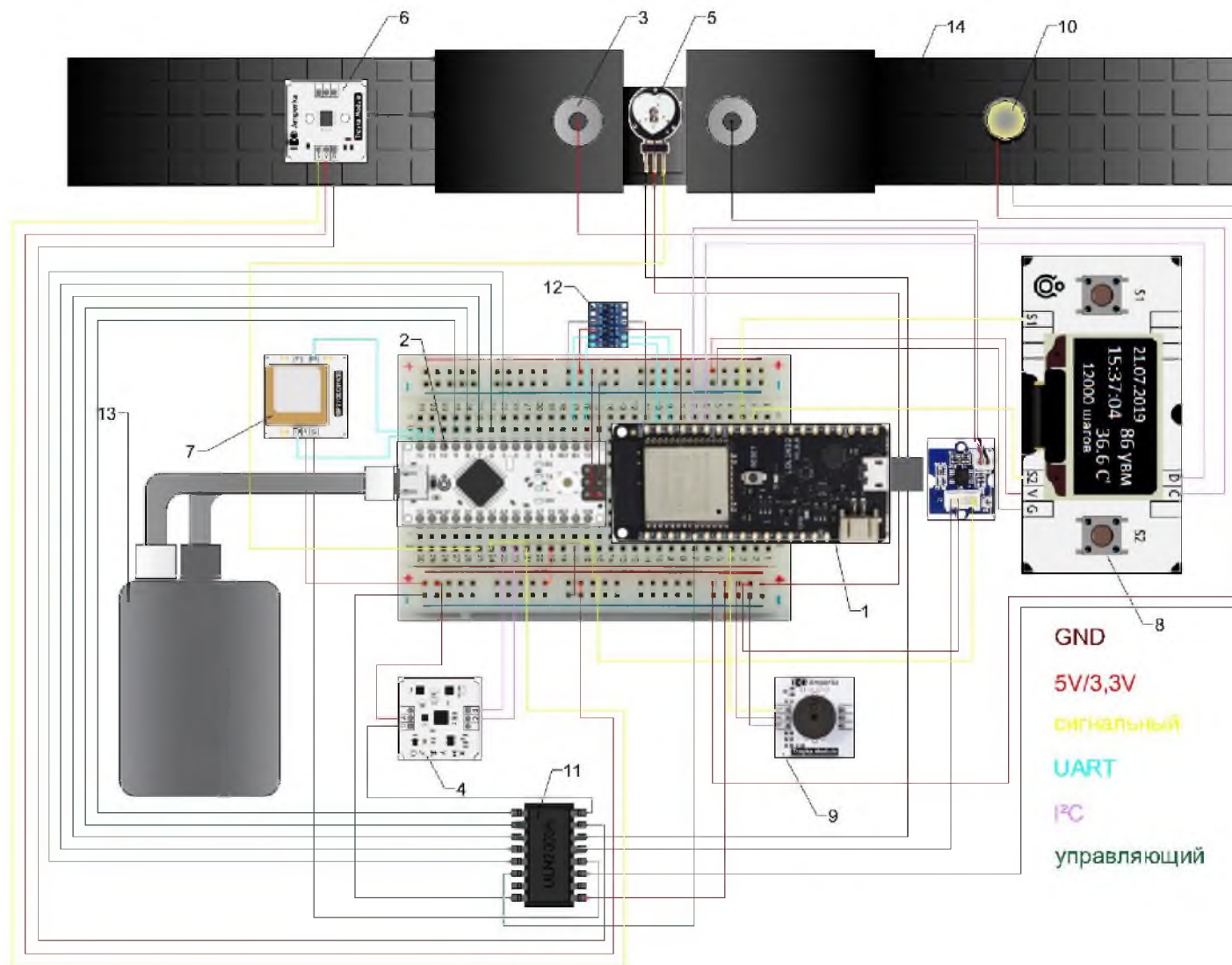


Рисунок 6.4. Принципиальная схема разработанного носимого устройства

6.5 Компьютерная программа «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами»

Программное обеспечение является структурной единицей разрабатываемого устройства по индивидуальному мониторингу психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли во время выполнения рабочего процесса. Данное программное обеспечение реализовано в среде IDE Clarion (Си). Программное средство получает по беспроводному каналу связи информацию от датчиков показатели кожно-гальванической реакции, пульса, температуру окружающей среды и тела, данные акселерометра и GPS-позиционирование работника на карте предприятия для дальнейшей обработки. Каждому работнику присвоен уникальный номер для идентификации и закладываются индивидуальные характеристики уровня значений контролируемых параметров (норма, ниже нормы, выше нормы). Если полученные данные указывают на отклонение от нормальных значений, то оператор получает сигнал-оповещение и принимает решение для своевременной реакции на ситуацию, что снизит производственный риск. Программное обеспечение выполняет ряд функций: накопление показаний датчиков для каждого зарегистрированного работника; при отклонении показаний от нормы информация записывается в протокол в хронологическом порядке с указанием даты, времени и характера отклонений. Накопленная информация после анализа может быть использована для организационных и административных решений, направленных на улучшение эффективности работы предприятия с подчиненными [248].

Программа создана для работы под управлением OS Windows. Интерфейсная часть построена на базе Graphical User Interface (GUI). Разработка визуальной композиции и временного поведения GUI является важной частью реализации в области взаимодействия оператора с компьютером для повышения эффективности и простоты использования базового логического дизайна разрабатываемой программы, так как все управляющие элементы программного интерфейса

имеют «ожидаемое» поведение подобно любому другому программному средству, работающему в этой OS.

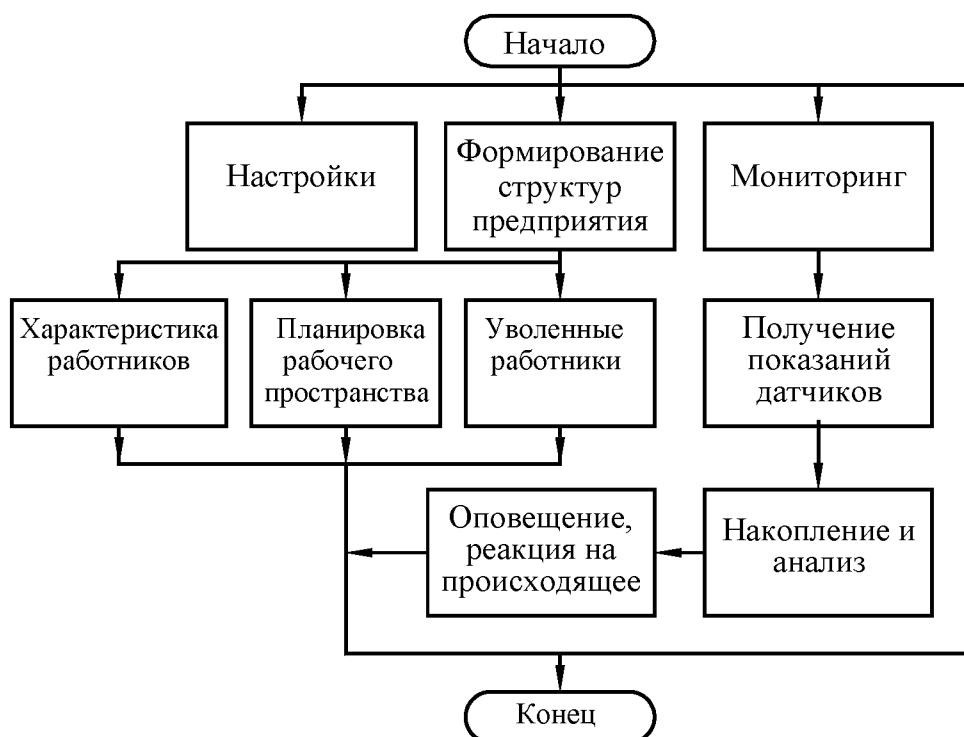


Рисунок 6.5. Укрупненная блок-схема алгоритма моделирования

Программа построена по модульному принципу. Основной модуль содержит непрерывный («вечный») цикл, в рамках которого реализуются все функциональные возможности программы. При этом совершаются несколько блоков анализа:

- обработка активных элементов интерфейса;
- обработка predetermined горячих клавиш;
- обработка и анализ полей ввода.

Экранные формы, реализуемые в рамках программы, могут подвергаться динамической модификации в зависимости от информационных потребностей. Отдельные элементы интерфейса могут подвергаться изменению их функциональных возможностей, например, скрываться или деактивироваться/активироваться в зависимости от текущих условий или связанных с теми или иными действиями оператора. Такой подход существенно повышает устойчивость программного средства, уменьшает количество ошибок и способствует логике выполнения алгоритма.

В этом же цикле обрабатываются действия по горячим клавишам как программы, так и операционной системы.

Обработка полей ввода повышает комфортность оператора, особенно при вводе значений с наложенными ограничениями диапазона.

Каждый объект в рамках реализуемого программного пакета содержит набор функций и методов, основными из которых являются инициализация с динамическим выделением памяти для его функционирования и отображения, а также метод удаления данного объекта с освобождением памяти после его закрытия. Наряду с этими объект содержит другие методы, обеспечивающие его функциональное предназначение.

Объекты инкапсулируют методы по обработке событий, поток которых обрабатывается в рамках основного цикла путем их вызова.

6.5.1 Описание основных окон программы

Главное окно программы типа Frame содержит основное МЕНЮ, через которое реализуются все функциональные возможности программного средства. Под этим меню располагается графическое меню, представленное в виде набора иконок:



Перечень действий, которые выполняются данными клавишами:

- ▢ ← – перейти в начало таблицы к первой записи;
- ▢ ←← – перейти на одну страницу к началу таблицы (страница – количество видимых в окне строк минус одна);
- ▢ ← – перейти на одну строку выше к началу таблицы;
- ▢ → – перейти на одну строку ниже к концу таблицы;
- ▢ →→ – перейти на одну страницу к концу таблицы;
- ▢ → – перейти в конец таблицы к последней записи;
- ▢ ✓ – выбрать активную строку для ее последующей вставки куда-либо;

- + – вставить новую запись;
- ▲ – редактировать активную запись;
- – удалить активную запись.

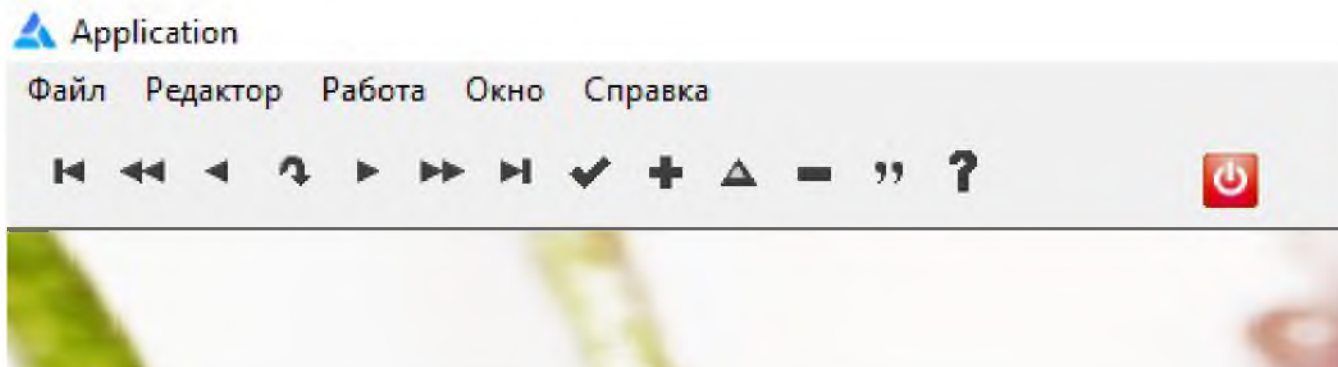


Рисунок 6.6. Главное меню программы

Фрагмент окна ГЛАВНОГО МЕНЮ

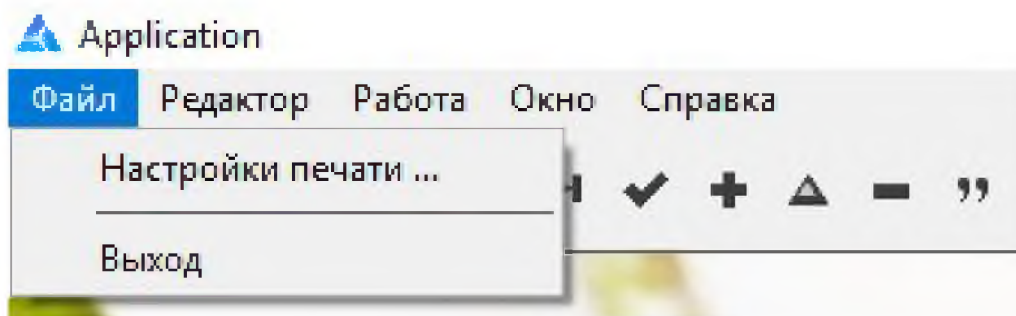


Рисунок 6.7. Фрагмент окна главного меню

Настройка печати: выбор принтера и его параметры, если необходимо задание каких-либо особенностей печати. По умолчанию используется принтер, установленный в системе.

Выход: закрыть приложение.

Меню «Редактор»: работа с фрагментами информации – копировать, вырезать, вставить.

Меню работа: основные операции по управлению данными и их анализу.

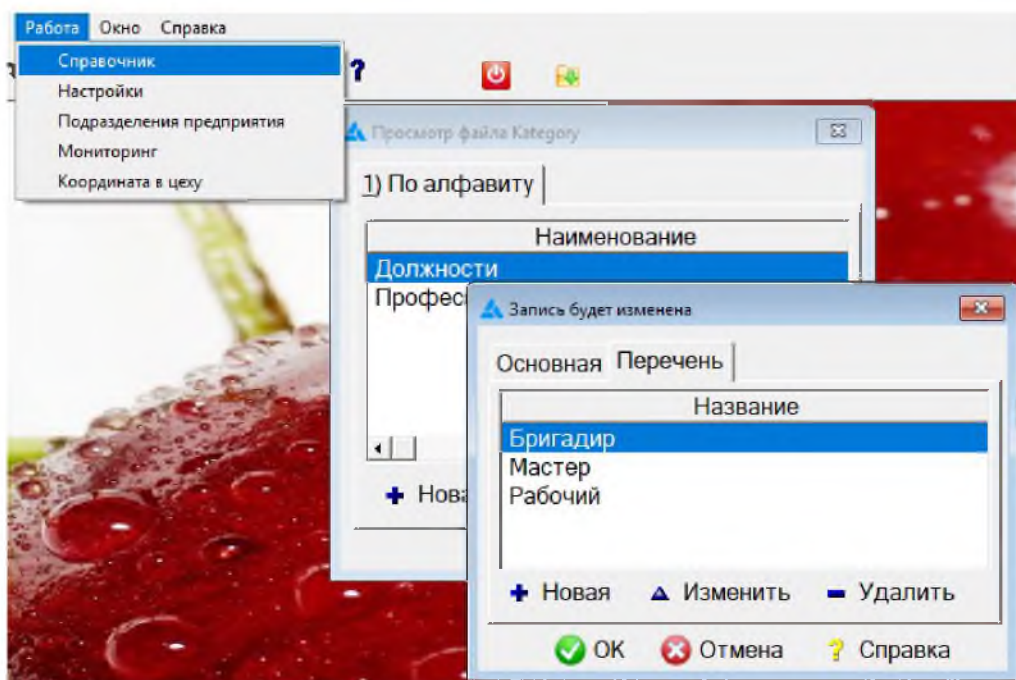


Рисунок 6.8. Справочник

Справочная информация содержит различные статистические параметры, используемые при наборе данных.

НАСТРОЙКИ

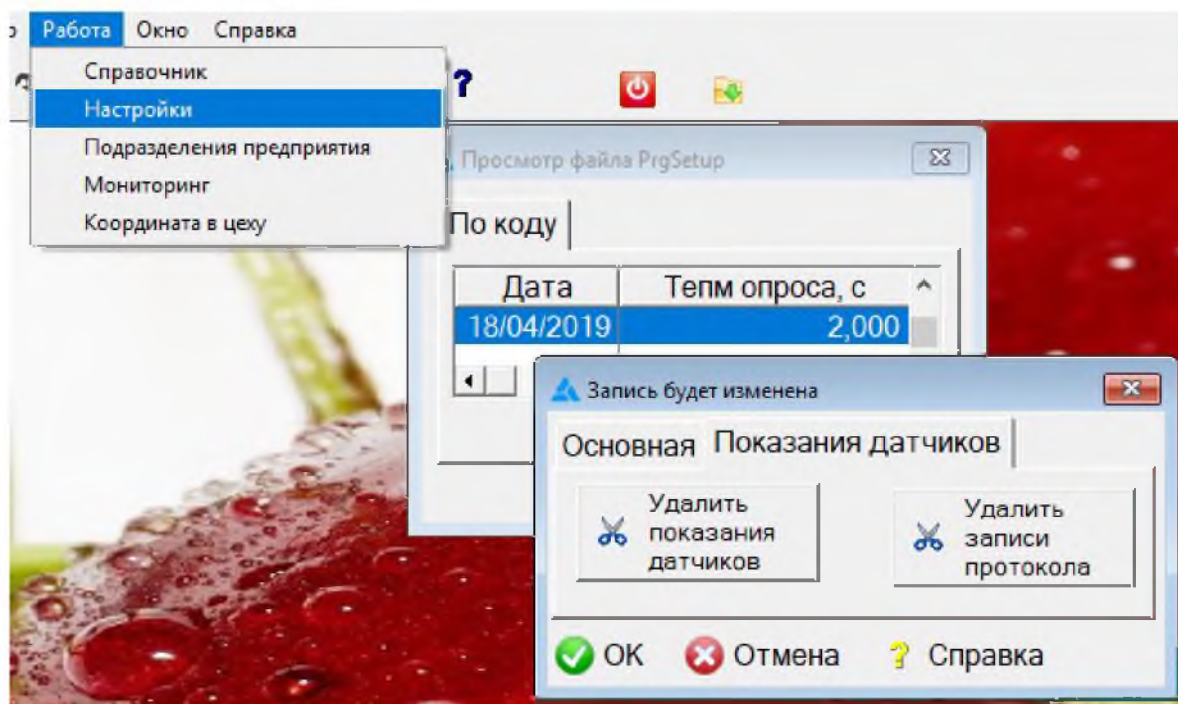


Рисунок 6.9. Настройки

Раздел «Настройки» содержит настройки темпа опроса датчиков (с), а также кнопки для обнуления файлов, накапливающих записи показаний датчиков.

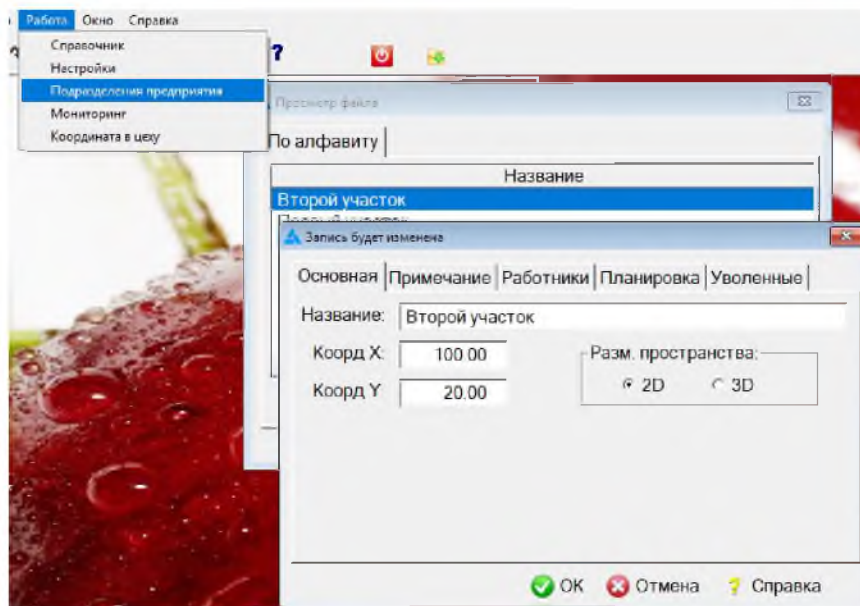


Рисунок 6.10. Подразделение предприятий (цехи, участки и др.)

«Подразделения предприятия», где размещены рабочие места, включают в себя данные операторов, чье состояние подлежит мониторингу, и содержат название, начальные координаты (2- или 3D).

Содержание закладок включает в себя следующие пункты.

«Примечание» – здесь вносятся любые пометки, мнения, предложения в текстовом виде.

«Работники» – перечень операторов.

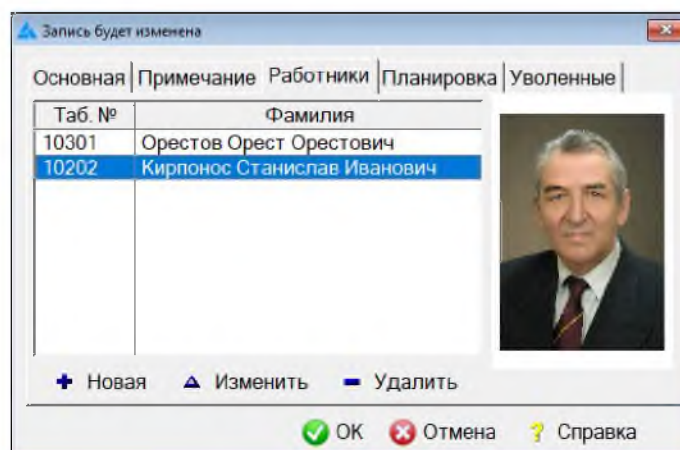


Рисунок 6.11. Добавление или удаление работника

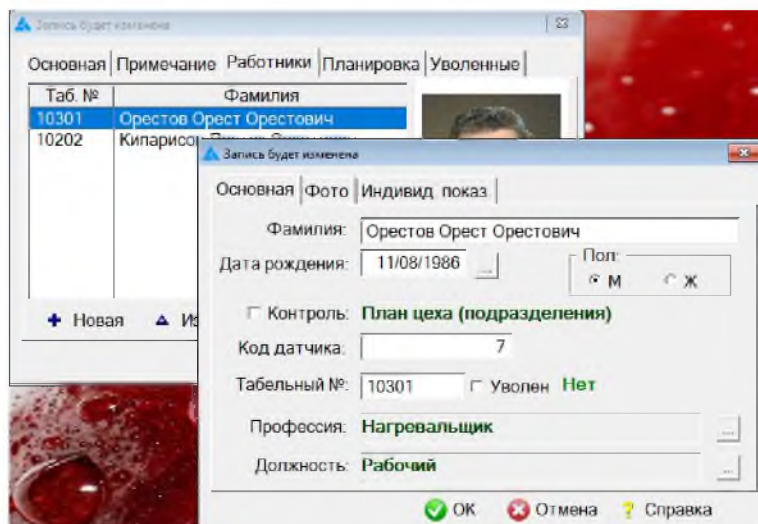


Рисунок 6.12. Сведения о работнике

Карточка работника содержит информацию: фамилия, имя, отчество; дата рождения; пол; код датчика; табельный номер; профессия; должность; информация об увольнении.

Перечень данных при необходимости и согласовании с заказчиком можно изменить.

Закладка «Фото» содержит фотографию работника для идентификации, если коллектив большой и не все друг друга знают.

Закладка «Индивидуальные показатели» содержит диапазон контролируемых факторов (min, max).

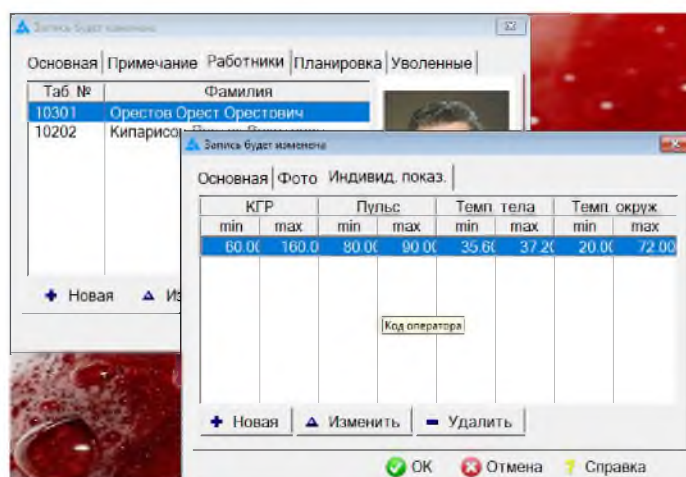


Рисунок 6.13. Установка граничных данных датчиков

«Планировка» устанавливает координаты контролируемого пространства. Если РМ – не прямоугольник, а любая сложная фигура (объем), то на схеме (плане) назначаются точки, координаты которых описывают контролируемую область (2D) или объем (3D).

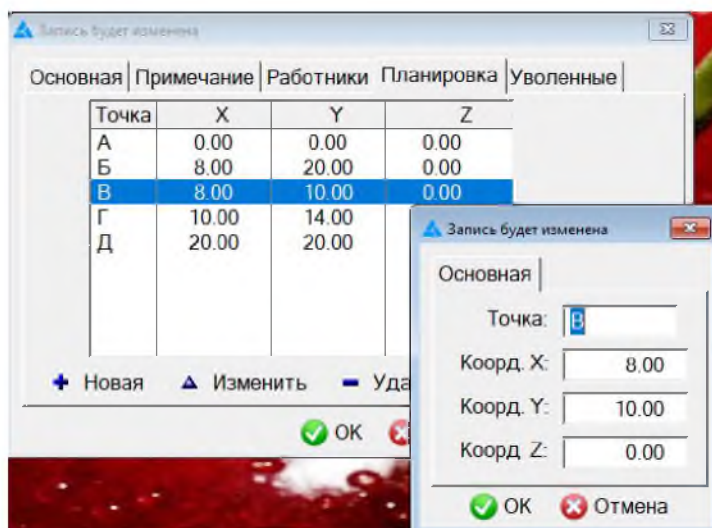


Рисунок 6.14. Координаты контролируемого пространства

«Уволенные» – включает данные об уволенных работниках с исключением их из процесса мониторинга, при этом сохраняя прошлую информацию.

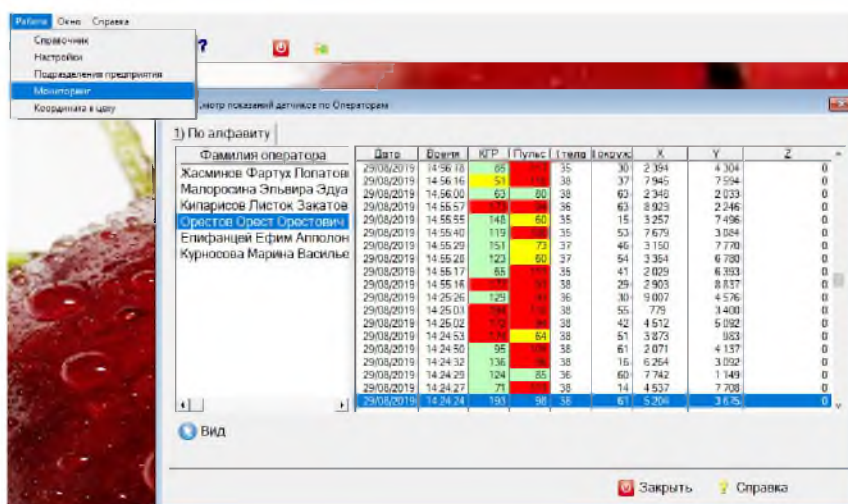
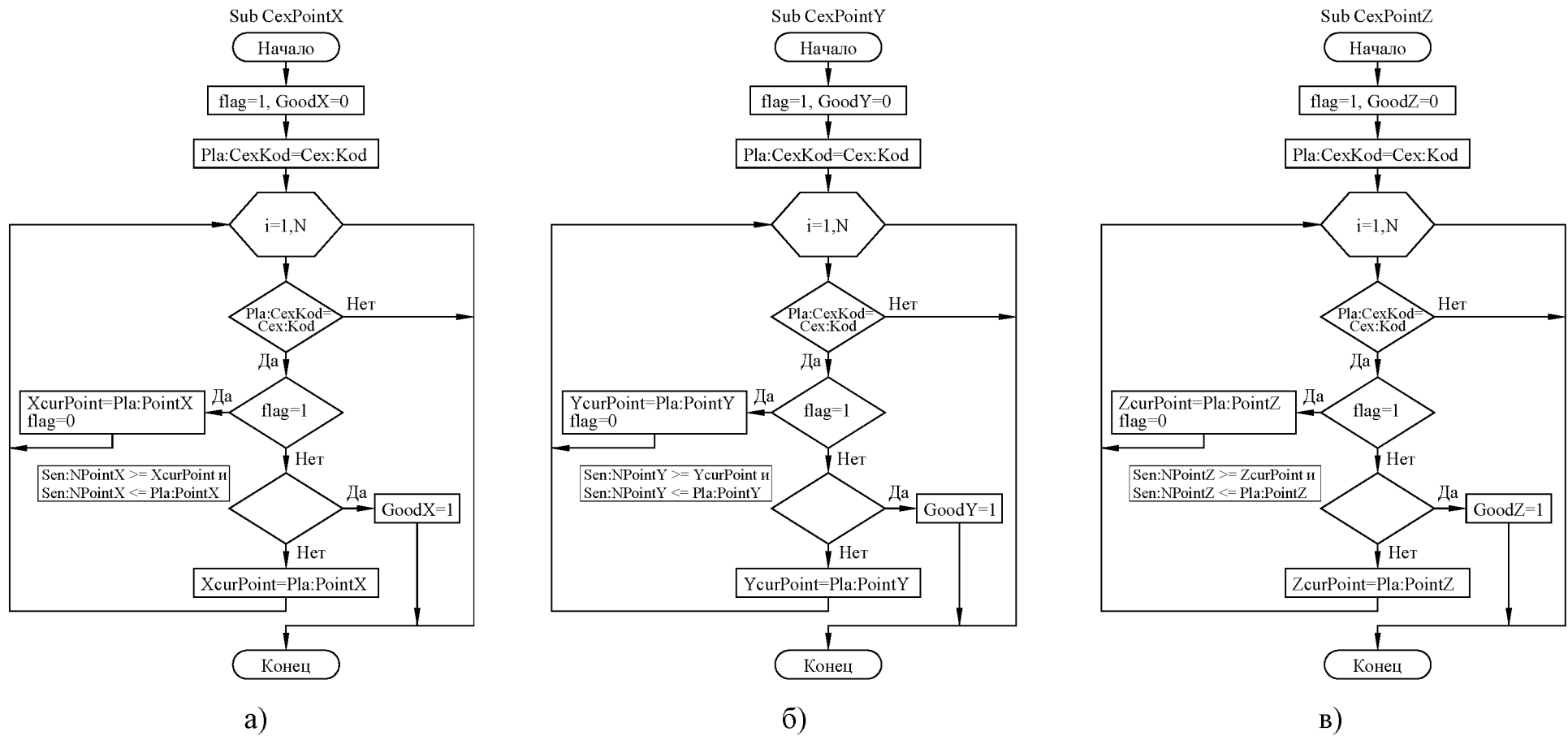


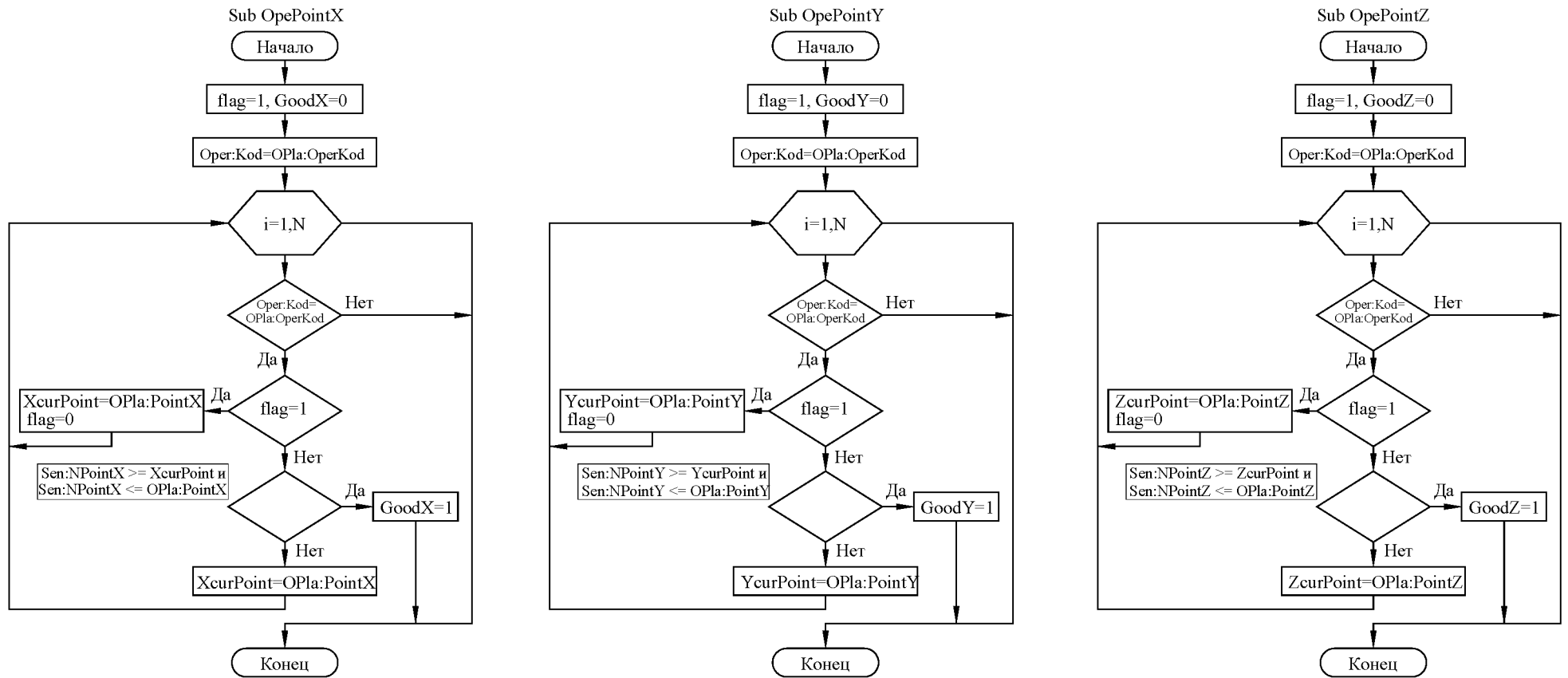
Рисунок 6.15. Мониторинг показаний датчиков

«Мониторинг» содержит перечень операторов, подверженных контролю состояния. При выделении того либо иного работника в правой части представляются значения датчиков, причем эта таблица заполняется только теми показаниями, где показания хотя бы одного датчика выходят за индивидуальные пределы для этого оператора [249].



а – координаты по X; б – координаты по Y; в – координаты по Z

Рисунок 6.16. Определение местоположения оператора на карте предприятия (цеха)



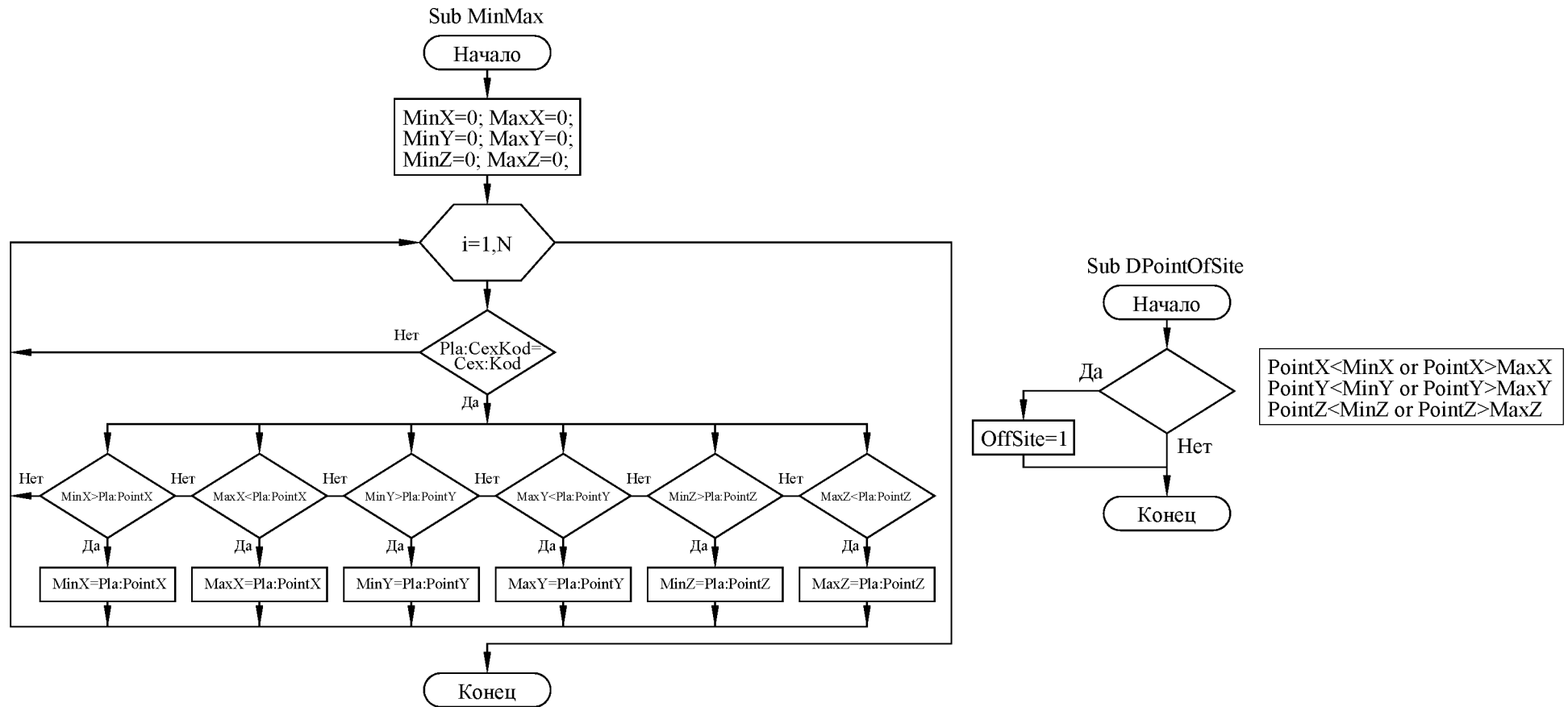
а)

б)

в)

а – координаты по X; б – координаты по Y; в – координаты по Z

Рисунок 6.17. Определение местоположения оператора на карте цеха (рабочего места)

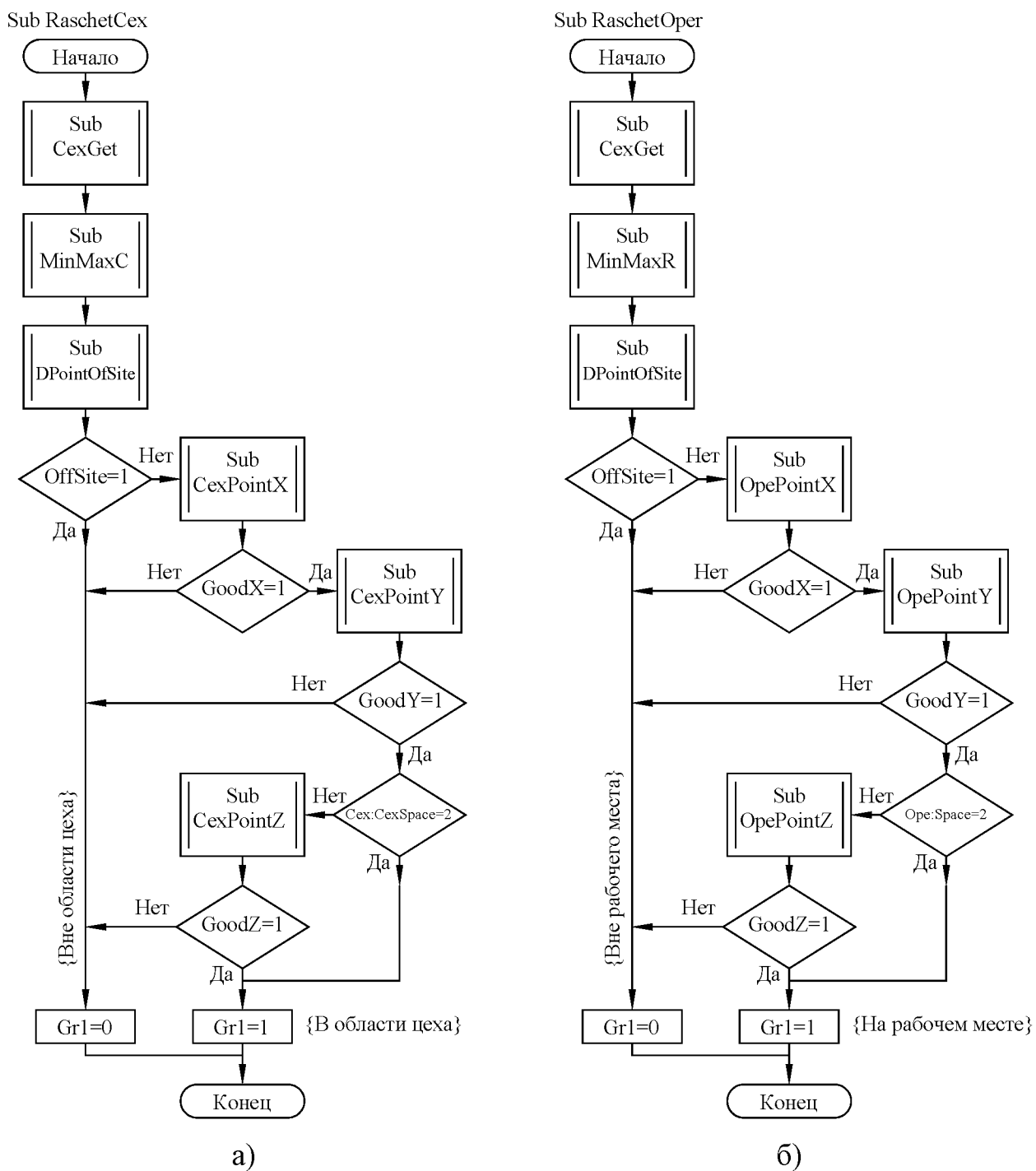


а)

б)

а – процедура определения min/max; б – процедура попадания в требуемый диапазон

Рисунок 6.18. Определение значений граничных координат по цеху предприятия



а – в области цеха; б – на рабочем месте

Рисунок 6.19. Расчет позиционирования работника с учетом всех координат

Материалы настоящего раздела опубликованы в следующих научных работах [225, 229, 239, 248].

Выводы

1. Обоснованы причины возникновения аварийных ситуаций на рабочем месте: недостаточная профессиональная пригодность, склонность к опасностям, неудовлетворительная связь между восприятием сигналов и двигательной реакцией человека, волнение за возможную ошибку в результате повышенной ответственности за качество работы, несоответствие эргономических показателей оборудования антропометрическим характеристикам работников, наличие фоновых шумов, необходимость значительного количества переналадок оборудования и т. д.

2. Внедрение средств индивидуального мониторинга физиологических параметров работника в металлургическое и машиностроительное производство позволит:

- дать оценку психофизического состояния сотрудника в режиме реального времени;
- принять своевременные меры для разрешения критической ситуации или минимизации ущерба;
- составить общую картину психофизиологического уровня состояния трудящихся работников предприятия;
- провести статистический анализ-сравнение для улучшений алгоритма подбора сотрудников по их индивидуальным психофизиологическим параметрам.

3. Разработано устройство для снятия индивидуальных показаний психофизиологических реакций (пульс, КГР) организма сотрудника во время рабочего процесса и определения местонахождения рабочего на территории производства, выявления резкого изменения положения рабочего в пространстве в режиме реального времени. Устройство снимает показатели психофизиологических реакций у рабочего, данные о расположении сотрудника на карте производства, данные о положении в пространстве и передвижениях в течение всей рабочей смены и пе-

редает на сервер для дальнейшей обработки, сохранения и последующего использования в конкретных ситуациях производственного процесса.

4. Выявлено, что область применения регистрации КГР на производстве, как самостоятельной, так и в составе других методик считывания психофизиологических реакций (измерения пульса, ЭЭГ, дыхания, реакции зрачков) в режиме реального времени при нештатных ситуациях или в условиях симуляции рабочего процесса с раздражителями, приближенными к таковым, при реальных чрезвычайных ситуациях или при подборе персонала в будущем, позволяющей провести сравнительный анализ по максимально/минимально допустимым характеристикам КГР у соискателя на должность работника с допустимыми значениями КГР, как видно, довольно обширна. Причем все эти области применения в отдельности или в комплексе позволят снизить, а то и вовсе предотвратить вероятность появления ошибок, аварий и технологических катастроф в зависимости от состояния ЧФ на конкретном предприятии, а также степени технической реализации регистрации КГР и возможности внедрения на производстве вследствие уменьшения ошибок, аварий и технологических катастроф, повышения производительности труда и уровня техники безопасности.

5. Разработано программное обеспечение «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами», являющееся структурной единицей устройства по индивидуальному мониторингу психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли во время рабочего процесса.

6. Программное обеспечение выполняет ряд функций: накопление показаний датчиков для каждого зарегистрированного работника при отклонении показаний от нормы; при этом информация записывается в протокол в хронологическом порядке с указанием даты, времени и характера отклонения(й). Накопленная информация после анализа может быть использована для организационных и административных решений, направленных на улучшение эффективности работы предприятия с подчиненными.

7. Разработанное устройство в комплексе с программным продуктом позволит:

- определить предсменное ПФС рабочего, тем самым сократить вероятность ЧП из-за ЧФ еще до того, как рабочий войдет в производственный процесс;
- отслеживать изменения психофизиологической активности сотрудника во время рабочего процесса в режиме реального времени, принимая своевременные меры по противодействию негативным эффектам от влияния не совместимых с работой психофизиологических изменений у сотрудников предприятия;
- позволит выявить появление стресса у рабочих в результате нервного и эмоционального перенапряжения при выполнении своих производственных задач и принять меры по предупреждению влияния его долгосрочных последствий на эффективность труда;
- определять степень производственной усталости на разных стадиях ее развития у сотрудников предприятия, что обеспечит устранение развития утомления во времени, а также позволит не допустить глубоких стадий утомления и переутомления у сотрудников;
- использовать устройство в комплексе с программным продуктом в качестве трекера производственной активности сотрудника при выполнении своих обязанностей в режиме реального времени;
- обеспечить косвенное наблюдение за рабочим с целью противодействия промышленному шпионажу, диверсиям и т. д.;
- своевременно оповещать персонал на основе реализации возможности обратной связи.

РАЗДЕЛ 7.
ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИИ
ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА В РЕЖИМЕ
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

7.1 Оценка функционального состояния систем организма рабочего

Оценка функционального состояния систем организма работника позволяет установить характер и выраженность изменений физиологических функций и работоспособности человека в зависимости от вида труда, величины рабочей нагрузки. Изменение работоспособности проходит несколько фаз, из которых основными являются фаза вработывания, фаза устойчивой работоспособности, которая может понижаться к середине рабочей смены вследствие утомления и снова повышаться после обеденного перерыва, и фаза понижения работоспособности к концу смены, обусловленная развитием утомления. В ряде случаев в конце смены наблюдается так называемый конечный порыв, характеризующийся повышением работоспособности, но не свидетельствующий об уменьшении утомления [251, 252].

С целью оценки функционального состояния систем организма предлагается ввести психофизиологическое исследование в режиме реального времени при помощи разработанного устройства по индивидуальному контролю за психофизиологическим состоянием рабочего, которое поможет определить величину и направленность изменений рассматриваемых показателей в течение рабочей смены.

Для проведения исследований необходимо выбирать методы и средства, позволяющие получить данные, наиболее адекватно и полно отражающие состояние функциональных систем организма, подвергающихся нагрузке в процессе труда. В разработанном устройстве для определения психофизиологических показателей предусмотрены такие датчики: датчик ЧСС, датчик КГР, цифровой датчик измерения температуры тела, гироскоп.

Результаты психофизиологических исследований подвергают обработке методом вариационной статистики для определения степени их достоверности.

Разработанное устройство по контролю за индивидуальными психофизиологическими характеристиками рабочего в процессе труда и в режиме реального времени нуждается в разработке методики по анализу получаемых с устройства данных о психофизиологических процессах организма пользователя устройства во время трудовой деятельности. Разрабатываемая методика должна решить вопрос расшифровки психофизиологических изменений в организме рабочего во время работы, что позволит своевременно принять меры по нормализации ситуации на месте в зависимости от степени функционального состояния систем организма рабочего. Система, основанная на взаимодействии разрабатываемой методики и разработанного устройства, позволит более точно следить за функциональным состоянием рабочего фонда предприятия в процессе производства и даст возможность своевременно реагировать на негативные последствия от влияния ЧФ на производстве, как индивидуально, так и в целом по предприятию, что скажется на производительности труда. Также в будущем, на основе обработки массивов данных от парка носимых устройств на производстве, система позволит прогнозировать фазы вработывания, устойчивой работоспособности, пониженной работоспособности персонала, что позволит эффективно и рационально распределить нагрузку на человеческий рабочий фонд предприятия, что скажется на долгосрочной производительности предприятий.

Психофизиологические процессы, возникающие в организме человека во время деятельности, не индивидуальны, а индивидуальна сила, скорость протекания этих процессов, и зависят от множества как внутренних (возраст, пол, раса и т. д.), так и внешних факторов (боль, температура и т. д.). Чтобы более точно идентифицировать функциональное состояние рабочего на основе психофизиологических процессов, протекающих в организме носителя устройства, методика должна основываться на статистическом анализе индивидуальных психофизиологических характеристик рабочего за начальный, адаптационный период работы с устройством. В этот период состояние рабочего, как психическое, так и физиологическое, должно соответствовать оптимальному рабочему режиму, но и не превышать предельно допустимых норм психофизиологической активности во время

работы. Правильная и оптимальная работа системы разрабатываемого устройства и методики зависит от первоначальной подстройки под каждого носителя индивидуально [253].

Индивидуальный характер силы и скорости протекания психофизиологических процессов в организме человека не позволяет точно и оптимально прогнозировать функциональное состояние без первоначальной подстройки под пользователя. Более грубый инструмент по контролю за психофизиологическими характеристиками пользователя устройства основан на общих для человеческого вида тенденциях психофизиологического реагирования организма на разного рода стимулы и раздражители, что менее эффективно и достоверно по сравнению с другими, более точными, индивидуально подстроенными инструментами контроля [254, 255].

7.2 Измерение ЧСС

Частота сердечных сокращений является эффективным средством по отслеживанию психофизиологических реакций организма рабочего во время процесса работы. Регистрация и анализ ЧСС – довольно достоверный и легкий инструмент по контролю за реакциями психофизиологического характера в комплексе с другими инструментами (КГР, температура, гироскоп). ЧСС и сама по себе является уверенным показателем активности вегетативной нервной системы, и может служить показателем атипичных процессов, протекающих в организме рабочего во время трудового процесса, что может сказаться на производительности рабочего и повлечь неблагоприятные последствия. Если регистрируемые значения ЧСС превышают диапазон допустимых усредненных значений, то это уже может служить поводом к принятию мер по нормализации состояния пользователя устройства, вплоть до отстранения от работы.

ЧСС человека зависит от многих факторов и показателей. Она снижается в условиях пониженных температур. В организме на холоде сосуды сужаются, циркуляция крови замедляется. В таких условиях для поддержки нормального кровообращения телу требуется меньшее количество сердечных сокращений, поэтому пульс снижается. При повышенных температурах сосуды расширяются, ЧСС воз-

растает. Сердечные сокращения учащаются при обезвоживании организма. От недостатка жидкости кровь густеет, а сердце вынуждено работать более интенсивно. Это повышает частоту сердечных сокращений. Усиливается частота пульсации артерий также в стрессовых ситуациях и при психоэмоциональном напряжении. Это объясняется перевозбуждением вегетативной нервной системы, а она активизирует многие системы жизнедеятельности организма, в число которых входит сердце. В таблице 7.1 представлены показатели ЧСС в зависимости от возраста.

В итоге на изменение ЧСС у рабочего влияют как внутренние, так и внешние факторы, некоторые – допустимые, а некоторые – неблагоприятные, влияющие на ПФС пользователя устройства, снижающие производительность рабочего.

На рисунке 7.1 представлена шкала показателей ЧСС. Зоны разбиты по цветам: зеленый, светло-зеленый, желтый, оранжевый и красный. Относительно каждой зоне каждой зоне есть рекомендации, что делать с работником. Зеленый цвет и светло-зеленый – благоприятные для работы; желтый цвет – сотруднику работу выполнять можно, но при этом за ним необходимо вести наблюдение; оранжевый – отстранить от работы; красный – отстранить от работы, срочно доставить в медицинское учреждение. Такой подход был предложен и для мониторинга температуры тела и показателей КГР [256].

Таблица 7.1 – Показатели ЧСС в зависимости от возраста [257]

Возраст, г	Нормальное значение ЧСС, уд/мин	Максимальное значение ЧСС, уд/мин	Рабочее значение ЧСС, уд/мин
20	70	200	130–160
25	70	195	127–156
30	70	190	124–152
35	70	185	120–148
40	70	180	117–144
45	70	175	114–140
50	74	170	111–136
55	74	165	107–132
60	79	160	104–128
65 и старше	79	150	98–120

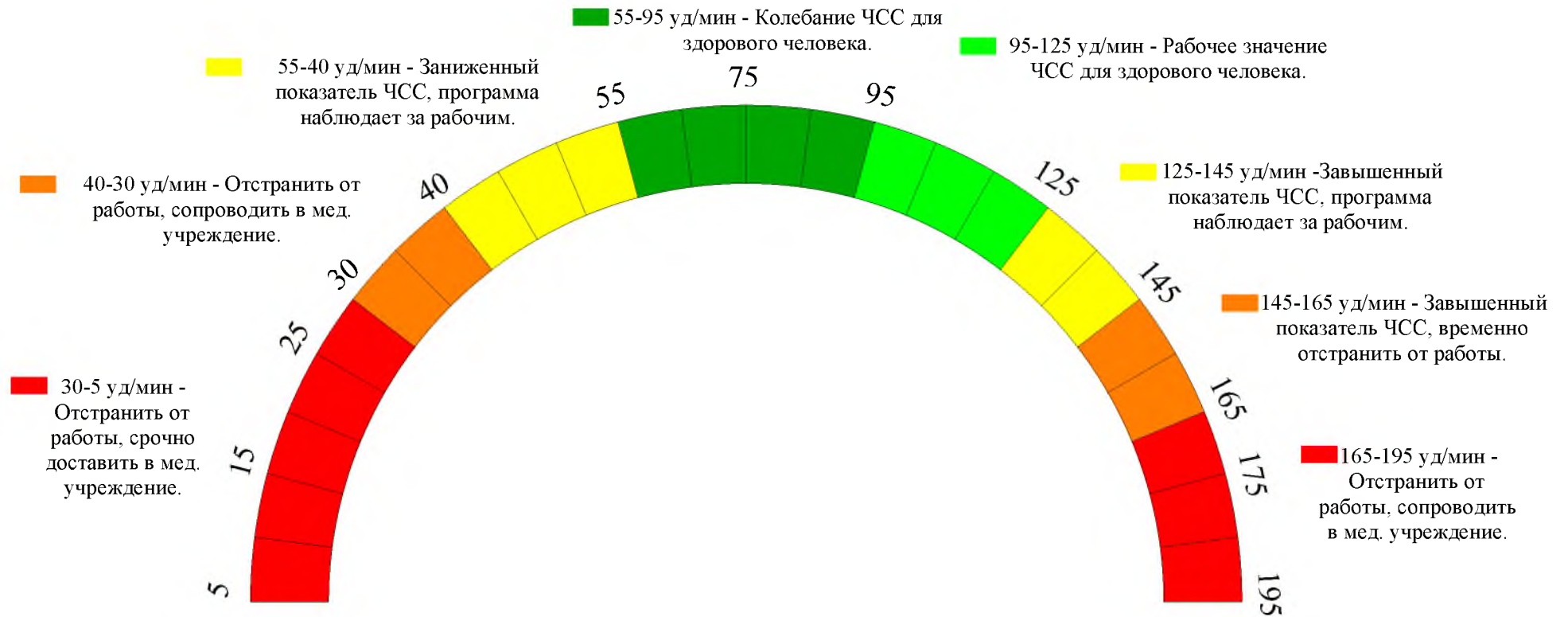
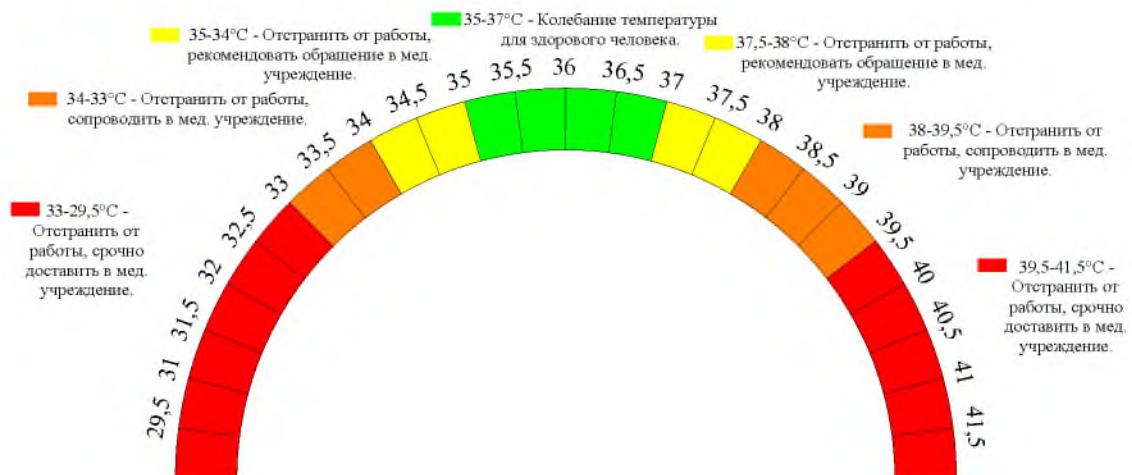


Рисунок 7.1 – Шкала показателей ЧСС, уд/мин

7.3 Измерение температуры тела

Температура тела контролируется гормонами щитовидной железы и гипоталамусом. Температура способна колебаться в результате стресса, страха, ночных кошмаров, при интенсивной умственной работе, инфекции [258–261]. Также на температуру тела влияют внешние факторы (переохлаждение, перегрев). Уровень температуры ниже 35 °С указывает на наличие серьёзного заболевания. Жертвы переохлаждения впадают в ступор, если температура их тела снижается до отметки 32,2 °С, большинство теряют сознание при 29,5 °С и погибают при температуре ниже 26,5 °С. Температура свыше 37 °С, указывает на наличие в организме рабочего воспалительного процесса, предельная температура для человека 42 °С. Температура тела каждого человека в течение дня колеблется в небольших пределах, оставаясь в диапазоне от 35,5 до 37,2 °С для здорового человека. Регистрация устройством температуры тела у рабочего, превышающей диапазон нормальных/допустимых, указывает на нетипичные внутренние или внешние процессы, которые могут оказать негативное влияние на ПФС сотрудника [262].

На рисунке 7.2 представлена шкала показателей температуры тела и рекомендации.



Шкала показателя температуры тела, °С

Рисунок 7.2. Шкала показателей температуры тела

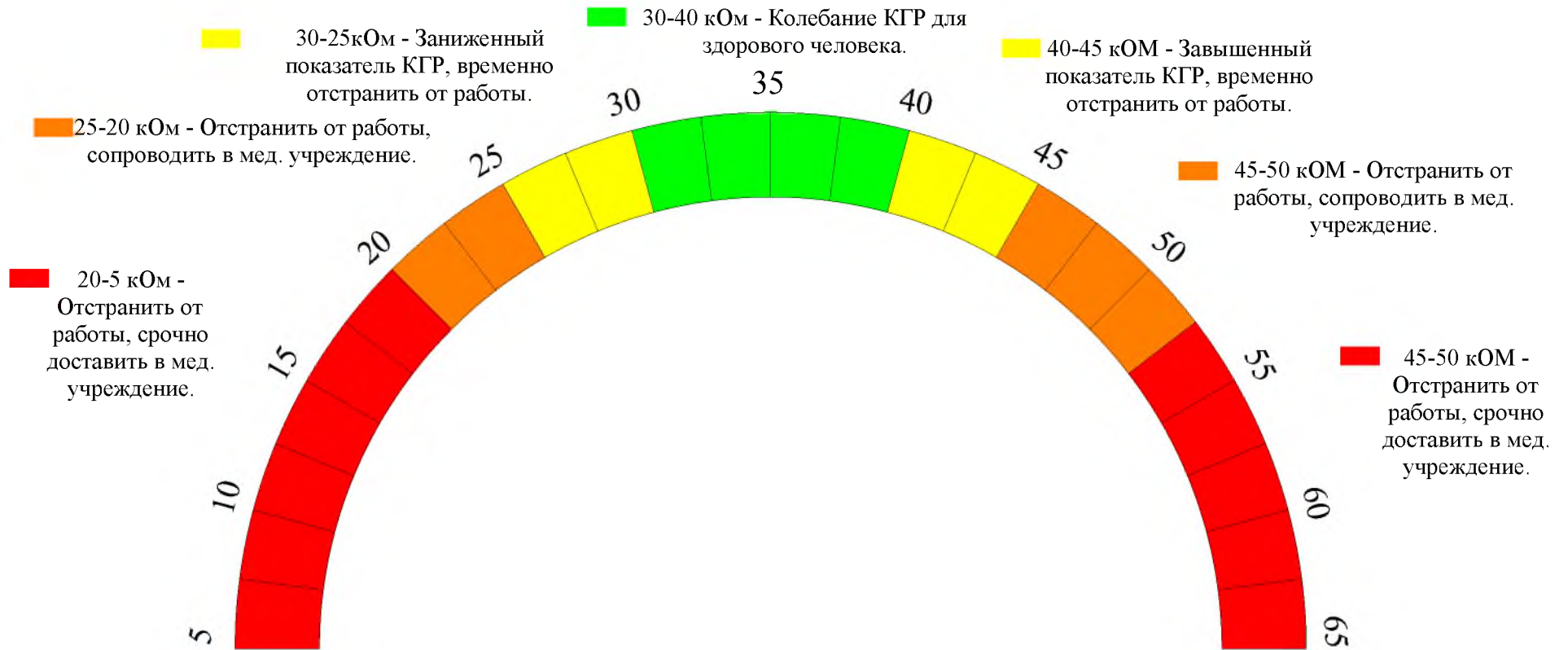
7.4 Регистрация показателей кожно-гальванической реакции

Кожно-гальваническая реакция (КГР) является мерой активности вегетативной нервной системы с долгой историей применения в психологических исследованиях. КГР – это чувствительный психофизиологический индикатор изменений вегетативного симпатического возбуждения, которое связано с эмоциональными и когнитивными состояниями.

Часто регистрация КГР осуществляется в сочетании с регистрацией частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и артериального давления, также являющимися показателями активности вегетативной нервной системы. КГР используется как один из регистрируемых параметров в современных полиграф-устройствах, которые часто применяются при детекции лжи.

Во все периоды развития, формирования и проявления психического напряжения или эмоционально-стрессовой реакции происходит определенная динамика вегетативных процессов, в том числе и КГР. Вегетативная реакция опережает моторную и формируется вместе с акцептором будущего результата действия. В период выполнения ответной поведенческой реакции, обусловленной острым эмоционально-стрессовым воздействием, вегетативные сдвиги определяются и связаны главным образом с моторными процессами, их следствиями, обменными реакциями, процессами гомеостаза. Они теряют свою специфичность и могут быть полностью схожи с вегетативными проявлениями, наблюдаемыми при аналогичных действиях неэмоционального происхождения. Таким образом, характер вегетативных проявлений при психологическом стрессе в значительной мере определяется природой защитного процесса и сугубо индивидуален для каждого рассматриваемого индивида.

Физиологические, биохимические и эмоциональные реакции организма, характеризующие развитие психического напряжения и психологического стресса, хоть и сугубо индивидуальный, специфический ответ организма на воздействие стресс-факторов, общая специфика протекания данных реакций в комплексе позволит судить о психофизиологическом состоянии индивида, хоть и не так точно, как при индивидуальной подстройке под индивида.



Шкала показателя КГР, кОм

Рисунок 7.3. Шкала показателей КГР

7.5 Рекомендации по оценке готовности человека к выполнению работы с учетом показателей носимого устройства

Перед тем как приступить (перед сменой) к работе, оператор должен получить носимое устройство.

Для авторизации носимого устройства с пользователем (каким-либо из способов) необходимо произвести первичную регистрацию психофизиологических показателей работника.

Порядок принятия решений после получения данных перед каждой сменой:

- если психофизиологические показатели сотрудника в допустимой нормальной области, то следует допустить сотрудника к выполнению трудовых обязанностей;

- если психофизиологические показатели сотрудника нетипичны и не входят в область допустимых нормальных значений для этого сотрудника, то следует отказать в допуске на работу до нормализации психофизиологических показателей;

- если показатели температуры сотрудника выше нормальной, то следует отказать в допуске на работу и рекомендовать посетить медпункт или медицинское учреждение;

- если показатели пульса сотрудника превышают норму:

- 1) произвести измерения через 10–15 минут;

- 2) если пульс не пришел в норму, то отказать в допуске на работу и рекомендовать посетить медпункт или медицинское учреждение.

Во время штатной работы устройства по регистрации психофизиологической активности персонала в процессе трудовой деятельности:

- если психофизиологическая активность рабочего во время исполнения своих трудовых обязанностей находится в допустимой нормальной области: устройство в штатном режиме продолжает регистрировать основные тенденции в психофизиологической активности сотрудника для дальнейшего анализа, на основании которого будет выработана стратегия по оптимизации рабочего процесса

как лично сотрудника, так и предприятия в целом, что положительно скажется на производительности работы предприятия;

– если во время работы у сотрудника показатели психофизиологической активности изменяются с области нормальной продуктивности на показатели, не характерные для него во время работы, то программное обеспечение на сервере предприятия, работающее в комплексе с разработанным устройством, анализирует, а затем сравнивает с ранее регистрируемыми показателями конкретного сотрудника и выдает рекомендации к последующим действиям по нормализации ситуации на месте в зависимости от степени изменения психофизиологического состояния сотрудника.

Таблица 7.2. Оценки состояния готовности человека к выполнению работ

Показатель	Состояние					
	Готов к работе	Устал во время работы	Устал во время работы	Временное отстранение от работы	Критическое поведение во время работы	Не допускать к работе
	Функциональный комфорт	Умственное утомление	Психическое напряжение	Психоэмоциональный стресс	Монотония	Нарушения здоровья
1	2	3	4	5	6	7
КГР	Спонтанные колебания кожного сопротивления	Увеличение тонического кожного сопротивления	Падение кожного сопротивления	Значительное падение кожного сопротивления	Значительные колебания кожного сопротивления по сравнению с тонической составляющей КГР	Значительное падение кожного сопротивления от нормы
ЧСС	Устойчивая, быстрая нормализация	Уменьшение	Учащение с изменением ритмичности	Колебания от устойчивого значения	Уменьшение с изменением ритмичности	Значительное понижение или повышение от нормы

Продолжение таблицы 7.2

1	2	3	4	5	6	7
Температура тела	Незначительное колебание в пределах нормы	Незначительное снижение	Повышение температуры в пределах нормы	Колебание температуры тела в допустимых пределах	Незначительное снижение	Значительное повышение или понижение от нормы
Психомоторика	Значения, близкие к индивидуальной норме	Нарушение координации движений	Кратковременное увеличение координации движений	Нетипичное изменение паттернов психомоторики	Индивидуальная реакция	Нетипичное снижение координации движения

Если отклонение психофизиологического состояния от эталонных показателей рабочего не слишком велико, то рекомендуется незамедлительно связаться с рабочим и уведомить, что его нынешнее ПФС может негативно сказаться на производственном процессе и привести к возникновению нештатной ситуации, что повлечет за собой снижение производительности и возможное причинение вреда здоровью. Рабочему рекомендуется за короткий промежуток времени вернуться к нормальному психофизиологическому состоянию, а если он самостоятельно не в силах нормализовать свое работа-ориентированное ПФС, то освободить его от обязанностей до восстановления нормального рабочего уровня психофизиологической активности.

Если при значительном расхождении эталонных показателей и регистрируемых значений психофизиологической активности рабочего/оператора/сотрудника с работником не получается установить связь средствами внутренней коммуникации предприятия или возможностями обратной связи самого устройства, то рекомендуется определить местоположение работника средствами устройства и передать эти данные ближайшим к нему коллегам, которые смогут без негативных последствий для рабочего процесса отлучиться и проверить его состояние, а также по ситуации оказать помощь и при необходимости взять ситуацию под свое наблюдение до прихода основной группы по контролю и

противодействию чрезвычайным происшествиям и нештатным ситуациям на производстве.

Устройство также поможет определить зарождение нервного и эмоционального перенапряжения сотрудника на ранних стадиях, что может привести к возникновению стресса. Хотя стресс является естественной реакцией организма на сложную ситуацию и при непродолжительном действии (приблизительно 30 минут) вызывает стимулирующий эффект, что положительно сказывается на работоспособности сотрудника, но негативные последствия от продолжительного воздействия стресса (ухудшение когнитивных функций, эмоционального состояния и др.) могут привести к необратимым, серьёзным последствиям на производстве (ЧП, нештатным ситуациям и др.). Программный комплекс выдаст рекомендацию по эффективному использованию положительного эффекта от стресса и противодействию (замена сотрудника на время, рекомендации по устранению негативного стресса на рабочем месте и т. д.), при этом отрицательно воздействие стресса сказывается индивидуально для каждого сотрудника.

Кроме отрицательного воздействия стресса на сотрудника немаловажно влияние производственной усталости. Физиологически сущность усталости заключается в снижении лабильности (подвижности) нервной системы в связи с затратами энергетических ресурсов и развитием процесса торможения, в результате чего нарушаются рабочий динамический стереотип и координация рабочих функций. Поскольку любой труд является единым нервно-мышечным процессом, то механизм утомления при физической, умственной, нервно-напряженной работе не очень отличается. Разработанное устройство в комплексе с программным продуктом позволит определить момент перехода легкой производственной усталости в стадию глубокого утомления и переутомления рабочего и принять своевременные меры по их противодействию. Также устройство и программный продукт выявляют зарождение легкой производственной усталости, что позволит принять меры по устранению развития утомления во времени, что эффективно скажется на работоспособности человека во времени.

Материалы настоящего раздела опубликованы в следующих научных работах [250, 256, 262].

Выводы

1. Для оценки функционального состояния систем организма предлагается вести психофизиологическое наблюдение за персоналом в режиме реального времени при помощи разработанного устройства по индивидуальному контролю за психофизиологическим состоянием рабочего, которое поможет определить величину и направленность изменений рассматриваемых показателей в течение рабочей смены.

2. На основе обработанных массивов данных от парка носимых устройств система позволит прогнозировать фазы вработывания, устойчивой работоспособности, пониженной работоспособности персонала; это позволит эффективно и рационально распределить нагрузку на человеческий рабочий фонд предприятия, что повысит производительность предприятия.

3. Для простоты восприятия полученных данных с датчиков носимого устройства разработана шкала, разбитая по зонам (разные цвета) с рекомендациями, что делать с работником. Зеленый цвет и светло-зеленый – благоприятные для работы; желтый цвет – сотруднику работу выполнять можно, но при этом за ним необходимо вести наблюдение; оранжевый – отстранить от работы; красный – отстранить от работы, срочно доставить в медицинское учреждение.

4. Даны рекомендации по оценке состояния готовности человека к выполнению работ по следующим пунктам: готов к работе, устал во время работы, временное отстранение от работы, критическое поведение во время работы, не допускать к работе. Эти рекомендации формируются согласно данным, поступающим с датчиков КГР, ЧСС, температуры тела в реальном времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе **решена имеющая важное хозяйственное значение** научно-техническая проблема развития научных основ обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов на базе учета показателей безотказности оборудования и человеческого фактора, совершенствования автоматизированной системы прогнозирования отказов машин и механизмов, а также предупреждения нештатных и аварийных ситуаций на металлургических и промышленных предприятиях.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. В результате анализа исследований надежной и безотказной эксплуатации машин, агрегатов и процессов, на основании факторов теротехнологии установлено, что наименее изученным направлением является вопрос анализа отказов методом статистической теории надежности. Для сохранения работоспособного состояния оборудования возникает необходимость использования методов расчета количественных характеристик надежности, опираясь на статистические данные наработок на отказ отдельных деталей, узлов, машин и агрегатов, а также в систематизации и обработке показателей безотказности оборудования и в формировании баз данных наработок на отказ. Необходимым является рассмотрение уровня эксплуатации, куда входит дисциплина технологического персонала и учет ЧФ. При расчете показателей безотказности необходимо ввести учет влияния человека на безотказность машин и агрегатов.

2. Получил развитие метод прогнозирования отказов машин и механизмов путём учёта особенностей эксплуатации технологически нового оборудования совместно с устаревшим, в том числе при внедрении новых технологий и проектировании металлургических цехов.

3. Усовершенствована автоматизированная система прогнозирования отказов машин и механизмов. Система позволяет накапливать и хранить данные нара-

боток на отказ всех элементов машин и механизмов, предупреждает на базе статистической теории надежности и экстраполяции закономерностей развития о скором выходе из строя их элементов.

Данная система может определять такие показатели, как: вероятность безотказной работы в течение определенного времени $P(t)$; гамма-процентная наработка до отказа $t\gamma$; средняя наработка до отказа T_1 ; средняя наработка на отказ T ; частота отказов $f(t)$; интенсивность отказов $\lambda(t)$; параметр потока отказов $\mu(t)$ и др.

4. Разработан программный продукт для оценки условий безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, а также производственного риска. В автоматизированном режиме выполняется оценка состояния машин и механизмов, устанавливается их остаточный ресурс работы, что позволяет усовершенствовать систему технического обслуживания и ремонта путем численного моделирования наработок технических объектов на отказ, причём с учетом влияния вредных и опасных производственных факторов, и безошибочного выполнения работником функциональных действий.

5. Исследование причин травматизма на предприятии показало, что в общем количестве НС и отдельно для мужчин и женщин причины организационного характера имеют большую долю среди других (45%), комплексные занимают второе место (~30%), на третьем месте психофизиологические (~20% – также немалая часть). Данные сведения подтверждают необходимость разработки методов и средств снижения влияния психофизиологических факторов на работников.

6. Разработана гибридная математическая модель прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора на основе представления сложной технической системы, управляемой человеком-оператором, в виде системы связанных элементов, часть из которых соответствует основным техническим узлам оборудования, а часть – характеризует оператора. Чувствительность модели к изменению технического и человеческого факторов составила 3,5...4,5%.

7. Разработана математическая модель взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора. Данная модель относится к классу имитационных моделей. Комплексный учёт данных показателей позволяет повысить точность прогнозирования возникновения внештатных ситуаций и выбрать рациональный режим работы оператора.

8. Исследовано влияние ЧФ в аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора. Из анализа полученных результатов проведенных исследований видно, что по показателям чувствительности человеческих отказов из 26 вероятностей возникновения отказов в диапазоне от 1 до 0,3 пять относятся к человеческим отказам и один к отказу технических узлов. Оценка чувствительности модели к групповым изменениям входных показателей дает следующую картину: чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ составляет 3,5%; чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ составляет 1%; общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 4,5%. Влияние ЧФ на надежность эксплуатации пневмосистемы манипулятора в 3,5 раза выше, чем ТФ.

9. Исследовано влияние ЧФ в аварийной ситуации при эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш. Расчет показал, что наиболее влияющие на вероятность отказа всей системы факторы в группе ЧФ: А3 – совершение ошибки при поиске органов управления и осуществлении заданного управляющего действия, А4 – необнаружение сигнала, А1 – нарушение правил безопасности; в группе ТФ: С13 – отказ предохранительного клапана. Чувствительность модели к изменению вероятностей группы ЧФ равна 1,998%; чувствительность модели к изменению вероятностей группы ТФ равна 1,003%, общая чувствительность модели к изменению всех факторов равна 3,017%. Влияние ЧФ на надежность эксплуатации механизма подъема и поворота свода и электродов агрегата печь-ковш в 2 раза выше технического фактора.

10. Предложен подход комбинирования вероятностных моделей оценки надежности системы «человек – машина» и имитационных моделей, позволяю-

щих воспроизводить различные ситуации изменения характеристик человека как элемента СТС и их влияния на надежность системы в целом.

11. Разработана «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов» на основе индивидуального устройства для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника в режиме реального времени, а также программного комплекса для ведения, обработки и анализа информации по всем работникам. Система позволяет предупредить нештатные и аварийные ситуации путем временного или полного отстранения работника от выполнения должностных обязанностей.

12. Разработано индивидуальное устройство для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника, которое работает в комплексе с системой мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов. Устройство позволяет снимать психофизиологические показатели человека в режиме реального времени, что дает возможность оперативно реагировать в нештатной ситуации, при аварии на производстве и при резких изменениях жизненных показателей работника.

13. Получила развитие классификация психофизиологических состояний человека в режиме реального времени (на базе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства). Оценки состояния готовности человека к выполнению работ: «отсутствие усталости» – допуск к работе; «незначительная усталость» – допуск к работе с ограничением; «существенная усталость» – временное отстранение от работы; «критическое поведение во время работы» – полное отстранение от работы; «недопустимое психофизиологическое состояние» – недопуск к работе.

14. Внедрения автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования, системы мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами и носимого индивидуального устройства, компьютерной программы расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли выполнено

на таких-то предприятиях: ЗАО «Внешторгсервис» Филиал № 12 (г. Алчевск), ЧАО «НПЦ «Трансмаш» (г. Луганск), ЗАО «Внешторгсервис» Филиал № 2 (г. Енакиево), ООО «Лугамаш» (г. Луганск), ЧАО «Лугцентрокуз» им. С.С. Монастырского (г. Луганск). Внедрение на участке непрерывной разливки стали кислородно-конвертерного цеха ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №12 позволило увеличить безотказность машины непрерывного литья заготовок № 1 на 21,81%. Фактический экономический эффект от внедрения составил 153935025,78 руб., что подтверждено расчетом от предприятия, долевое участие автора составляет 35% или 53877259,023 руб.

15. Дальнейшее исследование будет направлено на повышение безотказности машин и механизмов металлургической отрасли, а также совершенствование системы технического обслуживания и ремонта. Сбор и обработка полученных данных от внедренного в производство программного продукта «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами» и разработанного носимого устройства позволит усовершенствовать технологические карты на ряд операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четвертая промышленная революция. Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций : информационный документ / WORLD ECONOMIC FORUM (Материал подготовлен совместно с McKinsey & Company. Январь 2019 г.) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A7%20B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf (дата обращения 20.03.2021).
2. Межгосударственный стандарт надежность в технике. Термины и определения : ГОСТ 27.002-2015. - [Введ. 2017-03-01]. – М. : Стандартинформ, 2016. – 24 с.
3. Либерман, А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор. – СПб. : ВИС, 2006. – 103 с.
4. Обознов, А.А. Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики / А.А. Обознов, А.Ю. Акимова, Р.В. Агузумянц. – К. : Институт психологии РАН, 2014. – 528 с. – (Труды Института психологии РАН ; вып. 6).
5. Самсонкин, В.Н. Моделирование в самоорганизующихся системах : монография / В.Н. Самсонкин, В.А. Друзь, Е.С. Федорович. – Донецк : Заславський А. Ю, 2010. – 103 с.
6. Вишневский, Д.А. Расчет надежности металлургического оборудования и производственного риска // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – Вып. 7 (50). – С. 139–146.
7. Шор, Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М. : Советское Радио, 1962. – 552 с.

8. Половко, А.М. Основы теории надежности. Практикум / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 560 с. : ил.
9. Голинкевич, Т.А. Прикладная теория надежности. – М. : Высшая школа, 1977. – 160 с.
10. Гнеденко, Б.В. Основы теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
11. Гребеник, В. М. Повышение надежности металлургического оборудования : справочник / В.М. Гребеник, А.В. Гордиенко, В.К. Цапко. – М. : Металлургия, 1988. – 688 с.
12. Седуш, В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин. – Донецьк : ТОВ «Юго Восток, Лтд», 2007. – 379 с.
13. Белодеденко, С.В. Развитие методов расчета и исследований прочности металлургического оборудования // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 6. – С. 94–98.
14. Гущинский, А.Г. Влияние человеческого фактора на надежность энергетического оборудования // Сборник научных трудов / ГНУ СЗНИИМЭСХ. – СПб. : ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2010. – Вып. 8. – С. 96–101.
15. Мануилов, Н.И. Влияние человеческого фактора на надёжность тормозного оборудования поезда // Мир транспорта. – 2017. – Вып. 15 (3). – С. 196–204.
16. Лайдон, Б. Надежность человеческого фактора: взгляд экспертов [Электронный ресурс] // Ua.Automation.com. Факты, события, новости мира автоматизации. – Режим доступа: <http://ua.automation.com/content/nadezhnost-chelovecheskogo-faktora-vzglyad-jekspertov/> (дата обращения 20.03.2021).
17. Кукин, П.П. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. – М. : Высшая школа, 2002. – 319 с.
18. Гуров, С.В. Надежность восстанавливаемых резервированных систем с последствием отказов / С.В. Гуров, Л.В. Уткин // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 1. – С. 137–151.
19. Оценка запаса прочности деталей машин, подверженных асимметричному нагружению / А.В. Желдубовский, А.Д. Погребняк, М.Н. Регульский, и др.

- // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Вып. 6 (66). – С. 8–12.
20. Голуб, В.П. Метод расчета усталостной прочности металлических и композитных материалов при асимметричном многоцикловом нагружении / В.П. Голуб, В.И. Крижановский, А.Д. Погребняк // Прикладная механика. – 2004. – Т. 40, № 11. – С. 106–116.
 21. Gurov, S.V. Reliability of repairable systems with periodic modifications / S.V. Gurov, L.V. Utkin // Microelectron. Reliab. – 1996. – Vol. 36, No. 1. – P. 27–35.
 22. Gurov, S. V. Fuzzy reliability of gracefully degrading systems with the composite software / S. V. Gurov, L. V. Utkin // Reliability, Quality and Safety Engineering. – 1996. – Vol. 3, No. 2. – P. 153–165.
 23. Эксплуатация техники. Термины и определения : ГОСТ 25866-83. [Введ. 1985-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 7 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
 24. Gurov, S.V. Reliability and optimization of systems with periodic modifications in the probability and possibility contexts / S.V. Gurov, L.V. Utkin // Microelectron. Reliab. – 1997. – Vol. 37, No. 5. – P. 801–808.
 25. Когаев, В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : справочник / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
 26. Богданофф, Дж. Вероятностные модели накопления повреждений / Дж. Богданофф, Ф. Козин. – М. : Мир, 1989. – 344 с.
 27. Сезонные особенности развития повреждений металлургического оборудования / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников, В.М. Кравченко, В.В. Буцукин // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2010. – № 3. – С. 14–19.
 28. Гребеник, В.М. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности) : справочник / В.М. Гребеник, В.К. Цапко. – М. : Металлургия, 1989. – 592 с.

29. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами / В.Л. Лапин, В.М. Попов, Ф.Н. Рыжков, В.И. Томаков. – Курск : КГТУ, 1995. – 254 с.
30. Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора : ГОСТ Р МЭК 62508-2014. – Введ. 2015-12-01. – М. : СТАНДАРТИНФОРМ, 2015. – 52 с.
31. Грачева, Л.А. Оценка человеческого фактора на надежность сложных технических систем // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11-4. – С. 553–554.
32. Лепихин, А.М. Риск-анализ конструкций потенциально опасных объектов на основе вероятностных моделей механики разрушения : дис. д-ра техн. наук : 01.02.06 / РАН, Сибирское отделение, Институт вычислительного моделирования. – Красноярск, 2000. – 341 с. : ил.
33. Извеков, Ю.А. Анализ научно-методического аппарата и современных подходов к оценке безопасности сложных технических систем / Ю.А Извеков, Л.А. Грачева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8. – С. 9–10.
34. Пископель, А.А. Научная концепция: структура, генезис. Часть III : На пути к междисциплинарности: концепция надежности социотехнических систем [Электронный ресурс] // Гуманитарный портал : [сайт]. – Режим доступа: URL: <https://gtmarket.ru/laboratory/basis/5740/5753> (дата обращения 20.03.2021).
35. Царьков, А.С. Оценка пультов управления автоматизированных систем на ранних этапах проектирования / А.С. Царьков, В.В. Кондратьев // Управляющие системы и машины. – 1979. – № 1. – С. 8–14.
36. Цибулевский, И.Е. Ошибочные реакции человека-оператора. – М. : Советское Радио, 1979. – 210 с.
37. Цибулевский, И.Е. Человек, как звено следящей системы. – М. : Наука, 1981. – 288 с.

38. Чайнова, Л.Д. Функциональные состояния и функциональный контроль // Материалы всесоюзной конференции по эргономике. – Ереван : ВНИИТЭ, 1977. – С. 3–7.
39. Организация технического обслуживания металлургического оборудования / В.Я. Седуш, Г.В. Сопилкин, В.З. Вдовин и др. – К. : Техника, 1986. – 124 с.
40. Техническая диагностика. Термины и определения : ГОСТ 20911-89. [Введ. 1991-01-01.]. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 9 с. – (Межгосударственный стандарт).
41. Zhiltsov, A.P. Improving the reliability of metallurgical equipment parts via thermal spraying and ways to control coating properties = Повышение надежности деталей металлургического оборудования газотермическим напылением и пути управления свойствами покрытий / A.P. Zhiltsov, Y.A. Kharlamov, D.A. Vishnevsky // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2020. – Vol. 55, issue 1. – P. 140–147.
42. Тиц, Ю.В. Повышение надёжности и долговечности оборудования, эксплуатируемого на предприятиях черной металлургии / Ю.В. Тиц, В.Д. Плахтин. – М. : Черметинформация, 1970. – 22 с.
43. Подготовка ремонтов технологического оборудования в черной металлургии / Ю.В. Тиц, В.Д. Плахтин, И.М. Никберг и др. – М. : Металлургия, 1977. – 304 с.
44. Плахтин, В.Д. Теротехнология в металлургии. – М. : Металлургия, 1979. – 84 с.
45. Плахтин, В.Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. – М. : Металлургия, 1983. – 415 с.
46. Касаткин, Н.Л. Ремонт и монтаж металлургического оборудования. – М. : Металлургия, 1970. – 310 с.
47. Камышев, А.Г. Ремонт кранов металлургических заводов. – М. : Металлургия, 1970. – 296 с.
48. Прыткин, Д.П. Надёжность, ремонт и монтаж металлургического оборудования. – М. : Металлургия, 1985. – 386 с.

49. Принципы построения интегральной модели прогноза остаточного ресурса объекта / В.Я. Седуш, Н.А. Ченцов, С.А. Колочко, И.В. Кириченко // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1991. – № 9. – С. 23–34.
50. Ченцов, Н.А. Прогнозирование сроков отказа механического оборудования / Н.А. Ченцов, В.А. Сидоров // Сталь. – 2006. – № 1. – С. 62–64.
51. Ченцов, Н.А. Оценка модели прогнозирования отказов оборудования // Сталь. – 2008. – № 3. – С. 70–72.
52. Сидоров, В.А. Особенности проявления и выявления поломок металлургических машин / В.А. Сидоров, Е.В. Ошовская // Захист металургійних машин від поломок : зб. наук. пр. – Маріуполь : ПДТУ, 2000. – Вип. 5. – С. 14–19.
53. Жиркин, Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2002. – 330 с.
54. Баскакова, Н.Т. Инновационные подходы в планировании ремонтов металлургического оборудования на основе теории ограничений : монография. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 133 с.
55. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
56. Артоболевский, И.И. Введение в акустическую диагностику машин / И.И. Артоболевский, Ю.Н. Бобровницкий, М.Д. Генкин. – М. : Наука, 1979. – 296 с.
57. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / под ред. М.Д. Генкина. – М. : Наука, 1984. – 118 с.
58. Хазов, Б.Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б.Ф. Хазов, Б.А. Дидусев. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
59. Справочник конструктора РЭА. Компоненты, механизмы, надежность / под ред. Р.Г. Варламова. – М. : Радио и связь, 1985. – 426 с.
60. Надежность технических систем : справочник / под ред. И.А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.

61. Вопросы математической теории надежности / под ред. Б.В. Гнеденко. – М. : Радио и связь, 1983. – 376 с.
62. Надежность и эффективность в технике : справочник. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 224 с.
63. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичность отказов. Основные положения : ГОСТ 27.310-95. – [Введ. 1997-01-01]. – Мн. : Изд-во стандартов, 1996. – 19 с.
64. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности : ГОСТ 27.003-92. – [Введ. 1992-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 27 с.
65. Надежность в технике. Термины и определения : ДСТУ 2860-94. – [Введ. 1996-01-01]. – К. : Государственный стандарт Украины, 1995. – 91 с.
66. Ченцов, Н.А. Прогнозирование сроков отказа механического оборудования / Н.А. Ченцов, В.А. Сидоров // Сталь. – 2006. – № 1. – С. 62–64.
67. Модели вероятности безотказной работы и безопасности при оценке технического состояния / С.В. Белодеденко, В.И. Гануш, С.В. Филипченков, Ю.Г. Цыбанёв // Системные технологии : межвуз. сб. науч. работ. – Днепропетровск, 2010. – № 2. – С. 159–166.
68. Федорец, А.Г. Научно-методические основы управления производственными рисками на рабочих местах // Безопасность в техносфере. – 2007. – № 6. – С. 18-27.
69. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. – М. : Наука, 1994. – 576 с.
70. Вилкас, Э.И. Решения: теория, информация, моделирование / Э.И. Вилкас, Е.З. Майминас. – М. : Радио и связь, 1981. – 328 с.
71. Богдан, К.С. Интегральная модель прогнозирования даты отказа / К.С. Богдан, С.Л. Сулейманов // Металлургические процессы и оборудование. – 2012. – № 4. – С. 45–49.
72. Славутский, Л.А. Основы регистрации данных и планирование эксперимента. – Чебоксары : ЧГУ, 2006. – 200 с.

73. Определение основных показателей надежности шпиндельной клетки / Б.А. Сахаров, Ю.В. Изюмов, Д.А. Вишнеvский, Э.П. Левченко // Инновационные перспективы Донбасса : материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Донецк, 24-25 мая 2017 г. – Донецк : ДонНТУ, 2017. – Т. 3 : Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. – С. 72–78.
74. Барлоу, Р. Математическая теория надежности : пер. с англ. / Р. Барлоу, Ф. Прошан ; под ред. Б.В. Гнеденко. – М. : Советское радио, 1969. – 488 с.
75. Герцбах, И.Б. Модели отказов / И.Б. Герцбах, Х.Б. Кордонский. – М. : Советское радио, 1966. – 165 с.
76. Острейковский, В.А. Теория надежности. – М. : Высшая школа, 2003. – 463 с.
77. Тимошенкоv, С.П. Основы теории надежности / С.П. Тимошенкоv, Б.М. Симонов, В.Н. Горошко. – М. : Юрайт, 2015. – 445 с.
78. Geist, R. Reliability estimation of fault-tolerant systems: tools and techniques[Text] / R. Geist, K.S. Trivedi // Computer. – 1990. – Vol. 23, issue 7. – P. 52–61.
79. Balakrishnan M. An Analysis of a Reliability Model for Repairable FaultTolerant Systems / M. Balakrishnan, C.S. Raghavendra // IEEE Transactions on Computers. – 1993. – Vol. 42. – P. 327–339.
80. Полоvко, А.М. Основы теории надежности / А.М. Полоvко, С.М. Гуров. – СПб. : БХВ-Санкт-Петербург, 2006. – 560 с.
81. Волик, Б.Г. Анализ и выбор средств обеспечения техногенной безопасности технических объектов // Датчики и системы. – 2012. – № 6. – С. 57–63.
82. Denson, W. RiAC-HDBK-217Plus. Handbook of 217Plus Reliability Prediction Models / RiAC. – Alexandria, 2006. – 182 p.
83. Шавыкин, Н.А. Методика оценки безотказности технических средств / Н.А. Шавыкин, Б.П. Петрухин, Е.М. Жидомирова. – М. : Институт проблем управления, 1997. – 79 с.
84. Надежность ЭРИ (2006) : справочник / С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. – М. : ЦНИИИ МО РФ, 2006. – 674 с.

85. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis : MIL-STD-1629A, (24 nov. 1980).
86. Корчагин, А.Б. Надежность технических систем и техногенный риск / А.Б. Корчагин, В.С. Сердюк, А.И. Бокарев. – Омск : ОмГТУ, 2011. – 140 с.
87. Надежность технических систем : справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин [и др.] ; под ред. И.А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.
88. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с.
89. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТ-ДАНА, 2004. – 573 с.
90. Белов, П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техно-сфере. – М. : Акад. ГПС МЧС РФ, 2003. – 512 с.
91. Кохно, Н.П. Общая экономическая теория технологического развития произ-водства : монография. – Минск : БГЭУ, 2003. – 248 с.
92. Проников, А.С. Надежность машин. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
93. Климов, Е.А. История психологии труда в России (1917–1957). – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 334 с.
94. Доброборский, Б. С. Безопасность машин и человеческий фактор : моногра-фия / под ред. С.А. Волкова. – СПб. : СПбГАСУ, 2011. – 111 с.
95. Вишневский, Д.А. Анализ влияния «человеческого фактора» на надежность металлургического оборудования / Д.А. Вишневский, Б.А. Сахаров // Сбор-ник научных трудов Донбасского государственного технического универси-тета. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. – Вып. 12 (55). – С. 97–104.
96. Руу, Pekka Human reliability analysis methods for probabilistic safety assessment. – Espoo : Technical Research Centre of Finland (VTT), 2000. – 63 p.
97. A fuzzy approach to the evalua-tion of human factors in ultrasonic nondestructive examinations / J.D. Moré, A.S. Guimarães, G.B. Xexéo, R. Tanscheit // Journal of Industrial Engineering International. – 2007. – Vol. 3, Issue 5. – P. 41–52.

98. Вишнеvский, Д.А. Влияние человеческого фактора на надежность металлургического оборудования / Д.А. Вишнеvский, Б.А. Сахаров, Н.А. Бондарь // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сб. тез. докл. III междунар. науч.-техн. конф., 17 окт. 2018 г. / под ред. Д.А. Власенко ; ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ". – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ", 2018. – С. 22–25.
99. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения : ГОСТ 12.0.002-2014. – Взамен ГОСТ 12.0.002-80 ; введ. 2016-06-01.]. – М. : Стандартинформ, 2019. – 9 с. – (Межгосударственный стандарт).
100. Бауэр, Э.С. Теоретическая биология. – СПб. : Росток, 2002. – 352 с.
101. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М. : Мир, 1973. – 280 с.
102. Горбачев, В.В. Концепции современного естествознания. – М. : МГУП, 2000. – 274 с.
103. Способ оценки величины воздействия на организм человека различных нагрузок : пат. 2159576 Российская Федерация, МПК А 61 В 5/22 / Доброборский Б.С., Кадыскина Е.Н. ; заявители и патентообладатели Доброборский Б.С., Кадыскина Е.Н. – № 96123991/14 ; заявл. 15.12.96 ; опубл. 27.11.00, Бюл. № 33.
104. ГОРТЕХНАДЗОР ДНР : официальный сайт. – Режим доступа: <http://gkgtn.ru/info/rezultaty-proverok/> (дата обращения: 20.03.2021).
105. Государственная служба горного надзора и промышленной безопасности Луганской Народной Республики : официальный сайт. – Режим доступа: <http://gosnadzorlnr.ru/2015/11//> (дата обращения: 20.03.2021).
106. Климов, А.М. Надежность технологического оборудования / А.М. Климов, К.В. Брянкин. – 2-е изд., стер. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 104 с.
107. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М. : Либроком, 2017. – 582 с.

108. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2007. – 278 с.
109. Нозик, А.А. Расчет надежности, безопасности и риска при проектировании и эксплуатации технических систем / А.А. Нозик, А.С. Можаяев // Информационный бюллетень «Теплоэнергоэффективные технологии». – 2007. – № 3/4 (48/49). – С. 35–43.
110. Завистовский, В.Э. Физика отказов механических систем / В.Э. Завистовский, О.В. Холодилов, П.Н. Богданович. – Мн. : Технопринт, 1999. – 212 с.
111. Проников, А.С. Параметрическая надежность машин. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
112. Завистовский, В.Э. Обзор законов распределения случайных величин при расчетах надежности технических систем // Вестник ПГУ. Серия С, Фундаментальные науки. – 2004. – Т. 1. – С. 12–27.
113. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы : ГОСТ 12.0.003-2015. – [Введ. 2017-03-17.]. – М. : Стандартинформ, 2019. – 23 с. – (Межгосударственный стандарт).
114. Никберг, И.М. Оптимальная долговечность оборудования металлургических предприятий / И.М. Никберг, А.Н. Тищенко. – М. : Металлургия, 1974. – 200 с.
115. Вишневецкий, Д.А. Влияние организационных факторов на надежность металлургического оборудования // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование : сб. науч. тр. 4-й Междунар. молодеж. науч.-практ. конф., (Курск, 15 нояб. 2017 г.) / отв. ред. Е.В. Павлов. – Курск : Университетская книга, 2017. – Т. 1. – С. 146–149.
116. Зарубежный опыт проведения профессионального отбора // Охрана труда. Зарубежный опыт : экспресс-информация / ВНИИ охраны и экономики труда. – М., 2009. – Вып. 3. – С. 3–25.
117. Ростунов, А.Т. Формирование профессиональной пригодности. – Мн. : Вышэйш шк., 1984. – 203 с.

118. Психологическая диагностика: Проблемы и исследования / М.К. Акимова, Е.М. Борисова, К.М. Гуревич и др. ; под. ред. К.М. Гуревича. – М. : Педагогика, 1981. – 232 с.
119. Бушманова, М.В. Кластерный анализ. Проведение классификаций многомерных наблюдений методами кластерного анализа в пакете «Statistica» / М.В. Бушманова, Т.А. Дуброва, Н.А. Мочалкина. – Магнитогорск : МГТУ, 2002. – 103 с.
120. Сулейманов, М.Г. Оценка надежности персонала при профессиональном отборе кадров в металлургии / М.Г. Сулейманов, Л.Ш. Абдуллина // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 3. – С. 73–78.
121. Vishnevsky, D.A. Improving the reliability of metallurgical equipment through the introduction of Realtime Location Systems technologies and Internet of Things / D.A. Vishnevsky, B.A. Sakharov // *Journal of Advanced Research In Technical Science*. – 2018. – Issue 12. – P. 74–77.
122. Альянах, И.Н. Моделирование вычислительных систем. – Л. : Машиностроение, 1988. – 223 с.
123. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем. – М. : Наука, 1978. – 551 с.
124. Вероятностные методы в вычислительной техники / под ред. А.Н. Лебедева, Е.А. Чернявского. – М. : Наука, 1980. – 208 с.
125. Лоу А.М. Имитационное моделирование : пер. с англ. – 3-е изд. / А.М. Лоу, В. Кельтон. – СПб. : Питер, 2004. – 847 с.
126. Features of mathematical modelling of mechanical processes of metallurgical machines / E.P. Levchenko, D.A. Vishnevsky, D.A. Vlasenko, B.B. Moroz, O.I. Pavlinenko // *Modern problems of theory of machines*. – 2016. – № 4 (1). – P. 14–17.
127. Zadeh, L.A. Fuzzy sets // *Information and Control*. – 1965. – Vol. 8. – P. 338–345.
128. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1963. – 832 с.
129. Журавлев, С. С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- <http://simulation.su/uploads/files/default/obzor-2010-guravlev.pdf> (дата обращения: 10.02.2021)
130. Петрянин, Д.Л. Анализ систем защиты информации в базах данных / Д.Л. Петрянин, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Международный симпозиум «Надежность и качество» (Россия, Пенза 27 мая-3 июня 2013 г.) / под ред. Н. Юркова. – Пенза : ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 115–122.
131. Белов А.Г. Методы имитационного моделирования [Электронный ресурс] / А.Г. Белов, С.А. Моисеев, А.В. Григорьев // НиКа. – 2014. – № 1. – С. 35–40. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-imitatsionnogo-modelirovaniya> (дата обращения: 07.02.2021).
132. Улыбин, А.В Мультиагентный подход в имитационном моделировании / А. В. Улыбин, А.А. Арзамасцев // Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки». – Тамбов, 2010. – Т. 15, № 5. – С. 1470–1471.
133. Яковлева, М.С. Имитационное моделирование: подходы, этапы, существующие программные средства // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – Т. 2, № 12. – С. 129–131.
134. Волкова, Т.П. Риски в социально-трудовой сфере: теория и практика / Т.П. Волкова, В.С. Хомякова // Социум и власть. – 2018. – № 4 (72). – С. 79–89.
135. Гребенникова, И.В. Методы математической обработки экспериментальных данных. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 124 с.
136. Килин П.М. Статистические методы обработки данных / П.М. Килин, Н.И. Чекмарева. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. – 128 с.
137. Калинин А.Г. Обработка данных методами математической статистики : монография. – Чита : ЗИП СибУПК, 2015. – 106 с.
138. Худяков, Ю.Г. Управление опасностями производственной среды : монография / Ю.Г. Худяков, Н.И. Николайкин, В.Э. Андрусев. – Москва : Проспект, 2017. – 128 с.

139. Борздова, Т.В. Основы статистического анализа и обработка данных с применением Microsoft Excel. – Мн. : ГИУСТ БГУ, 2011. – 75 с.
140. Кобзар, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М. : ФИЗМАТИЗДАТ, 2006. – 816 с.
141. Вишневский, Д.А. Исследование моделей представления знаний в экспертных системах, используемых в металлургической отрасли / Д.А. Вишневский, Р.Ю. Коробов // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование : сб. науч. тр. 3 Междунар. молодеж. науч.-практ. конф., (Курск, 17-18 нояб. 2016 г.) / отв. ред. Е.В. Павлов. – Курск : Университетская книга, 2018. – Т. 1. – С. 165–168.
142. Вишневский, Д.А. Анализ применения экспертных систем диагностики и ремонта на металлургических предприятиях с полным циклом / Д.А. Вишневский, Р.Ю. Коробов // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : материалы международной науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию кафедры "Машины металлургического комплекса" ДонГТУ. – Алчевск, 2016. – С. 33–34.
143. Вишневский, Д.А. Расчет надежности оборудования и производственного риска причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. 26-27 ноября 2015 года / Рубцов. индустр. ин-т (филиал) ФГБОУ ВПО «Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова». – Рубцовск, 2015. – С. 102–111.
144. Лейфер, Л.А. Методы прогнозирования остаточного ресурса машин и их программное обеспечение. – М. : Знание, 1988. – 60 с.
145. Решетов, Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. – Высшая школа, 1988. – 238 с.
146. Вишневский, Д.А. Надежность человека-оператора в системе "человек-машина" / Д.А. Вишневский, Н.А. Бондарь, А.Л. Сотников // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сборник тезисов докладов V Междунар. науч.-техн. конф., 15 окт.

- 2020 г. / редкол.: С.В. Куберский и др. ; ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ». – Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2020. – С. 38–40.
147. Шинкевич, О.К. Проблемы определения среднего срока службы оборудования // Материалы научной конференции молодых ученых и студентов «Инновации в экономике – 2007». – М. : ИЦ МГТУ «Станкин», 2007. – С. 21–25.
148. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. – М. : Машиностроение, 1987. – Т. 9 : Техническая диагностика. – 351 с.
149. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М : Машиностроение, 1984. – 312 с.
150. Kasyanov, N. Development of simulation methods for labour protection status indicators / N. Kasyanov, O. Gunchenko, D. Vyshnevskyy // ТЕКА Ком. Mot. i Energ. Roln. – Lublin : OL PAN, 2010. – Vol. 10 A. – P. 234–242.
151. Исследование рискориентированного подхода в системе управления охраной труда (СУОТ) машиностроительного предприятия / Н.А. Касьянов, В.А. Медяник, О.Н Гунченко, Д.А. Вишневский // Вісн. Кременч. держ. політехн. університету. – Кременчуг : КДПУ, 2009. – Вип. 4/2009 (57), ч. 2. – С. 75–77.
152. Вишневский, Д.А. Анализ применения экспертных систем для диагностики и ремонта на металлургических предприятиях с полным циклом / Д.А. Вишневский, Р.Ю. Коробов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – Вып. 6 (49). – С. 161–167.
153. Касьянов, М.А. Дослідження стомлюючого навантаження при напруженій фіксованій робочій позі працівників виробництв з обробкою металів тиском / М.А. Касьянов, О.О. Андріанова, Д.О. Вишневський // Вісник СНУ ім. В.Даля. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. – № 11 (141), ч. 2. – С. 116–122.
154. Сопилкин, Г.В. Разработка экспертной системы технической диагностики / Г.В. Сопилкин, Н.А. Ченцов, Е.Г. Ошовская // Сборник трудов 2 съезда Магдебургских машиностроителей. – Магдебург, 1995. – Ч. 2, № 29. – С. 1–2.

155. Система прогнозирования сроков отказа деталей механического оборудования / Н.А. Ченцов, В.Я. Седуш, С.Л. Сулейманов и др. // Труды конференции «Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций», Киев, 6-9 июня 2000 г. / ИПП НАНУ. – К., 2001. – С. 937–942.
156. Вишневский, Д.А. Расчет надежности металлургического оборудования и производственного риска // Сборник тезисов и докладов Юбилейной международной научно-технической конференции «60 лет ДонГТУ. Наука и практика», 11 окт. 2017 г. / ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – С. 104–106.
157. Зализняк, В.Е. Основы научных вычислений. Введение в численные методы для физиков. – М. : Едиториал УРСС, 2002. – 296 с.
158. Справочное пособие по приближенным методам решения задач высшей математики / Л.И. Бородич, А.И. Герасимович, Н.П. Кеда и др. – Мн. : Вышэйш. шк., 1986. – 189 с.
159. Вишневский, Д.А. Анализ применения экспертных систем диагностики и ремонта на металлургических предприятиях / Д.А. Вишневский, Р.Ю. Коробов // Сборник тезисов и докладов Юбилейной международной научно-технической конференции «60 лет ДонГТУ. Наука и практика», 11 октября 2017 г. / ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – С. 118–120.
160. Извеков, Ю.А. Риск-анализ оборудования металлургических производств : монография. – Саарбрюккен : LAP Lambert, 2014. – 56 с.
161. Сидоров, В.А. Практика анализа отказов оборудования / В.А. Сидоров, Е.В. Ошовская // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 4. – С. 100–103.
162. Бобров, В.Т. Роботизированные системы неразрушающего контроля и технической диагностики промышленных объектов / В.Т. Бобров, А.М. Сляднев // Контроль и диагностика. – 2018. – № 2. – С. 16–31.

163. Стратегии и системы обеспечения эксплуатационной надежности оборудования металлургических заводов / Д. Чуклин, С. Охлупин, А. Шаров и др. // Регламент. – 2015. – № 6 (44). – С. 148–150.
164. Принципы построения экспертной системы обслуживания оборудования / Н.А. Ченцов, Г.В. Сопилкин, В.А. Сидоров и др. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар. сб. науч. тр. / ГОУ ВПО «ДонНТУ». – Донецк : ГОУ ВПО «ДонНТУ», 1996. – Вып. 3. – С. 125–135.
165. Коннолли, Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика / Т. Коннолли, К. Бегг. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2003. – 1440 с.
166. Ролланд, Ф. Основные концепции баз данных. – М. : ИД «Вильямс», 2002. – 256 с.
167. Коннолли, Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение / Т. Коннолли, К. Бегг, А. Страчан. – М. : Диалектика, 2000. – 1111 с.
168. Когаловский, М.Р. Энциклопедия технологий баз данных. – М. : Финансы и статистика. – 2002. – 800 с.
169. Райордан, Р.М. Основы реляционных баз данных / Р.М. Райордан. – М. : Русская редакция, 2001. – 384 с.
170. Ульман, Дж. Основы реляционных баз данных / Дж. Ульман, Дж. Уидом. – М. : Лори, 2006. – 382 с.
171. Кириллов, В.В. Введение в реляционные базы данных / В.В. Кириллов, Г.Ю. Громов. – СПб. : БЧВ-Петербург, 2009. – 464 с.
172. Коноплева, И.А. Информационные технологии : учеб. пособие / И.А. Коноплева, О.А. Хохлова, А.В. Денисов ; под ред. И.А. Коноплевой. – М. : Проспект, 2008. – 304 с.
173. Чекмарев, Ю.В. Локальные вычислительные сети. – М. : ДМК Пресс, 2009. – 200 с.
174. Олифер В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н. Олифер. – СПб. : Питер, 2010. – 944 с.

175. Принципы построения интегральной модели прогноза остаточного ресурса объекта / В.Я. Седуш, Н.А. Ченцов, С.А. Колочко, И.В. Кириченко // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1991. – № 9. – С. 23–34.
176. Разработка алгоритма и компьютерной программы для расчета надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли / А.П. Жильцов, Д.А. Вишневский, В.А. Козачишен, А.В. Бочаров // Черные металлы. – 2018. – № 11. – С. 63–69.
177. Федосов, А.В. Анализ опасностей, оценка риска аварий на опасных производственных объектах и рекомендации по выбору методов анализа риска / А.В. Федосов, Г.Р. Маннанова // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. – 2016. – № 2 (8). – С. 58–61.
178. Rossi, G. Object-oriented design structures in Web application models / G. Rossi, D. Schwabe // Annals of Software Engineering. – 2002. – Vol. 13, issue 1-4. – P. 97–110. – DOI: 10.1023/A:1016593309733.
179. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617723 Российская Федерация. Компьютерная программа для расчета надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли / Вишневский Д.А., Жильцов А.П., Козачишен В.А. ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (ЛГТУ) (RU). – № 2018614946 ; заявл. 15.05.2018 ; опубл. 28.06.2018.
180. Вишневский Д.А. Компьютерная программа для расчета надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли // Инновационные перспективы Донбасса : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф., Донецк, 22–25 мая 2018 года. – Донецк : ДонНТУ, 2018. – Том. 3 : Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. – С. 114–119.

181. Mao, C.-Y. A method for measuring the structure complexity of Web application / C.-Y. Mao, Y.-S. Lu // Wuhan University Journal of Natural Sciences. – 2006. – Vol. 11, issue 1. – P. 143–150. – DOI: 10.1007/BF02831720.
182. Vyatkin, V. Software engineering in industrial automation: state-of-the-art review // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2013. – Vol. 9, issue 3. – P. 1234–1249.
183. Ченцов, Н.А. Прогнозирование сроков отказа металлургического оборудования / Н.А. Ченцов, В.Я. Седуш, Н.С. Ченцова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1994. – № 4. – С. 75–77.
184. Ченцов, Н.А. Прогнозирование срока отказа металлургического оборудования // Металлургические процессы и оборудование. – 2007. – № 4. – С. 39–43.
185. Антонов, А.В. Определение оптимального количества запасных элементов систем с учётом ограничений на стоимость / А.В. Антонов, А.В. Пляскин // Надёжность. – 2003. – № 4. – С. 9–16.
186. Комплексний аналіз, оцінка та прогноз травматизму на машинобудівних підприємствах : звіт про НДР (заключ.) : ДН-50-07 / Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля; кер. Касьянов М.А., викон.: Медяник В.О., Гунченко О.М., Вишневський Д.О. та ін. – Луганськ, 2008. – 251 с. – № ДР 0107U000291.
187. Дослідження методологічних аспектів енергозбереження при розрахунку промислових газових систем опалення виробничих приміщень машинобудівних підприємств : звіт з НДР (заключ.) : ДН-40-10 / Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля; кер. Касьянов М.А., викон.: Медяник В.О., Гунченко О.М., Вишневський Д.О. та ін. – Луганськ, 2011. – 229 с. – № ДР 0110U002104.
188. Дослідження виробничого ризику у ковальсько-пресових цехах : монографія / М.А. Касьянов, Д.О. Вишневський, І.В. Савченко, О.М. Гунченко. – Луганськ : Ноулідж, 2014. – 224 с.
189. Вишневский, Д.А. Экспериментальные исследования распределения количества несчастных случаев в кузнечно-прессовом производстве / Д.А. Вишневский, Э.П. Левченко // Университетская наука–2015 : материалы

- научной конференции преподавателей и научных сотрудников, (г. Луганск, 9 апр. 2015 г.). – С. 37–38.
190. Вишнеvский Д.А. Анализ оснащённости кузнечно-прессового оборудования средствами защиты рабочей зоны / Д.А. Вишнеvский, О.А. Левченко // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сб. тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию кафедры "Машины металлургического комплекса", 13-14 окт. 2016 г. / ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ". – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ", 2016. – С. 56–57.
191. Вишнеvский, Д.А. Экспериментальные исследования распределения количества несчастных случаев (НС) в кузнечно-прессовом производстве (КПП) // Прогрессивные технологии и процессы : сб. науч. ст. 5-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (27-28 сент. 2018 г.) / Юго-Запад. гос. ун-т. – Курск : Университетская книга, 2018. – С. 53–58.
192. Гунченко, О.М. Визначення обмежень при виконанні теоретичних досліджень з оцінки виробничого ризику / О.М. Гунченко, Д.О. Вишнеvський, Ю.С. Бикова // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту. – 2013. – № 25, ч. 2. – С. 185–192.
193. Пузырь, В.Г. Контроль «надежности» локомотивных бригад / В.Г. Пузырь, В.Г. Брусенцов, А.В. Гончаров // Локомотив–информ. – 2006. – № 2. – С. 38–40.
194. Касьянов, М.А. Дослідження наслідків впливу на людину-оператора фізичної роботи і психічного навантаження / М.А. Касьянов, О.О. Андріанова, О.О. Рибальченко, О.М. Климова, Д.О. Вишнеvський // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр. / СНУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2009. – С. 317–324.
195. Вишнеvский, Д.А. Исследование распределения основных причин травматизма в кузнечно-прессовом производстве // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сб. тез. докл. III междунар. науч.-техн. конф., 17 окт. 2018 г. / под ред.

- Д.А. Власенко ; ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ". – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ", 2018. – С. 64–65.
196. Гунченко, О.М. Вплив на стан охорони праці у ковальсько-пресовому виробництві оснащеності засобами автоматизації і захисту робочої зони / О.М. Гунченко, Д.О. Вишневський, Ю.Г. Проніна // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 71, т. 2. – С. 57–63.
197. Оцінка форм м'язової роботи за енергетичною продуктивністю організму у трудовому процесі / М.А. Касьянов, В.О. Медяник, О.О. Андріанова, Д.О. Вишневський, О.О. Рибальченко, І.В. Савченко // Коммунальное хозяйство городов : респ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев ; Харьков : Основа, 2010. – Вып. 91. – С. 382–387.
198. Вишневский, Д.А. Исследования распределения несчастных случаев в кузнечно-пресовом производстве по месту происшествия и по времени от начала работы // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – Вып. 12 (55). – С. 84–90.
199. Вишневский, Д.А. Исследование распределения несчастных случаев в кузнечно-пресовом производстве по видам полученных травм // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. – Вып. 13 (56). – С. 111–116.
200. Влияние человеческого фактора на безопасность технических систем / Н.А. Махутов, Р.С. Ахметханов, Е.Ф. Дубинин и др. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 3. – С. 80–98.
201. Основные принципы учета человеческого фактора в руководстве по техническому обслуживанию воздушных судов / Международная организация гражданской авиации (ИКАО). – Монреаль, 2003. – 229 с.
202. Человеческий фактор : пер. с англ. / под. ред. Г. Салвенди. – М. : Мир, 1991. – Том 1 : Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина. – 599 с.

203. Хенли, Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото ; под ред. В.С. Сыромятникова ; пер. с англ. В.С. Сыромятников, Г.С. Деминой. – М. : Машиностроение, 1984. – 528 с.
204. Колмогоров, А.Н. Элементы теорий функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.М. Фомин. – 7-е изд. – М. : Физматлит, 2004. – 572 с.
205. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – 9-е изд. – М. : Высшая школа, 2003. – 479 с.
206. Гнеденко, Б.В. Курс теории вероятностей. – Изд. 6-е. – М. : Наука, 1988. – 448 с.
207. Розенвассер, Е.Н. Чувствительность систем автоматического управления / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов. – М. : Наука, 1981. – 464 с.
208. Parameter Sensitivity in Nonlinear Mechanics. Theory and Finite Element Computations / M. Kleiber, H. Antunez, T.D. Hien, P. Kowalczyk. – Chichester ; New York ; Weinheim ; Brisbane ; Singapore ; Toronto : John Wiley & Sons, 1997. – 212 p.
209. Banks, H.T. Sensitivity of dynamical systems to Banach space parameters / H.T. Banks, H.K. Nguyen // Journal of Mathematical Analysis and Applications. – 2006. – Vol. 323, issue 1. – P. 146–161.
210. Фетисов, В.Н. Анализ чувствительности марковских моделей и его использование для оценки влияния ошибок идентификации на критерий качества управления // Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'03, (Москва, 29-31 янв. 2003 г.) / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М. : ИПУ РАН, 2003. – С. 1302–1319.
211. Vishnevsky, D.A. Mathematical modeling for human factor influence on the equipment reliability in the machine building shops of metallurgical enterprises / D.A. Vishnevsky, A.L. Sotnikov // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2021. – Issue 24. – P. 41–41.

212. Виноградова, О.В. К физиолого-гигиенической характеристике ночного труда при погрузочно-разгрузочных работах / О.В. Виноградова, Г.А. Сорокин, Н.Н. Хавкина // Гигиена труда и профзаболевания. – 1975. – № 2. – С. 5–8.
213. Интегральная оценка работоспособности при умственном и физическом труде : метод. рекомендации / сост.: О.А. Лихачева и др. ; Науч.-исслед. ин-т труда. – М. : Экономика, 1990. – 107 с.
214. Исследование информативности показателей при оценке и нормировании интенсивности тренировочных нагрузок. – М., 1992. – 80 с.
215. Матюхин, В.В. Научные направления и задачи физиологии труда на современном этапе // Медицина труда и промышленная экология. – 1998. – № 7. – С. 8–14.
216. Межотраслевые методические рекомендации по определению критериев интенсивности труда рабочих / НИИ труда Госкомтруда СССР. – М. : Экономика, 1989. – 94 с.
217. Вольтерра, В. Математическая теория борьбы за существование. – М. : Ин-т компьютерных исследований, 2004. – 288 с.
218. Повышения безотказности металлургического оборудования методами контроля психофизиологических параметров работника в режиме реального времени / Д.А. Вишневский, А.П. Жильцов, А.Л. Сотников, Н.А. Бондарь // Современная металлургия нового тысячелетия, посвящается 10-летию Металлургического института ЛГТУ : сб. науч. тр. III Всерос. (с международным участием) науч.-практ. конф., 21-23 октября 2020 г., Липецк. – Липецк : ЛГТУ, 2020. С. 45–51.
219. Вишневский, Д.А. Испытание носимого устройства для определения психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли / Д.А. Вишневский, Н.А. Бондарь, А.Л. Сотников // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. – Вып. 20 (63). – С. 80–84.
220. Куприяшкин, А.Г. Основы моделирования систем / Норильский индустр. ин-т. – Норильск : НИИ, 2015. – 135 с.

221. Боев, В.Д. Моделирование в среде AnyLogic. – М. : Юрайт, 2017. – 298 с.
222. Vishnevsky, D.A. Reliability calculation for metallurgical equipment considering the probability of operator's error // Journal of Advanced Research in Natural Science. – 2019. – Issue 12. – P. 21–26.
223. Каталевский, Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении : учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ИД «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.
224. Мосеев, В. Носимая электроника: обзор российского рынка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iot.ru/gadzhety/nosimaya-elektronika-obzor-rossiyskogo-rynka>
225. Вишневский, Д.А. Внедрение на производство решений из сферы интернета вещей, как один из способов увеличить эффективность производства / Д.А. Вишневский, Б.А. Сахаров // Сборник тезисов докладов IV междунар. науч.-техн. конф. "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства", 17 окт. 2019 г. / ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ". – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ", 2019. – С. 14–16.
226. Kranenburg, R. [The Internet of Things: A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID](#). – Pijnacker: Telstar Media, 2008. – 62 p.
227. Bhayani, M. Internet of Things (IoT): In a Way of Smart World / M. Bhayani, M. Patel, Ch. Bhatt // Proceedings of the International Congress on Information and Communication Technology / editors : S.C. Satapathy, Y.C. Bhatt, A. Joshi, D.K. Mishra. – Singapore : Springer, 2015. – Vol. 1. – P. 343–350.
228. Shah, T. The internet of things: Technologies, communications and computing / T. Shah, C. Bhatt // CSI Communications. – 2014. – Vol. 38, issue 1. – P. 7–10.
229. Вишневский, Д.А. Направление совершенствования надежности оборудования с учетом "человеческого фактора" / Д.А. Вишневский, Н.А. Бондарь // Сборник тезисов докладов IV междунар. науч.-техн. конф. "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства", 17 окт. 2019 г. / ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ". – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР "ДонГТУ", 2019. – С. 18–20.

230. Sandre, R. Thread and ZigBee for home and building automation Systems Engineer [Электронный ресурс] / Texas Instruments. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/wp/sway012/sway012.pdf?ts=1623559075555> (дата обращения: 13.06.2021).
231. Семенов Ю.А. Беспроводные сети ZigBee и IEEE 802.15.4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://book.itep.ru/4/41/zigbee.htm> (дата обращения: 20.03.2021).
232. Gislason, D. ZigBee Wireless Networking. – Amsterdam ; Boston ; Heidelberg ; London ; New York : Newnes, 2008. – 16 p.
233. The ZigBee Alliance and Thread Group Address IoT Industry Fragmentation with the Availability of the Dotdot Specification over Thread’s IP Network [Электронный ресурс] / Business Wire. – Режим доступа: <https://www.businesswire.com/news/home/20171212005359/en/The-Zigbee-Alliance-and-Thread-Group-Address-IoT-Industry-Fragmentation-with-the-Availability-of-the-Dotdot-Specification-over-Thread%E2%80%99s-IP-Network> (дата обращения: 20.03.2021).
234. Fernandez, F. Opportunities and challenges of the Internet of Things for healthcare systems engineering perspective [Электронный ресурс] / F. Fernandez, G. Pallis // 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), Athens, 3-5 November 2014. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7015961?denied=> (дата обращения: 13.06.2021).
235. Hersent, O. The Internet of Things: Key Applications and Protocols [Электронный ресурс] / O. Hersent, D. Boswarthick, O. Elloumi // Wiley. – Режим доступа: <https://www.wiley.com/en-us/The+Internet+of+Things%3A+Key+Applications+and+Protocols%2C+2nd+Edition-p-9781119994350> (дата публикации: 06.02.2012).
236. Лагутенков, А. Тихая экспансия интернета вещей // Наука и жизнь. – 2018. – № 5. – С. 38–42.

237. Исследование рынка IoT и M2M в России и Мире. 25 апреля 2017 г. [Электронный ресурс] / Директ ИНФО. – Режим доступа: http://www.directinfo.net/index.php?option=com_content&view=article&id=162%3A2010-07-06-13-57-09&catid=1%3A2008-11-27-09-05-45&Itemid=89&lang=ru (дата обращения 13.06.2021). Отчет Директ. ИНФО. Исследование рынка IoT и M2M в России и Мире. [Текст] / Директ ИНФО, май 2017.
238. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2017 году [Электронный ресурс] // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. РОСТЕХНАДЗОР : [сайт] – Режим доступа: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения 13.06.2021).
239. Вишневский, Д.А. Влияние человеческого фактора на надежность металлургического и машиностроительного оборудования // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. – Вып. 15 (58). – С. 87–93.
240. Вишневский, Д.А. Повышение надежности металлургического оборудования путем контроля за вегетативной нервной системой обслуживающего персонала в реальном времени [Текст] / Д. А. Вишневский Б.А. Сахаров // Механика и машиностроение. Наука и практика: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. - №1. - С. 86-90
241. Кундиев, Ю.И. Роль стресса в формировании здоровья населения / Ю.И. Кундиев, В.В. Кальниш, А.М. Нагорная // Журнал АМН Украины. – 2009. – Т. 8, № 2. – С. 335–345.
242. Суходоев, В.В. Методическое обеспечение измерений анализа и применения параметров кожно-гальванических реакций человека // Проблемность в профессиональной деятельности: теория и методы психологического анализа / отв. ред.: Л.Г. Дикая. – М. : ИП РАН, 1999. – С. 303–353.

243. Суходоев, В.В. Методика измерений и анализа параметров КГР по нелинейным шкалам для оценки эмоциональных реакций // Диагностика и регуляция эмоциональных состояний / под ред. А.Я. Чебыкина ; АН СССР, О-во психологов СССР, Ин-т психологии СССР. – М., 1990. – Ч. 1. – С. 79–84.
244. Дикая, Л.Г. Исследование структуры активационного компонента деятельности оператора / Л.Г. Дикая, В.В. Суходоев // Техника, экономика, информация. Серия «Эргономика». – 1983. – Вып. 1(15). – С. 33–43.
245. Букзайн, В. Использование электрической активности кожи в качестве индикатора эмоций // Иностранная психология. – 1994. – Т. 2, № 2 (4). – С. 57–66.
246. Дикая, Л.Г. Влияние эмоционального содержания информации на функциональное состояние и интеллектуальную деятельность оператора / Л.Г. Дикая, Е.А. Черенкова // Функциональное состояние человека и методы его исследования : сб. науч. тр / под ред. М.В. Фролова ; РАН. – М. : Наука, 1992. – С. 100–105.
247. Институт психологии РАН : [сайт]. – Режим доступа: http://www.ipras.ru/cntnt/rus/dop_dokume/minisajty /suhodoev.html. (дата обращения: 20.03.2021).
248. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 Российская Федерация. Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами / Вишневский Д.А., Жильцов А.П., Козачишен В.А., Сахаров Б.А. ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (RU). – № 2019615644 ; заявл.20.05.2019 ; опубл. 30.05.2019.
249. Вишневский, Д.А. Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами / Д.А. Вишневский, Б.А. Сахаров, Н.А. Бондарь // Инновационные перспективы Донбасса : материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Донецк, 21-23 мая 2019 г. – Донецк : ДонНТУ, 2019. – Т. 3 : Инновационные технологии

- проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. - С. 143–146.
250. Повышение безопасности труда рабочих металлургических предприятий методами контроля психофизиологических параметров работника в режиме реального времени / Д.А. Вишнеvский, А.П. Жильцов, А.В. Бочаров, А.Л. Сотников // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 5.
251. Аболин, Л.М. Психологические механизмы эмоциональной устойчивости человека. – Казань : КГУ, 1987. – 262 с.
252. Бодров, В.А. О психологических механизмах регуляции процесса преодоления стресса // Психология субъекта профессиональной деятельности : сб. науч. тр. / под ред. В.А. Барабанщикова, А.В. Карпова. – М. ; Ярославль : Аверс-Пресс, 2002. – Вып. 2. – С. 98–117.
253. Дикая, Л.Г. Метод определения индивидуального стиля саморегуляции психического состояния человека / Л.Г. Дикая, В.И. Щедров // Проблемность в профессиональной деятельности: теория и методы психологического анализа. / отв. ред.: Л.Г. Дикая. – М. : Изд-во Ин-та психологии АН СССР, 1999. – С. 106–132.
254. Завалова, Н.Д. Психическое состояние человека в особых условиях деятельности / Н.Д. Завалова, В.А. Пономаренко // Психологический журнал. – 1983. – № 6. – С. 92–105.
255. Занковский, А.Н. Психическая напряженность как свойство личности // Психическая напряженность в трудовой деятельности / под ред. Л.Г. Дикой. – М. : Изд-во Ин-та психологии АН СССР, 1989. – С. 225–237.
256. Vishnevsky, D.A. Assessment of the psychophysiological state of the metallurgical operator during the working process in real time / D.A. Vishnevsky, A.L. Sotnikov // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2020. – Issue 21. – P. 49–53.
257. Мамедов, М.Н. Международные клинические исследования в кардиологии (2010–2018 годы) / М.Н. Мамедов, С.Г. Канорский. – М. : Кардиопрогресс, 2019. – 122 с.

258. Бачериков, А.Н. Современные представления о системе терморегуляции / А.Н. Бачериков, В.Н. Кузьминов, Т.В. Ткаченко // Вестник психиатрии и психофармакотерапии. – 2006. – № 1. – С. 178–182.
259. Гаджиев, Х.М. Термоэлектрическое устройство для точного измерения температуры / Х.М. Гаджиев, А.Б. Гусейнов // Приборостроение. – 2000. – № 5. – С. 36–39.
260. Долгова, И.А. Об одном алгоритме измерения температуры / И.А. Долгова, Э.К. Шахов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – № 8. – С. 20–24.
261. Khawar, M. Digital thermal monitoring of vascular functions novel tool to improve cardiovascular risk assessment / M. Khawar, A. Naser, W. Zhiying // Vascular Medicine. – 2009. – № 14. – P. 143–148.
262. Сотников А.Л. Контроль температуры работников как фактор промышленной безопасности предприятий и организаций / А.Л. Сотников, Д.А. Вишневецкий, Б.А. Сахаров // Сборник научных трудов 2-й Междунар. науч.-техн. конф. «Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике» (30 апр. 2020 г.) / редкол.: Горохов А.А. (отв. ред.) ; Юго-Запад. гос. ун-т. – Курск : Юго-Запад. гос. ун-т, 2020. – С. 181–185.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617723 «Компьютерная программа для расчетов надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018617723

**«Компьютерная программа для расчета надежности
оборудования и производственного риска в
металлургической отрасли»**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Липецкий
государственный технический университет» (ЛГТУ) (RU)**

Авторы: **Вишневский Дмитрий Александрович (UA), Жильцов
Александр Павлович (RU), Козачишен Виталий Анатольевич
(UA)**

Заявка № 2018614946

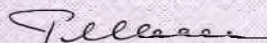
Дата поступления 15 мая 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 28 июня 2018 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

Продолжение приложения Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
14	Тов. народного потребл. №1	141	1	0	7,1	0,0	265,0	2,0	51,0	7,5	25,5	203,0	3,0	51,0	14,8	17,0
15	Газовый	189	0	0	0,0		144,0	1,0	7,0	6,9	7,0	166,0	1,0	7,0	6,0	7,0
16	ЦРЖИС	260	1	21	3,8	21,0	189,0	0,0	0,0	0,0		224,0	1,0	21,0	4,5	21,0
17	Тепловозо- сборочный №1	1384	2	114	1,4	57,0	254,0	1,0	6,0	3,9	6,0	819,0	3,0	120,0	3,7	40,0
18	Тепловозо- сборочный №2	940	7	53	7,4	7,6	1401,0	7,0	103,0	5,0	14,7	1170,0	14,0	156,0	12,0	11,1
19	Контрольно- сдаточный №1	679	1	19	1,5	19,0	932,0	6,0	177,0	6,4	29,5	805,0	7,0	196,0	8,7	28,0
20	Контрольно- сдаточный №2	588	0	0												
21	ЖКО	478	0	0	0,0		580,0	2,0	35,0	3,4	17,5	529,0	2,0	35,0	3,8	17,5
22	ТЭЦ	378	0	0	0,0		485	0	0	0,0		431,0	0,0	0,0	0,0	
23	Малярный	395	1	6	2,5	6,0	392	0	0	0,0		393,0	1,0	6,0	2,5	6,0
24	Редукторный	706	6	73	8,5	12,2	384	2	16	5,2	8,0	545,0	8,0	89,0	14,7	11,1
25	Механосбороч- ный №1	0	0	0			733	4	29	5,5	7,3	366,0	4,0	29,0	10,9	7,3
26	Механосбороч- ный №2	284	2	18	7,0	9,0	0	0	0			142,0	2,0	18,0	14,1	9,0
27	Механосбороч- ный №3	923	3	55	3,3	18,3	281	1	7	3,6	7,0	602,0	4,0	62,0	6,6	15,5
28	Механосбороч- ный №4	943	9	210	9,5	23,3	912	9	117	9,9	13,0	927,0	18,0	327,0	19,4	18,2
29	Механосбороч- ный №5	339	5	114	14,7	22,8	914	2	38	2,2	19,0	626,0	7,0	152,0	11,2	21,7
30	Механосбороч- ный №6	1408	11	163	7,8	14,8	1376	10	122	7,3	12,2	1392,0	21,0	285,0	15,1	13,6

Продолжение приложения Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
31	Механосборочный №7		6	81		13,5		6	59		9,8		12,0	140,0		11,7
32	Инструментальный	651	0	0	0,0		655	3	33	4,6	11,0	653,0	3,0	33,0	4,6	11,0
33	Оснастки	341	1	59			340	2	33							
34	Ремонта оборудования №1	494	3	39	6,1	13,0	513	2	0	3,9	0,0	503,0	5,0	39,0	9,9	7,8
35	Метизный	424	5	52			425	3	63							
36	Комплектации	455	2	48			426	2	8							
37	Ремонтно-механический	370	0	0	0,0		376	2	18	5,3	9,0	373,0	2,0	18,0	5,4	9,0
38	Экспериментальный	330	1	0	3,0	0,0	327	0	18	0,0		328,0	1,0	18,0	3,0	18,0
39	Железнодорожный	657	1	49	1,5	49,0	664	4	104	6,0	26,0	660,0	5,0	153,0	7,6	30,6
40	Автотранспортный	435	1	105	2,3	105,0	465	0	0	0,0		450,0	1,0	105,0	2,2	105,0
41	Благоустройства	249	0	0	0,0		246	0	0	0,0		247,0	0,0	0,0	0,0	
42	Энергоремонтный	226	1	5	4,4	5,0	217	0	0	0,0		221,0	1,0	5,0	4,5	5,0
43	Шефмонтажный	386	2	30	5,2	15,0	371	0	0	0,0		378,0	2,0	30,0	5,3	15,0
44	Типография	64	0	0	0,0		67	0	0	0,0		65,0	0,0	0,0	0,0	
45	Механизации	423	3	281	7,1	93,7	400	1	42	2,5	42,0	411,0	4,0	323,0	9,7	80,8
46	Реостатных испытаний	577	3	28	5,2	9,3	585	1	8	1,7	8,0	581,0	4,0	36,0	6,9	9,0
47	Заводоуправление	3065	6	78	2,0	13,0	3236	4	71	1,2	17,8	3150,0	10,0	149,0	3,2	14,9
48	ПКТИ	2769	6	55	2,2	9,2	2724	2	36	0,7	18,0	2746,0	8,0	91,0	2,9	11,4

Продолжение приложения Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
49	Заготови- тельно- прессовый	317	2	32	6,3	16,0	556	7	39	12,6	5,6	436,0	9,0	71,0	20,6	7,9
50	ВОХР	143	1	18	7,0	18,0	178	0	0	0,0		160,0	1,0	18,0	6,3	18,0
51	СМУ	520	16	58,8	30,8	3,7	665	6	88	9,0	14,7	592,0	22,0	146,8	37,2	6,7
52	Подсобное хозяйство	48	1	0	20,8	0,0	51	0	0	0,0		49,0	1,0	0,0	20,4	0,0
53	Комбинат питания	464	1	0	2,2	0,0	496	0	0	0,0		480,0	1,0	0,0	2,1	0,0
Всего:		33878,0	185,0	3280,8	5,5	17,7	33237,0	199,0	2508,0	6,0	12,6	31908,0	365,0	5448,8	11,4	14,9

Приложение Б.2 Анализ показателей производственного травматизма на ПАО ХК «Лугансктепловоз» за 1985 год

№п/п	Название подразделения, цеха	I полугодие 1985 года					II полугодие 1985 года					Суммарные данные за 1985 год				
		Р	С	Д	Кч	Кт	Р	С	Д	Кч	Кт	Р	С	Д	Кч	Кт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Ст. цех	2208	15	324	6,8	21,6	2222	22	282	9,9	12,8	2215	37	606	16,7	16,4
2	КПЦ	765	9	148	11,8	16,4	782	13	246	16,6	18,9	773	22	394	28,5	17,9
3	Прокатный	554	15	139	27,1	9,3	550	13	171	23,6	13,2	552	28	310	50,7	11,1
4	Ч-лит.	475	3	57	6,3	19,0	487	11	109	22,6	9,9	481	14	166	29,1	11,9
5	Литейно Терм.	297	4	50	13,5	12,5	299	1	53	3,3	53,0	298	5	103	16,8	20,6
6	Модельный	144	1	3	6,9	3,0	156	1	11	6,4	11,0	150	2	14	13,3	7,0
7	Копровой.	216	1	19	4,6	19,0	220	1	13	4,5	13,0	218	2	32	9,2	16,0
8	Рамный	1250	15	160	12,0	10,7	1294	10	199	7,7	19,9	1272	25	359	19,7	14,4
9	Кузовной	952	10	129	10,5	12,9	960	14	212	14,6	15,1	956	24	341	25,1	14,2
10	ХШ-1	1017	8	166	7,9	20,8	1030	10	171	9,7	17,1	1023	18	337	17,6	18,7
11	Сб. свар 1	611	7	44	11,5	6,3	617	7	109	11,3	15,6	614	14	153	22,8	10,9
12	Сб. свар.2	230	1	34	4,3	34,0	236	1	3	4,2	3,0	233	2	37	8,6	18,5
13	Р-стр.	229	1	64	4,4	64,0	174	1	7	5,7	7,0	201	2	71	10,0	35,5
14	ЦТНП-1	553	6	34	10,8	5,7	698	7	202	10,0	28,9	625	13	236	20,8	18,2

Продолжение приложения Б2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15	Т.-сб.1	1390	12	220	8,6	18,3	1419	6	32	4,2	5,3	1404	18	252	12,8	14,0
16	Т.-сб.2	1157	1	37	0,9	37,0	1153	7	60	6,1	8,6	1155	8	97	6,9	12,1
17	КСД-1	551	4	42	7,3	10,5	559	4	28	7,2	7,0	555	8	70	14,4	8,8
19	ЖКО	524	1	0	1,9	0,0	516	1	26	1,9	26,0	520	2	26	3,8	13,0
20	ТЭЦ	426	2	20	4,7	10,0	419	1	24	2,4	24,0	422	3	44	7,1	14,7
21	Малярный	350	3	177	8,6	59,0	353	1	0	2,8	0,0	351	4	177	11,4	44,3
22	Редукторов	649	9	55	13,9	6,1	656	13	135	19,8	10,4	652	22	190	33,7	8,6
23	МС-2	240	6	80	25,0	13,3	244	4	33	16,4	8,3	242	10	113	41,3	11,3
24	МС-3	725	8	154	11,0	19,3	725	10	70	13,8	7,0	725	18	224	24,8	12,4
25	ЦОМ	803	5	68	6,2	13,6	802	5	61	6,2	12,2	802	10	129	12,5	12,9
26	МЦ-5	294	3	22	10,2	7,3	217	2	44	9,2	22,0	255	5	66	19,6	13,2
27	МЦ-6	696	14	98	20,1	7,0	703	17	223	24,2	13,1	699	31	321	44,3	10,4
28	МЦ-7	501	10	144	20,0	14,4	506	0	2	0,0		503	10	146	19,9	14,6
29	Инструментал.	546	6	60	11,0	10,0	555	2	3	3,6	1,5	550	8	63	14,5	7,9
30	Штампов	287	1	25	3,5	25,0	301	4	36	13,3	9,0	294	5	61	17,0	12,2
31	УРО-1	335	1	13	3,0	13,0	327	4	21	12,2	5,3	331	5	34	15,1	6,8
32	Метизный	375	1	30	2,7	30,0	384	6	0	15,6	0,0	379	7	30	18,5	4,3
33	Комплект.	386	1	0	2,6	0,0	386	6	50	15,5	8,3	386	7	50	18,1	7,1
34	Р-мех.	315	0	0	0,0	–	317	2	4	6,3	2,0	316	2	4	6,3	2,0
35	Экспериментальн.	256	0	12	0,0	–	259	4	24	15,4	6,0	257	4	36	15,6	9,0
36	ЖДЦ	634	3	210	4,7	70,0	625	6	57	9,6	9,5	629	9	267	14,3	29,7
37	Автоцех	501	6	53	12,0	8,8	524	4	6	7,6	1,5	512	10	59	19,5	5,9
38	Благоустр.	252	0	0	0,0	–	256	0	0	0,0		254	0	0	0,0	
39	Эн. рем.	236	0	0	0,0	–	231	3	6	13,0	2,0	233	3	6	12,9	2,0
40	Шефмонтаж.	331	0	0	0,0	–	343	2	2	5,8	1,0	337	2	2	5,9	1,0
41	Типография	54	0	0	0,0		54	0	0	0,0		54	0	0	0,0	

Продолжение приложения Б2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
42	Механиз	393	5	45	12,7	9,0	393	2	18	5,1	9,0	393	7	63	17,8	9,0
43	Реостатный	514	3	65	5,8	21,7	513	5	27	9,7	5,4	513	8	92	15,6	11,5
44	ЗПК	880	12	194	13,6	16,2	900	4	162	4,4	40,5	890	16	356	18,0	22,3
45	Трест	699	6	84	8,6	14,0	697	5	146	7,2	29,2	698	11	230	15,8	20,9
46	ЦНО	155	0	25	0,0		145	3	45	20,7	15,0	150	3	70	20,0	23,3
47	ЦНИ	261	0	144	0,0		255	1	0	3,9	0,0	258	1	144	3,9	144,0
48	Комбинат пит.	459	3	30	6,5	10,0	439	3	9	6,8	3,0	449	6	39	13,4	6,5
49	Подс. хоз-во	72	1	50	13,9	50,0	69	1	0	14,5	0,0	70	2	50	28,6	25,0
50	ВОХР	168	0	0	0,0		175	1	3	5,7	3,0	171	1	3	5,8	3,0
51	Заводоупр.	2746	6	89	2,2	14,8	2527	12	199	4,7	16,6	2636	18	288	6,8	16,0
52	ПХТИ	2380	6	105	2,5	17,5	2380	8	108	3,4	13,5	2380	14	213	5,9	15,2
53	Пр-ва объед	768	0	0	0,0		761	0	0	0,0		764	0	0	0,0	
54	Газовый	195	0	0	0,0		181	1	0	5,5	0,0	188	1	0	5,3	0,0
55	ЦРЖИС	258	0	0	0,0		262	0	0	0,0		260	0	0	0,0	
	<i>Всего:</i>	32263	235	3722	7,3	15,8	32256	272	3452	8,4	12,7	32248	507	7174	15,7	14,1

Приложение Б.3 Анализ показателей производственного травматизма на ПАО ХК «Лугансктепловоз» за 1990 год

№ п/п	Название под- разделения, це- ха	I полугодие 1990 года					II полугодие 1990 года					Суммарные данные за 1990 год				
		Р	С	Д	Кч	Кт	Р	С	Д	Кч	Кт	Р	С	Д	Кч	Кт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Ст. цех	1686	31	230	18,4	7,4	1528	27	230	17,7	8,5	1607	58	425	36,1	7,3
2	Ч-лит.	458	11	89	24,0	8,1	416	1	89	2,4	89,0	437	12	89	27,5	7,4
3	ЦТСЛ	242	2	51	8,3	25,5	216	3	51	13,9	17,0	229	5	73	21,8	14,6
4	Прокатный	285	6	50	21,1	8,3	237	10	50	42,2	5,0	261	16	65	61,3	4,1
5	Копровый.	186	2	3	10,8	1,5	176	0	3	0,0		181	2	3	11,0	1,5
6	Модельный	141	1	0	7,1	0,0	135	2	0	14,8	0,0	138	3	24	21,7	8,0
7	Рамный	1218	14	257	11,5	18,4	1026	9	257	8,8	28,6	1122	23	308	20,5	13,4
8	Кузовной	819	18	248	22,0	13,8	723	14	248	19,4	17,7	771	32	320	41,5	10,0
9	ЗПК	772	18	170	23,3	9,4	694	9	170	13,0	18,9	733	27	219	36,8	8,1
10	ХШ-1	950	9	124	9,5	13,8	842	7	124	8,3	17,7	896	16	196	17,9	12,3
11	Сб. свар 1	505	5	43	9,9	8,6	447	6	43	13,4	7,2	476	11	43	23,1	3,9
12	Сб. свар.2	212	6	59	28,3	9,8	184	7	59	38,0	8,4	198	13	122	65,7	9,4
13	Т.-сб.1	1238	9	62	7,3	6,9	1088	8	62	7,4	7,8	1163	17	95	14,6	5,6
14	Т.-сб.2	1025	3	74	2,9	24,7	893	4	74	4,5	18,5	959	7	82	7,3	11,7
15	КСД-1	504	2	12	4,0	6,0	444	6	12	13,5	2,0	474	8	69	16,9	8,6
16	Реостатный	449	0	0	0,0		375	1	0	2,7	0,0	412	1	0	2,4	0,0
17	Малярный	282	2	15	7,1	7,5	248	2	15	8,1	7,5	265	4	31	15,1	7,8
19	Шефмонтаж.	279	2	6	7,2	3,0	217	1	6	4,6	6,0	248	3	6	12,1	2,0
20	Комбинат пит.	380	0	0	0,0		400	1	0	2,5	0,0	390	1	0	2,6	0,0
21	Редукторов	573	7	29	12,2	4,1	501	13	29	25,9	2,2	537	20	29	37,2	1,5

Продолжение приложения Б3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
22	МС-3	635	4	12	6,3	3,0	575	15	12	26,1	0,8	605	19	31	31,4	1,6
23	Т-мех	1268	13	100	10,3	7,7	1090	7	100	6,4	14,3	1179	20	110	17,0	5,5
24	Метизный	352	6	46	17,0	7,7	318	4	46	12,6	11,5	335	10	46	29,9	4,6
25	Гальв. Терм	164	2	23	12,2	11,5	134	1	23	7,5	23,0	149	3	23	20,1	7,7
26	ЦСИ		0	0			0	0	0			0	0	0		
27	ЦРЖИС	228	3	21	13,2	7,0	222	3	21	13,5	7,0	225	6	28	26,7	4,7
28	МС-2	448	5	63	11,2	12,6	376	1	63	2,7	63,0	412	6	96	14,6	16,0
29	КПЦ	643	8	140	12,4	17,5	513	10	140	19,5	14,0	578	18	318	31,1	17,7
30	ЦТНП-1	172	0	0	0,0		108	4	0	37,0	0,0	140	4	51	28,6	12,8
31	ЦТНП-2	354	3	50	8,5	16,7	786	8	50	10,2	6,3	570	11	66	19,3	6,0
32	ЦТНП-3	273	6	31	22,0	5,2	273	8	31	29,3	3,9	273	14	35	51,3	2,5
33	ЦНИ	227	1	3	4,4	3,0	209	2	3	9,6	1,5	218	3	13	13,8	4,3
34	Р-мех.	265	4	14	15,1	3,5	229	4	14	17,5	3,5	247	8	14	32,4	1,8
35	Рем ст	141	0	0	0,0		145	0	0	0,0		143	0	0	0,0	
36	Эн. рем.	195	0	0	0,0		197	0	0	0,0		196	0	0	0,0	
37	ТЭЦ	206	2	72	9,7	36,0	202	0	72	0,0		204	2	72	9,8	36,0
38	Газовый	151	0	0	0,0		149	2	0	13,4	0,0	150	2	18	13,3	9,0
39	ЦИК	217	1	26	4,6	26,0	205	1	26	4,9	26,0	211	2	32	9,5	16,0
40	Инструментал.	476	3	21	6,3	7,0	440	3	21	6,8	7,0	458	6	21	13,1	3,5
41	Спецобр(ЦСО)	286	0	0	0,0		292	4	0	13,7	0,0	289	4	30	13,8	7,5
42	Штампов(ШИП)	247	0	0	0,0		233	2	0	8,6	0,0	240	2	7	8,3	3,5
43	ЦМПП	132	3	15	22,7	5,0	126	2	15	15,9	7,5	129	5	22	38,8	4,4
44	Экспериентальн.	237	1	0	4,2	0,0	237	1	0	4,2	0,0	237	2	0	8,4	0,0
45	Автоцех	533	4	12	7,5	3,0	513	2	12	3,9	6,0	523	6	100	11,5	16,7
46	ЖДЦ	564	5	56	8,9	11,2	536	1	56	1,9	56,0	550	6	64	10,9	10,7

Продолжение приложения Б3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
47	Благоустр.	228	1	33	4,4	33,0	220	0	33	0,0		224	1	33	4,5	33,0
48	Комплект.	356	4	30	11,2	7,5	352	6	30	17,0	5,0	354	10	30	28,2	3,0
49	Трест	420	1	8	2,4	8,0	346	3	8	8,7	2,7	383	4	8	10,4	2,0
50	ВОХР	166	2	18	12,0	9,0	166	1	18	6,0	18,0	166	3	18	18,1	6,0
51	Заводоупр.	2485	14	93	5,6	6,6	6155	9	93	1,5	10,3	4320	23	136	5,3	5,9
52	Подс. Хоз.	420	0	23	0,0		420	5	23	11,9	4,6	420	5	87	11,9	17,4
53	Сбсд	635	10	69	15,7	6,9	521	9	69	17,3	7,7	578	19	314	32,9	16,5
53	ЖКУ	533	0	0	0,0		533	1	0	1,9	0,0	533	1	0	1,9	0,0
54	Учебн	29	0	0	0,0		29	0	0	0,0		29	0	0	0,0	
55	ЦТНП-5	199	0	19	0,0		199	2				199	2	19	10,1	9,5
56	ЦКБ	982	0	0	0,0		982	0				982	0	0	0,0	
57	Типография	48	0	0	0,0		48	0	0	0,0		48	0	0	0,0	
	дополн.	2545	1	27	0,4	27,0	2099	0		0,0		2322	1		0,4	0,0
	Всего:	29664	255	2520	8,6	9,9	28869,0	252	2501	8,7	9,9	30316	507	4041	16,7	8,0

Приложение В. Инфографика показателей производственного травматизма на ПАО ХК «Лугансктепловоз»

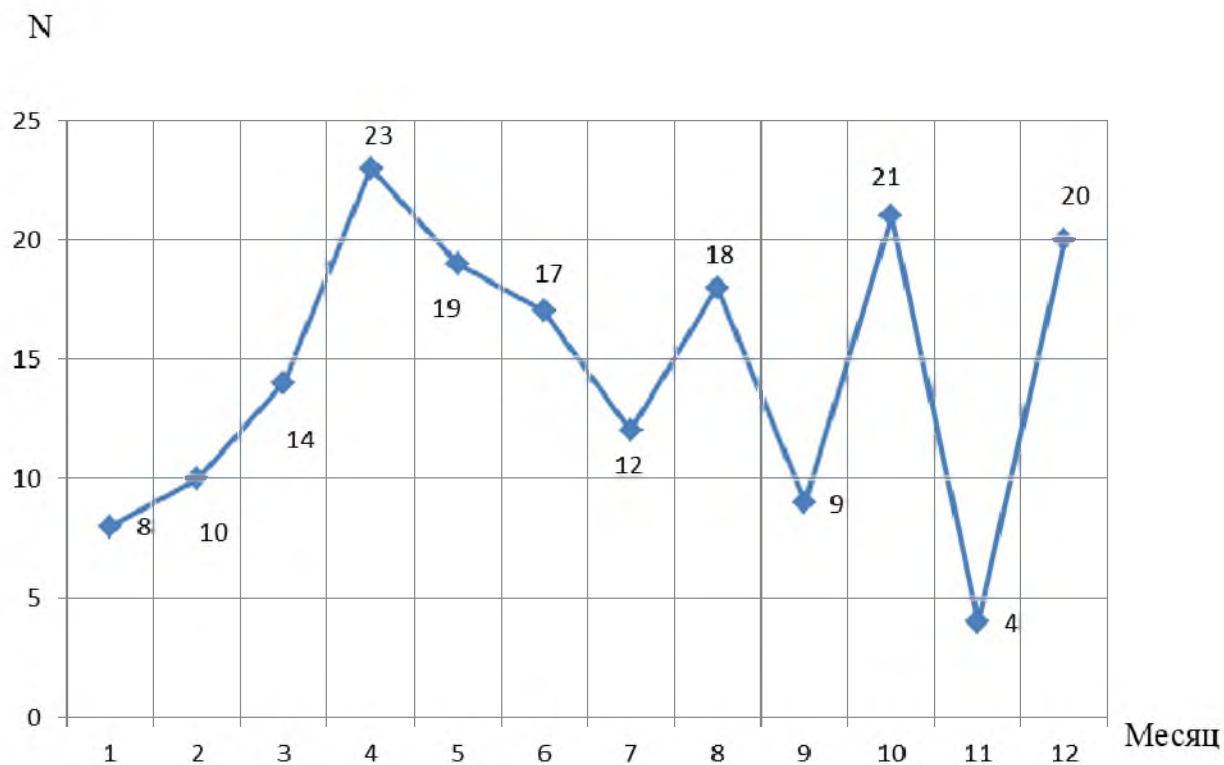


Рисунок Б1 Распределение количества травм в КПП по месяцам в 1985 г.

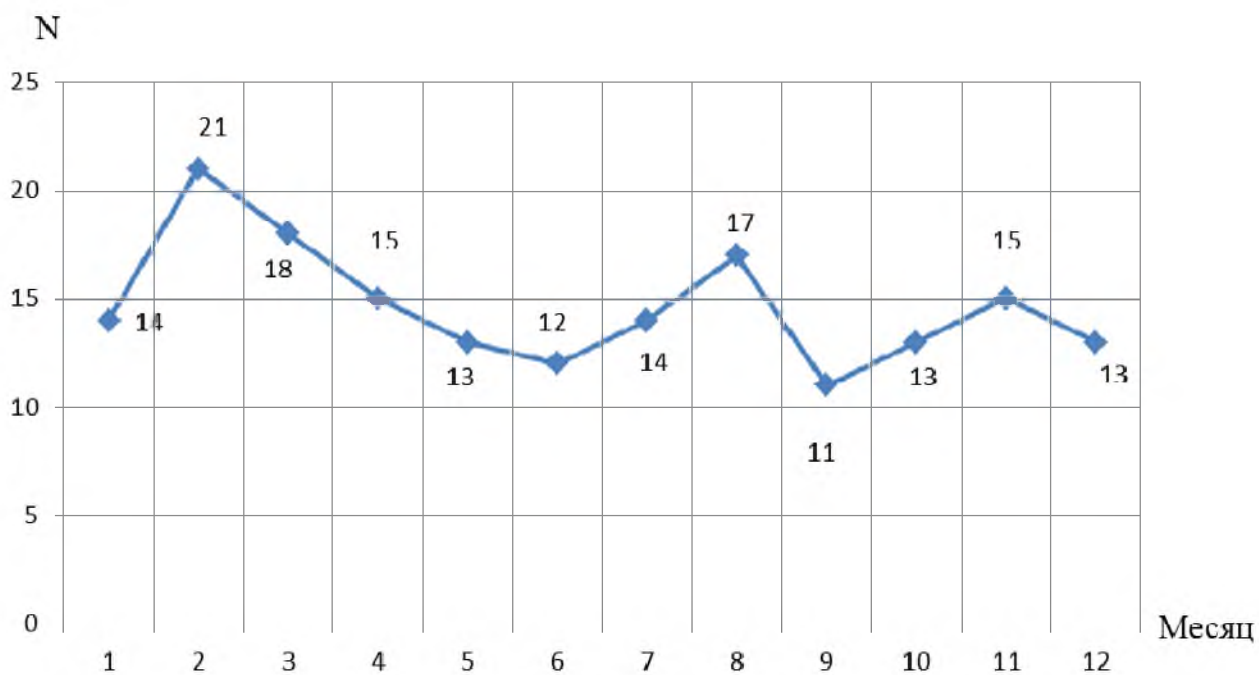


Рисунок Б2 Распределение количества травм в КПП по месяцам в 1987 г.

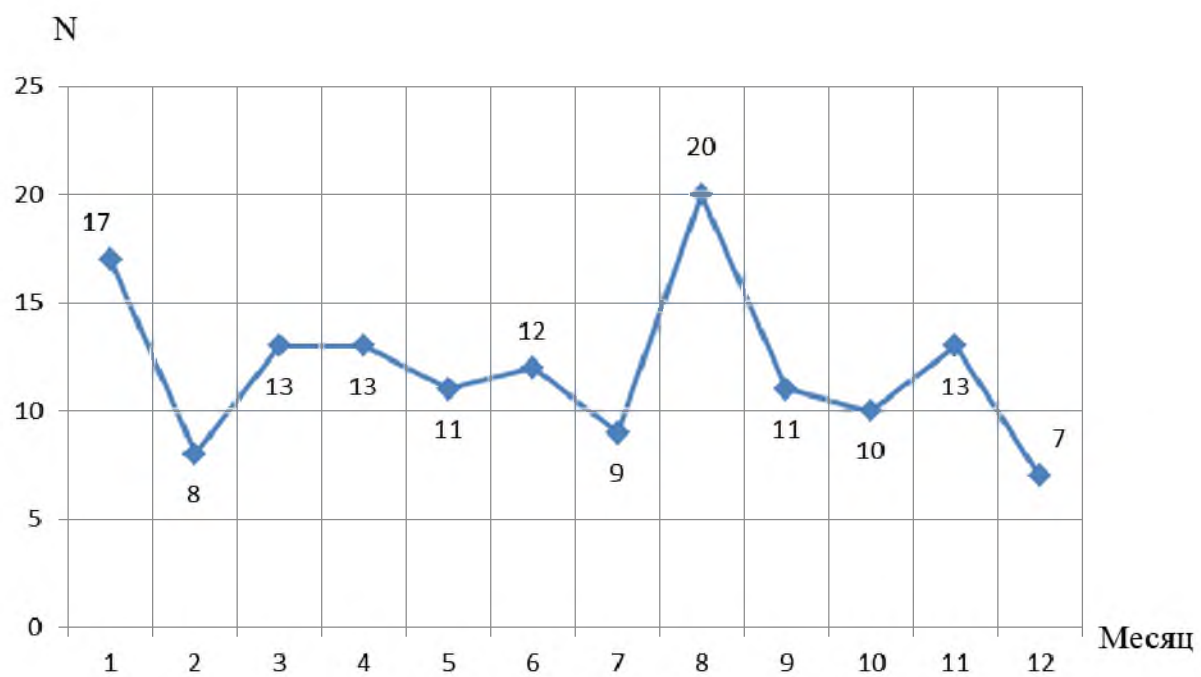


Рисунок Б3 Распределение количества травм в КПП по месяцам в 1989 г.

Приложение Г1. Расчеты по модели 1 в табличном процессоре Excel

Базовый (нулевой) вариант				
	Множитель изменения вероятности (1 + приращение)	d	1.01	
№ п/п	Событие	def	$P(A_i)=p_i$	q_i
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.05	0.95
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.004	0.996
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществление заданного управляющего действия	A3	0.039	0.961
4	Необнаружение сигнала	A4	0.062	0.938
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.015	0.985
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.01	0.99
7	Невыполнение операции выдача или принятия голосовой команды	A7	0.002	0.998
8	Невыполнение действия по соединению кабеля	A8	0.014	0.986
9	Не качественно выполнено действие по подсоединению шланга	A9	0.045	0.955
10	Не качественно выполнено действие по установке уплотнения	A10	0.09	0.91
11	Неиспользование средств защиты съемных ограждений	A11	0.25	0.75
12	Механическое повреждение редуктора баллона	C1	0.003	0.997
13	Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	C2	0.005	0.995
14	Механическое повреждение редуктора трубопровода пневмосистемы	C3	0.005	0.995
15	Выход из строя гайки редуктора	C4	0.00002	0.99998
16	Выход из строя прокладки редуктора	C5	0.04	0.96
17	Превышение давления воздуха в баллоне	C6	0.00004	0.99996
18	Эксплуатация неисправного баллона	C7	0.0002	0.9998
19	Эксплуатация неисправной компрессорной установки	C8	0.0002	0.9998
20	Отказ предохранителя	C9	0.00003	0.99997
21	Выход из строя подшипника электродвигателя	C10	0.00002	0.99998
22	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C11	0.0000011	0.9999989
23	Отказ конечного выключателя	C12	0.00003	0.99997
24	Износ сальникового уплотнителя	C13	0.00003	0.99997
25	Выход из строя подшипника вала компрессора	C14	0.00002	0.99998
26	Износ муфты	C15	0.000025	0.999975
	Разгерметизация соединения гайка-штуцер	Б	0.00524051	0.994759486
	Механические повреждения пневмосистемы	В	0.01294508	0.987054925
	Механические повреждения пневмосистемы	Г	0.00043994	0.999560056
	C9+C13+C14+C15		0.000105	0.999895004
	C6*(C10+C11)		8.44E-10	0.999999999
	A2*A8*C12		1.68E-09	0.999999998
	Аварийный отказ компрессора	Д	0.000105	0.999895002
	Б*(A2+A3)		0.00022452	0.999775475
	В*(A2+A5)		0.00024518	0.99975482
	Г*(A4+A7)*A6		2.8102E-07	0.999999719
	Д*(A4+A7)*A6		6.7069E-08	0.999999933
	Разгерметизация пневмосистемы	Е	0.0001175	0.999882501
	Утечка сжатого воздуха из пневмосистемы манипулятора	У	5.875E-06	0.999994125
				Показатель чувствительнос

	Множитель изменения вероятности	d	1.01	Отн.изм.У
№ п/п	Событие	Событие	$P(A_i)=p_i$	Показатель чувствительности
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.05	1
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.004	0.151344965
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществление заданного управляющего действия	A3	0.039	0.433008027
4	Необнаружение сигнала	A4	0.062	0.00071709
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.015	0.411398058
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.01	0.000740268
7	Невыполнение операции выдача или принятия голосовой команды	A7	0.002	2.17412E-05
8	Невыполнение действия по соединению кабеля	A8	0.014	2.29133E-09
9	Не качественно выполнено действие по подсоединению шланга	A9	0.045	0.149351784
10	Не качественно выполнено действие по установке уплотнения	A10	0.09	0.313474624
11	Неиспользование средств защиты съемных ограждений	A11	0.25	1
12	Механическое повреждение редуктора баллона	C1	0.003	0.119661505
13	Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	C2	0.005	0.199836717
14	Механическое повреждение редуктора трубопровода пневмосистемы	C3	0.005	0.199836717
15	Выход из строя гайки редуктора	C4	0.00002	0.000229137
16	Выход из строя прокладки редуктора	C5	0.04	0.47735878
17	Превышение давления воздуха в баллоне	C6	0.00004	5.43168E-05
18	Эксплуатация неисправного баллона	C7	0.0002	0.000271621
19	Эксплуатация неисправной компрессорной установки	C8	0.0002	0.000271621
20	Отказ предохранителя	C9	0.00003	4.07499E-05
21	Выход из строя подшипника электродвигателя	C10	0.00002	1.0866E-09
22	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C11	0.0000011	7.08628E-11
23	Отказ конечного выключателя	C12	0.00003	2.29133E-09
24	Износ сальникового уплотнителя	C13	0.00003	4.07499E-05
25	Выход из строя подшипника вала компрессора	C14	0.00002	2.71664E-05
26	Износ муфты	C15	0.000025	3.39581E-05
		A (все)		3.503926034
		C (все)		0.99763971
		A и C		4.536531059

Оценка чувствительности системы на изменения входных (исходных) вероятностей отказа.

A1

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.0505	0.9495
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.994759486
0.0129451	0.987054925
0.0004399	0.999560056
0.000105	0.999895004
8.44E-10	0.999999999
1.68E-09	0.999999998
0.000105	0.999895002
0.0002245	0.999775475
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.999999719
6.707E-08	0.999999933
0.0001175	0.999882501
5.934E-06	0.999994066
1	

A1

A2

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.00404	0.99596
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.994759486
0.0129451	0.987054925
0.0004399	0.999560056
0.000105	0.999895004
8.44E-10	0.999999999
1.697E-09	0.999999998
0.000105	0.999895002
0.0002247	0.999775274
0.0002457	0.99975431
2.81E-07	0.999999719
6.707E-08	0.999999933
0.0001177	0.999882323
5.884E-06	0.999994116
0.151345	

A2

A3

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.03939	0.96061
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002266	0.99977344
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.000118	0.99988199
5.9E-06	0.9999941
0.433008	

A3

Желым выделена изменяемая вероятность отказа

A4

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.06262	0.93738
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.837E-07	0.99999972
6.772E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999412
0.0007171	

A4

A5

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.01515	0.98485
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.005240514	0.99475949
0.012945075	0.98705493
0.000439944	0.99956006
0.000104996	0.999895
8.43999E-10	1
1.68E-09	1
0.000104998	0.999895
0.000224525	0.99977548
0.000247114	0.99975289
2.81019E-07	0.99999972
6.70688E-08	0.99999993
0.000117983	0.99988202
5.89913E-06	0.9999941
0.411398058	

A5

A6

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.0101	0.9899
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.838E-07	0.99999972
6.774E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999412
0.0007403	

A6

A7

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.00202	0.99798
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.811E-07	0.99999972
6.709E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
2.174E-05	

A7

A8

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.01414	0.98586
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.697E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
2.291E-09	

A8

A9

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.04545	0.95455
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052569	0.9947431
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002252	0.99977477
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001177	0.99988233
5.884E-06	0.99999412
0.1493518	

A9

A10

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.0909	0.9091
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052749	0.99472509
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.000226	0.999774
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001179	0.99988213
5.893E-06	0.99999411
0.3134746	

A10

A11

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.2525	0.7475
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001187	0.99988133
5.934E-06	0.99999407
1	

A11

C1

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.00303	0.99697
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129748	0.98702522
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002457	0.99975426
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001176	0.99988236
5.882E-06	0.99999412
0.1196615	

C1

C2

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.00505	0.99495
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129947	0.98700532
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002461	0.99975388
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001177	0.99988227
5.887E-06	0.99999411
0.1998367	

C2

C3

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.00505	0.99495
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129947	0.98700532
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002461	0.99975388
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001177	0.99988227
5.887E-06	0.99999411
0.1998367	

C3

C4

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.0000202	0.9999798
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475946
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977547
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
0.0002291	

C4

C5

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.0404	0.9596
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052929	0.99470711
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002268	0.99977323
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001181	0.99988194
5.903E-06	0.9999941
0.4773588	

C5

C6

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.0000404	0.9999596
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004403	0.99955966
0.000105	0.999895
8.524E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.813E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
5.432E-05	

C6

C7

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.000202	0.999798
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004419	0.99955806
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.823E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
0.0002716	

C7

C8

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.000202	0.999798
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004419	0.99955806
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.823E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
0.0002716	

C8

C9

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.000202	0.999798
0.0000303	0.9999697
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.0001053	0.9998947
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.0001053	0.9998947
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.726E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
4.075E-05	

C9

C10

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.000202	0.999798
0.00003	0.99997
0.0000202	0.9999798
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.52E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
1.087E-09	

C10

C11

P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
1.111E-06	0.9999889
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.444E-10	1
1.68E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
7.086E-11	

C11

C12

P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999889
0.0000303	0.9999697
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.697E-09	1
0.000105	0.999895
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.707E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
2.291E-09	

C12

C13

P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999889
0.00003	0.99997
0.0000303	0.9999697
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.0001053	0.9998947
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.0001053	0.9998947
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.726E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
4.075E-05	

C13

C14

P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.0000202	0.9999798
0.000025	0.999975
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.0001052	0.9998948
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.0001052	0.9998948
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.72E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
2.717E-05	

C14

C15

P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
2.525E-05	0.99997475
0.0052405	0.99475949
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.0001052	0.99989475
8.44E-10	1
1.68E-09	1
0.0001052	0.99989475
0.0002245	0.99977548
0.0002452	0.99975482
2.81E-07	0.99999972
6.723E-08	0.99999993
0.0001175	0.9998825
5.875E-06	0.99999413
3.396E-05	

C15

vce A

P(Ai)=p _i	q _i
0.0505	0.9495
0.00404	0.99596
0.03939	0.96061
0.06262	0.93738
0.01515	0.98485
0.0101	0.9899
0.00202	0.99798
0.01414	0.98586
0.04545	0.95455
0.0909	0.9091
0.2525	0.7475
0.003	0.997
0.005	0.995
0.005	0.995
0.00002	0.99998
0.04	0.96
0.00004	0.99996
0.0002	0.9998
0.0002	0.9998
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997
0.00003	0.99997
0.00002	0.99998
0.000025	0.999975
0.0052913	0.99470872
0.0129451	0.98705493
0.0004399	0.99956006
0.000105	0.999895
8.44E-10	1
1.714E-09	1
0.000105	0.999895
0.000229	0.99977104
0.0002476	0.99975238
2.867E-07	0.99999971
6.842E-08	0.99999993
0.0001204	0.99987959
6.081E-06	0.99999392
3.503926	

vce A

все С

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95
0.004	0.996
0.039	0.961
0.062	0.938
0.015	0.985
0.01	0.99
0.002	0.998
0.014	0.986
0.045	0.955
0.09	0.91
0.25	0.75
0.00303	0.99697
0.00505	0.99495
0.00505	0.99495
0.0000202	0.9999798
0.0404	0.9596
0.0000404	0.9999596
0.000202	0.999798
0.000202	0.999798
0.0000303	0.9999697
0.0000202	0.9999798
1.111E-06	0.99999889
0.0000303	0.9999697
0.0000303	0.9999697
0.0000202	0.9999798
2.525E-05	0.99997475
0.0052929	0.99470708
0.013074	0.98692603
0.0004443	0.99955566
0.000106	0.99989395
8.61E-10	1
1.697E-09	1
0.000106	0.99989395
0.0002268	0.99977323
0.0002476	0.99975238
2.838E-07	0.99999972
6.774E-08	0.99999993
0.0001187	0.99988133
5.934E-06	0.99999407
0.9976397	

все С

все А и С

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.0505	0.9495
0.00404	0.99596
0.03939	0.96061
0.06262	0.93738
0.01515	0.98485
0.0101	0.9899
0.00202	0.99798
0.01414	0.98586
0.04545	0.95455
0.0909	0.9091
0.2525	0.7475
0.00303	0.99697
0.00505	0.99495
0.00505	0.99495
0.0000202	0.9999798
0.0404	0.9596
0.0000404	0.9999596
0.000202	0.999798
0.000202	0.999798
0.0000303	0.9999697
0.0000202	0.9999798
1.111E-06	0.99999889
0.0000303	0.9999697
0.0000303	0.9999697
0.0000202	0.9999798
2.525E-05	0.99997475
0.0053442	0.99465581
0.013074	0.98692603
0.0004443	0.99955566
0.000106	0.99989395
8.61E-10	1
1.731E-09	1
0.000106	0.99989395
0.0002312	0.99976875
0.0002501	0.99974991
2.895E-07	0.99999971
6.91E-08	0.99999993
0.0001216	0.99987839
6.141E-06	0.99999386
4.5365311	

все А и С

def
A1
A2
A3
A4
A5
A6
A7
A8
A9
A10
A11
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
C10
C11
C12
C13
C14
C15
Б
В
Г
Д
Е
У

Ранжированное поубыванию чувствительности				
№ п/п	Событие	Событие	P(Ai)=pi	Показатель чувствительн
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.05	1
11	Неиспользование средств защиты съемных ограждений	A11	0.25	1
16	Выход из строя прокладки редуктора	C5	0.04	0.47735878
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и	A3	0.039	0.433008027
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.015	0.411398058
10	Не качественно выполнено действие по установке уплотнения	A10	0.09	0.313474624
13	Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	C2	0.005	0.199836717
14	Механическое повреждение редуктора трубопровода	C3	0.005	0.199836717
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.004	0.151344965
9	Не качественно выполнено действие по подсоединению шланга	A9	0.045	0.149351784
12	Механическое повреждение редуктора баллона	C1	0.003	0.119661505
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.01	0.000740268
4	Необнаружение сигнала	A4	0.062	0.00071709
18	Эксплуатация неисправного баллона	C7	0.0002	0.000271621
19	Эксплуатация неисправной компрессорной установки	C8	0.0002	0.000271621
15	Выход из строя гайки редуктора	C4	0.00002	0.000229137
17	Превышение давления воздуха в баллоне	C6	0.00004	5.43168E-05
20	Отказ предохранителя	C9	0.00003	4.07499E-05
24	Износ сальникового уплотнителя	C13	0.00003	4.07499E-05
26	Износ муфты	C15	0.000025	3.39581E-05
25	Выход из строя подшипника вала компрессора	C14	0.00002	2.71664E-05
7	Невыполнение операции выдача или принятия голосовой команды	A7	0.002	2.17412E-05
8	Невыполнение действия по соединению кабеля	A8	0.014	2.29133E-09
23	Отказ конечного выключателя	C12	0.00003	2.29133E-09
21	Выход из строя подшипника электродвигателя	C10	0.00002	1.0866E-09
22	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C11	0.0000011	7.08628E-11



Приложение Г2. Расчеты по модели 2 в табличном процессоре Excel

Базовый (нулевой) вариант				
Множитель изменения вероятности (1 + приращение)		d	1.01	
№ п/п	Событие	def	P(Ai)=p _i	q _i
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.05	0.95
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.004	0.996
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществление заданного управляющего действия	A3	0.039	0.961
4	Необнаружение сигнала	A4	0.062	0.938
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.015	0.985
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.01	0.99
7	Невыполнение операции выдача или принятия голосовой команды	A7	0.002	0.998
8	Не качественно выполнено действие по установке упл	A8	0.014	0.986
9	Механическое повреждение трубопровода	C1	0.00005	0.99995
10	Выход из строя прокладки	C2	0.04	0.96
11	Превышение давления в системе	C3	0.00004	0.99996
12	Отказ электромагнитного распределителя	C4	0.0000035	0.9999965
13	Отказ предохранителя	C5	0.000003	0.999997
14	Выход из строя подшипника электродвигателя	C6	0.00002	0.99998
15	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C7	1.10E-06	0.9999989
16	Отказ конечного выключателя	C8	0.00003	0.99997
17	Износ сальникового уплотнителя	C9	0.00003	0.99997
18	Выход из строя подшипника вала насоса	C10	0.00002	0.99998
19	Выход из строя муфты	C11	0.000025	0.999975
20	Дефекты сварных соединений	C12	0.000076	0.999924
21	Отказ предохранительного клапан	C13	0.026	0.974
22	Отказ нагнетательного клапан	C14	0.00086	0.99914
23	Отказ датчика контроля температуры	C15	0.029	0.971
24	Отказ фланца	C16	0.000086	0.999914
25	Отказ предохранительной арматуры	C17	0.026	0.974
	A2*C1		0.0000002	0.9999998
	A8*C2		0.00056	0.99944
	C15*C10		0.00000058	0.99999942
	Отказ гидравлической системы	Б	0.027460206	0.972539794
	C15*C6		0.00000058	0.99999942
	Отказ системы ЦСПС	В	0.000146174	0.999853826
		Д	0.112526526	0.887473474
		Г	0.052103492	0.947896508
	Б*А3		0.001070948	0.998929052
	В*Г		7.61616E-06	0.999992384
	Отказ системы подъема и поворота свода и электродов АПК	Е	0.0001214	0.9998786
				Показатель чувствительности

	Множитель изменения вероятности	d	1.01	Отн.изм.У
№ п/п	Событие	Событие	$P(A_i)=p_i$	Показатель чувствит
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.05	0.41509
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.004	0.03168
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществление заданного управляющего действия	A3	0.039	0.99294
4	Необнаружение сигнала	A4	0.062	0.52130
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.015	0.00195
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.01	0.00130
7	Невыполнение операции выдача или принятия голосовой команды	A7	0.002	0.00026
8	Не качественно выполнено действие по установке уплотнения	A8	0.014	0.01970
9	Механическое повреждение трубопровода	C1	0.00005	0.00001
10	Выход из строя прокладки	C2	0.04	0.01970
11	Превышение давления в системе	C3	0.00004	0.00032
12	Отказ электромагнитного распределителя	C4	0.0000035	0.00017
13	Отказ предохранителя	C5	0.000003	0.00011
14	Выход из строя подшипника электродвигателя	C6	0.00002	0.00003
15	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C7	0.0000011	0.00005
16	Отказ конечного выключателя	C8	0.00003	0.00145
17	Износ сальникового уплотнителя	C9	0.00003	0.00024
18	Выход из строя подшипника вала насоса	C10	0.00002	0.00002
19	Выход из строя муфты	C11	0.000025	0.00121
20	Дефекты сварных соединений	C12	0.000076	0.00267
21	Отказ предохранительного клапан	C13	0.026	0.93873
22	Отказ нагнетательного клапан	C14	0.00086	0.03027
23	Отказ датчика контроля температуры	C15	0.029	0.00005
24	Отказ фланца	C16	0.000086	0.00415
25	Отказ предохранительной арматуры	C17	0.026	0.00343
		A (все)		1.998208226
		C (все)		1.002613802
		A и C		3.016505444

Оценка чувствительности системы на изменения входных (исходных) вероятностей отказа.

A1		A2		A3	
$P(A_i)=p_i$	q_i	$P(A_i)=p_i$	q_i	$P(A_i)=p_i$	q_i
0.0505	0.9495	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.00404	0.99596	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.03939	0.96061
0.062	0.938	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.015	0.985	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
0.002	0.998	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.014	0.986	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.00005	0.99995
0.04	0.96	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.029	0.971	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.000086	0.999914
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.000002	0.9999998	0.00000202	0.99999798	0.000002	0.9999998
0.00056	0.99944	0.00056	0.99944	0.00056	0.99944
5.8E-07	0.9999942	0.00000058	0.9999942	5.8E-07	0.9999942
0.0274602	0.972539794	0.027460208	0.972539792	0.0274602	0.972539794
5.8E-07	0.9999942	0.00000058	0.9999942	5.8E-07	0.9999942
0.0001462	0.999853826	0.000146174	0.999853826	0.0001462	0.999853826
0.1129936	0.887006382	0.112562168	0.887437832	0.1125265	0.887473474
0.0521035	0.947896508	0.052103492	0.947896508	0.0521035	0.947896508
0.0010709	0.998929052	0.001070948	0.998929052	0.0010817	0.998918342
7.616E-06	0.999992384	7.61616E-06	0.999992384	7.616E-06	0.999992384
0.0001219	0.99987813	0.000121405	0.999878595	0.0001226	0.999877429
0.4150944		0.031680905		0.9929386	

A1

A2

A3

Желым выделена изменяемая вероятность отказа

A4		A5		A6	
$P(A_i)=p_i$	q_i	$P(A_i)=p_i$	q_i	$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.004	0.996	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.039	0.961
0.06262	0.93738	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.01515	0.98485	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.0101	0.9899
0.002	0.998	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.014	0.986	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.00005	0.99995
0.04	0.96	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.029	0.971	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.000086	0.999914
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998
0.00056	0.99944	0.00056	0.99944	0.00056	0.99944
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.027460206	0.972539794	0.027460206	0.972539794	0.027460206	0.972539794
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.000146174	0.999853826	0.000146174	0.999853826	0.000146174	0.999853826
0.113113129	0.886886871	0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474
0.052103492	0.947896508	0.052247842	0.947752158	0.052199239	0.947800761
0.001070948	0.998929052	0.001070948	0.998929052	0.001070948	0.998929052
7.61616E-06	0.999992384	7.63726E-06	0.999992363	7.63016E-06	0.99999237
0.000121999	0.999878001	0.000121369	0.999878631	0.000121368	0.999878632
0.521301914		0.001954238		0.001296245	

A4

A5

A6

A7		A8		C1	
$P(A_i)=p_i$	q_i	$P(A_i)=p_i$	q_i	$P(A_i)=p_i$	q_i
0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.004	0.996	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.039	0.961
0.062	0.938	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.015	0.985	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
0.00202	0.99798	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.01414	0.98586	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.0000505	0.9999495
0.04	0.96	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.029	0.971	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.000086	0.999914
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998	0.000000202	0.999999798
0.00056	0.99944	0.0005656	0.9994344	0.00056	0.99944
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.027460206	0.972539794	0.027465655	0.972534345	0.027460208	0.972539792
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.000146174	0.999853826	0.000146174	0.999853826	0.000146174	0.999853826
0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474
0.052122488	0.947877512	0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508
0.001070948	0.998929052	0.001071161	0.998928839	0.001070948	0.998929052
7.61894E-06	0.999992381	7.61616E-06	0.999992384	7.61616E-06	0.999992384
0.000121366	0.999878634	0.00012139	0.99987861	0.000121366	0.999878634
0.000257171		0.01970413		7.03325E-06	

A7

A8

C1

C2		C3		C4	
P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.004	0.996	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.039	0.961
0.062	0.938	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.015	0.985	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
0.002	0.998	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.014	0.986	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.00005	0.99995
0.0404	0.9596	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.0000404	0.9999596	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.000003535	0.999996465
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.029	0.971	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.000086	0.999914
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998
0.0005656	0.9994344	0.00056	0.99944	0.00056	0.99944
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.027465655	0.972534345	0.027460206	0.972539794	0.027460206	0.972539794
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.000146174	0.999853826	0.000146174	0.999853826	0.000146209	0.999853791
0.112526526	0.887473474	0.112526881	0.887473119	0.112526526	0.887473474
0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508
0.001071161	0.998928839	0.001070948	0.998929052	0.001070948	0.998929052
7.61616E-06	0.999992384	7.61616E-06	0.999992384	7.61799E-06	0.999992382
0.00012139	0.99987861	0.000121367	0.999878633	0.000121366	0.999878634
0.01970413		0.000315484		0.000168875	

C2

C3

C4

C5		C6		C7	
P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.004	0.996	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.039	0.961
0.062	0.938	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.015	0.985	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
0.002	0.998	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.014	0.986	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.00005	0.99995
0.04	0.96	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965
0.00000303	0.99999697	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.0000202	0.9999798	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.000001111	0.999998889
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.029	0.971	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.000086	0.999914
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998
0.00056	0.99944	0.00056	0.99944	0.00056	0.99944
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.027460235	0.972539765	0.027460206	0.972539794	0.027460206	0.972539794
0.00000058	0.99999942	5.858E-07	0.999999414	0.00000058	0.99999942
0.000146174	0.999853826	0.00014618	0.99985382	0.000146185	0.999853815
0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474
0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508
0.001070949	0.998929051	0.001070948	0.998929052	0.001070948	0.998929052
7.61616E-06	0.999992384	7.61647E-06	0.999992384	7.61674E-06	0.999992383
0.000121366	0.999878634	0.000121366	0.999878634	0.000121366	0.999878634
0.000105499		2.79849E-05		5.30748E-05	

C5

C6

C7

C8		C9		C10	
P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.004	0.996	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.039	0.961
0.062	0.938	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.015	0.985	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
0.002	0.998	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.014	0.986	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.00005	0.99995
0.04	0.96	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989
0.0000303	0.9999697	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.0000303	0.9999697	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.0000202	0.9999798
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.029	0.971	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.000086	0.999914
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998
0.00056	0.99944	0.00056	0.99944	0.00056	0.99944
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	5.858E-07	0.999999414
0.027460206	0.972539794	0.027460206	0.972539794	0.027460212	0.972539788
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.000146474	0.999853526	0.000146174	0.999853826	0.000146174	0.999853826
0.112526526	0.887473474	0.112526793	0.887473207	0.112526526	0.887473474
0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508
0.001070948	0.998929052	0.001070948	0.998929052	0.001070948	0.998929052
7.63179E-06	0.999992368	7.61616E-06	0.999992384	7.61616E-06	0.999992384
0.000121368	0.999878632	0.000121366	0.999878634	0.000121366	0.999878634
0.001447537		0.000236611		2.03964E-05	

C8

C9

C10

C11		C12		C13	
P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.004	0.996	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.039	0.961
0.062	0.938	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.015	0.985	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
0.002	0.998	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.014	0.986	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.00005	0.99995
0.04	0.96	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.00002525	0.99997475	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.00007676	0.99992324	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.02626	0.97374
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.029	0.971	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.000086	0.999914
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998
0.00056	0.99944	0.00056	0.99944	0.00056	0.99944
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.027460206	0.972539794	0.027460945	0.972539055	0.027719816	0.972280184
0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942	0.00000058	0.99999942
0.000146424	0.999853576	0.000146174	0.999853826	0.000146174	0.999853826
0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474
0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508
0.001070948	0.998929052	0.001070977	0.998929023	0.001081073	0.998918927
7.62919E-06	0.999992371	7.61616E-06	0.999992384	7.61616E-06	0.999992384
0.000121368	0.999878632	0.000121369	0.999878631	0.000122505	0.999877495
0.001206274		0.002672838		0.938729258	

C11

C12

C13

C14		C15		C16	
P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	0.95
0.004	0.996	0.004	0.996	0.004	0.996
0.039	0.961	0.039	0.961	0.039	0.961
0.062	0.938	0.062	0.938	0.062	0.938
0.015	0.985	0.015	0.985	0.015	0.985
0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
0.002	0.998	0.002	0.998	0.002	0.998
0.014	0.986	0.014	0.986	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.00005	0.99995
0.04	0.96	0.04	0.96	0.04	0.96
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.00004	0.99996
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.000003	0.999997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.00003	0.99997
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.00002	0.99998
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.000025	0.999975
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.000076	0.999924
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0008686	0.9991314	0.00086	0.99914	0.00086	0.99914
0.029	0.971	0.02929	0.97071	0.029	0.971
0.000086	0.999914	0.000086	0.999914	0.00008686	0.99991314
0.026	0.974	0.026	0.974	0.026	0.974
0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998	0.0000002	0.9999998
0.00056	0.99944	0.00056	0.99944	0.00056	0.99944
0.00000058	0.99999942	5.858E-07	0.999999414	0.00000058	0.99999942
0.027468577	0.972531423	0.027460212	0.972539788	0.027460206	0.972539794
0.00000058	0.99999942	5.858E-07	0.999999414	0.00000058	0.99999942
0.000146174	0.999853826	0.00014618	0.99985382	0.000147034	0.999852966
0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474	0.112526526	0.887473474
0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508	0.052103492	0.947896508
0.001071275	0.998928725	0.001070948	0.998929052	0.001070948	0.998929052
7.61616E-06	0.999992384	7.61647E-06	0.999992384	7.66097E-06	0.999992339
0.000121403	0.999878597	0.000121366	0.999878634	0.000121371	0.999878629
0.030269		4.83813E-05		0.004149837	

C14

C15

C16

C17		vce A		vce C	
P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i	P(Ai)=p _i	q _i
0.05	0.95	0.0505	0.9495	0.05	0.95
0.004	0.996	0.00404	0.99596	0.004	0.996
0.039	0.961	0.03939	0.96061	0.039	0.961
0.062	0.938	0.06262	0.93738	0.062	0.938
0.015	0.985	0.01515	0.98485	0.015	0.985
0.01	0.99	0.0101	0.9899	0.01	0.99
0.002	0.998	0.00202	0.99798	0.002	0.998
0.014	0.986	0.01414	0.98586	0.014	0.986
0.00005	0.99995	0.00005	0.99995	0.0000505	0.9999495
0.04	0.96	0.04	0.96	0.0404	0.9596
0.00004	0.99996	0.00004	0.99996	0.0000404	0.9999596
0.0000035	0.9999965	0.0000035	0.9999965	0.000003535	0.999996465
0.000003	0.999997	0.000003	0.999997	0.00000303	0.99999697
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.0000202	0.9999798
0.0000011	0.9999989	0.0000011	0.9999989	0.000001111	0.999998889
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.0000303	0.9999697
0.00003	0.99997	0.00003	0.99997	0.0000303	0.9999697
0.00002	0.99998	0.00002	0.99998	0.0000202	0.9999798
0.000025	0.999975	0.000025	0.999975	0.00002525	0.99997475
0.000076	0.999924	0.000076	0.999924	0.00007676	0.99992324
0.026	0.974	0.026	0.974	0.02626	0.97374
0.00086	0.99914	0.00086	0.99914	0.0008686	0.9991314
0.029	0.971	0.02929	0.97071	0.02929	0.97071
0.000086	0.999914	0.00008686	0.99991314	0.00008686	0.99991314
0.02626	0.97374	0.026	0.974	0.02626	0.97374
0.0000002	0.9999998	0.000000202	0.999999798	0.000000202	0.999999798
0.00056	0.99944	0.0005656	0.9994344	0.0005656	0.9994344
0.00000058	0.99999942	5.858E-07	0.999999414	5.91658E-07	0.999999408
0.027460206	0.972539794	0.027465663	0.972534337	0.027734414	0.972265586
0.00000058	0.99999942	5.858E-07	0.999999414	5.91658E-07	0.999999408
0.000146174	0.999853826	0.00014704	0.99985296	0.000147641	0.999852359
0.112526526	0.887473474	0.113615511	0.886384489	0.112527148	0.887472852
0.052356524	0.947643476	0.052362566	0.947637434	0.052356524	0.947643476
0.001070948	0.998929052	0.001081872	0.998918128	0.001081642	0.998918358
7.65315E-06	0.999992347	7.69937E-06	0.999992301	7.72999E-06	0.99999227
0.00012137	0.99987863	0.000123791	0.999876209	0.000122583	0.999877417
0.003425601		1.998208226		1.002613802	

C17

vce A

vce C

все А и С

$P(A_i)=p_i$	q_i
0.0505	0.9495
0.00404	0.99596
0.03939	0.96061
0.06262	0.93738
0.01515	0.98485
0.0101	0.9899
0.00202	0.99798
0.01414	0.98586
0.0000505	0.9999495
0.0404	0.9596
0.0000404	0.9999596
0.000003535	0.999996465
0.00000303	0.99999697
0.0000202	0.9999798
0.000001111	0.999998889
0.0000303	0.9999697
0.0000303	0.9999697
0.0000202	0.9999798
0.00002525	0.99997475
0.00007676	0.99992324
0.02626	0.97374
0.0008686	0.9991314
0.02929	0.97071
0.00008686	0.99991314
0.02626	0.97374
2.0402E-07	0.999999796
0.000571256	0.999428744
5.91658E-07	0.999999408
0.027739918	0.972260082
5.91658E-07	0.999999408
0.000147641	0.999852359
0.113616132	0.886383868
0.052615528	0.947384472
0.001092675	0.998907325
7.76823E-06	0.999992232
0.000125027	0.999874973
3.016505444	

все А и С

Ранжированное по убыванию чувствительности				
№ п/п	Событие	Событие	$P(A_i)=p_i$	Показатель чувствительности
3	Совершение ошибки при поиске органов управления и осуществление заданного управляющего действия	A3	0.039	0.992938555
21	Отказ предохранительного клапан	C13	0.026	0.938729258
4	Необнаружение сигнала	A4	0.062	0.521301914
1	Нарушение правил безопасности	A1	0.05	0.415094393
2	Выполнение ремонта оборудования во время работы	A2	0.004	0.031680905
22	Отказ нагнетательного клапана	C14	0.00086	0.030269
8	Не качественно выполнено действие по установке уплотнения	A8	0.014	0.01970413
10	Выход из строя прокладки	C2	0.04	0.01970413
24	Отказ фланца	C16	0.000086	0.004149837
25	Отказ предохранительной арматуры	C17	0.026	0.003425601
20	Дефекты сварных соединений	C12	0.000076	0.002672838
5	Невыполнение операции нажатия кнопки	A5	0.015	0.001954238
16	Отказ конечного выключателя	C8	0.00003	0.001447537
6	Невыполнение операции включения тумблера	A6	0.01	0.001296245
19	Выход из строя муфты	C11	0.000025	0.001206274
11	Превышение давления в системе	C3	0.00004	0.000315484
7	Невыполнение операции выдача или принятия голосовой команды	A7	0.002	0.000257171
17	Износ сальникового уплотнителя	C9	0.00003	0.000236611
12	Отказ электромагнитного распределителя	C4	3.5E-06	0.000168875
13	Отказ предохранителя	C5	0.000003	0.000105499
15	Выход из строя крыльчатки электродвигателя	C7	1.1E-06	5.30748E-05
23	Отказ датчика контроля температуры	C15	0.029	4.83813E-05
14	Выход из строя подшипника электродвигателя	C6	0.00002	2.79849E-05
18	Выход из строя подшипника вала насоса	C10	0.00002	2.03964E-05
9	Механическое повреждение трубопровода	C1	0.00005	7.03325E-06



A (все)	1.99820823
C (все)	1.0026138
A и C	3.01650544

Показатель чувствительности

Приложение Г3. Последовательные итерации решения рекуррентных уравнений системы (5.13)

Показатель	X
Работоспособность	параметров
a1	0,02
b1	0,03
K1	0,9
h1	0,005
t0	0
X ₀	0,3

Параметры модели 2

Показатель	Y
Утомляемость	Значения параметров
a2	0,002
b2	0,0075
K2	0,9
t0	0
Y ₀	0,01

Показатель	Z
Ошибаемость	Значения параметров
a3	0,002
b3	0,001
K3	0,9
t0	0
Z ₀	0,01

c1	c2	c3
0,13	0,15	0,2
d1	d2	d3
0,2	1	1

Результаты для сравнения моделей

t	x	y	z	
240	0,7952	0,2948259	0,07455006	Excel
240	0,797	0,299	0,075	Anylogic
Расхождение, %	0,23	1,42	0,60	
max	0,8816	0,2948259	0,07455006	Excel
max	0,882	0,299	0,075	Anylogic
Расхождение, %	0,05	1,42	0,60	

модельное время

шаг=1мин	X	Y	P	Предел
t	Работосп	Утомля	Ошибаемос	1
0	0,3000	0,0100	0,0100	1
1	0,3209	0,0101	0,0101	1
2	0,3421	0,0103	0,0102	1
3	0,3634	0,0104	0,0103	1
4	0,3846	0,0106	0,0104	1
5	0,4057	0,0108	0,0105	1
6	0,4267	0,0109	0,0106	1
7	0,4474	0,0111	0,0107	1
8	0,4677	0,0113	0,0108	1
9	0,4876	0,0115	0,0109	1
10	0,5071	0,0116	0,0110	1
11	0,5260	0,0118	0,0111	1
12	0,5444	0,0120	0,0112	1
13	0,5622	0,0122	0,0113	1
14	0,5793	0,0124	0,0114	1
15	0,5959	0,0126	0,0115	1
16	0,6118	0,0128	0,0116	1
17	0,6270	0,0130	0,0117	1
18	0,6416	0,0133	0,0118	1
19	0,6556	0,0135	0,0119	1
20	0,6689	0,0137	0,0121	1
21	0,6816	0,0139	0,0122	1
22	0,6937	0,0142	0,0123	1
23	0,7052	0,0144	0,0124	1
24	0,7161	0,0147	0,0125	1
25	0,7265	0,0149	0,0126	1
26	0,7363	0,0152	0,0127	1

Результаты для сравнения моделей

округленные

t	x	y	z	
240	0,795	0,295	0,075	Excel
240	0,797	0,299	0,075	Anylogic
Расхождение, %	0,25	1,36	0,00	
max	0,882	0,295	0,075	Excel
max	0,882	0,299	0,075	Anylogic
Расхождение, %	0,00	1,36	0,00	

Корреляционная матрица

	X	Y	Z
X	1		
Y	0,19757885	1	
Z	0,26139408	0,996331	1

27	0,7456	0,0154	0,0129	1
28	0,7543	0,0157	0,0130	1
29	0,7626	0,0160	0,0131	1
30	0,7705	0,0163	0,0132	1
31	0,7778	0,0166	0,0133	1
32	0,7848	0,0169	0,0135	1
33	0,7913	0,0172	0,0136	1
34	0,7975	0,0175	0,0137	1
35	0,8033	0,0178	0,0138	1
36	0,8088	0,0181	0,0140	1
37	0,8139	0,0184	0,0141	1
38	0,8187	0,0187	0,0142	1
39	0,8232	0,0191	0,0144	1
40	0,8275	0,0194	0,0145	1
41	0,8314	0,0197	0,0146	1
42	0,8352	0,0201	0,0148	1
43	0,8386	0,0204	0,0149	1
44	0,8419	0,0208	0,0150	1
45	0,8450	0,0212	0,0152	1
46	0,8478	0,0216	0,0153	1
47	0,8505	0,0219	0,0154	1
48	0,8530	0,0223	0,0156	1
49	0,8553	0,0227	0,0157	1
50	0,8575	0,0231	0,0159	1
51	0,8595	0,0235	0,0160	1
52	0,8614	0,0239	0,0162	1
53	0,8631	0,0244	0,0163	1
54	0,8648	0,0248	0,0165	1
55	0,8663	0,0252	0,0166	1
56	0,8677	0,0257	0,0168	1
57	0,8690	0,0261	0,0169	1
58	0,8702	0,0266	0,0171	1
59	0,8714	0,0271	0,0172	1
60	0,8724	0,0275	0,0174	1
61	0,8734	0,0280	0,0175	1
62	0,8742	0,0285	0,0177	1
63	0,8751	0,0290	0,0179	1
64	0,8758	0,0295	0,0180	1
65	0,8765	0,0300	0,0182	1
66	0,8771	0,0305	0,0183	1
67	0,8777	0,0311	0,0185	1
68	0,8782	0,0316	0,0187	1
69	0,8787	0,0321	0,0188	1
70	0,8791	0,0327	0,0190	1
71	0,8795	0,0333	0,0192	1
72	0,8799	0,0338	0,0194	1
73	0,8802	0,0344	0,0195	1
74	0,8805	0,0350	0,0197	1
75	0,8807	0,0356	0,0199	1
76	0,8809	0,0362	0,0201	1
77	0,8811	0,0368	0,0202	1
78	0,8812	0,0374	0,0204	1
79	0,8813	0,0380	0,0206	1
80	0,8814	0,0387	0,0208	1
81	0,8815	0,0393	0,0210	1
82	0,8816	0,0400	0,0212	1
83	0,8816	0,0407	0,0213	1
84	0,8816	0,0413	0,0215	1
85	0,8816	0,0420	0,0217	1
86	0,8816	0,0427	0,0219	1

87	0,8815	0,0434	0,0221	1
88	0,8814	0,0441	0,0223	1
89	0,8814	0,0449	0,0225	1
90	0,8813	0,0456	0,0227	1
91	0,8812	0,0463	0,0229	1
92	0,8810	0,0471	0,0231	1
93	0,8809	0,0479	0,0233	1
94	0,8808	0,0486	0,0235	1
95	0,8806	0,0494	0,0237	1
96	0,8804	0,0502	0,0239	1
97	0,8803	0,0510	0,0241	1
98	0,8801	0,0518	0,0243	1
99	0,8799	0,0527	0,0245	1
100	0,8797	0,0535	0,0248	1
101	0,8794	0,0543	0,0250	1
102	0,8792	0,0552	0,0252	1
103	0,8790	0,0561	0,0254	1
104	0,8787	0,0569	0,0256	1
105	0,8785	0,0578	0,0259	1
106	0,8782	0,0587	0,0261	1
107	0,8779	0,0596	0,0263	1
108	0,8777	0,0606	0,0265	1
109	0,8774	0,0615	0,0268	1
110	0,8771	0,0625	0,0270	1
111	0,8768	0,0634	0,0272	1
112	0,8765	0,0644	0,0275	1
113	0,8762	0,0654	0,0277	1
114	0,8758	0,0664	0,0279	1
115	0,8755	0,0674	0,0282	1
116	0,8752	0,0684	0,0284	1
117	0,8748	0,0694	0,0287	1
118	0,8745	0,0704	0,0289	1
119	0,8742	0,0715	0,0291	1
120	0,8738	0,0726	0,0294	1
121	0,8734	0,0736	0,0296	1
122	0,8731	0,0747	0,0299	1
123	0,8727	0,0758	0,0302	1
124	0,8723	0,0769	0,0304	1
125	0,8719	0,0780	0,0307	1
126	0,8715	0,0792	0,0309	1
127	0,8712	0,0803	0,0312	1
128	0,8708	0,0815	0,0314	1
129	0,8704	0,0827	0,0317	1
130	0,8699	0,0838	0,0320	1
131	0,8695	0,0850	0,0322	1
132	0,8691	0,0863	0,0325	1
133	0,8687	0,0875	0,0328	1
134	0,8682	0,0887	0,0331	1
135	0,8678	0,0900	0,0333	1
136	0,8674	0,0912	0,0336	1
137	0,8669	0,0925	0,0339	1
138	0,8665	0,0938	0,0342	1
139	0,8660	0,0951	0,0345	1
140	0,8655	0,0964	0,0348	1
141	0,8651	0,0977	0,0350	1
142	0,8646	0,0991	0,0353	1
143	0,8641	0,1004	0,0356	1
144	0,8636	0,1018	0,0359	1
145	0,8632	0,1031	0,0362	1
146	0,8627	0,1045	0,0365	1

147	0,8622	0,1059	0,0368	1
148	0,8617	0,1074	0,0371	1
149	0,8612	0,1088	0,0374	1
150	0,8607	0,1102	0,0377	1
151	0,8601	0,1117	0,0380	1
152	0,8596	0,1131	0,0383	1
153	0,8591	0,1146	0,0387	1
154	0,8586	0,1161	0,0390	1
155	0,8580	0,1176	0,0393	1
156	0,8575	0,1191	0,0396	1
157	0,8569	0,1207	0,0399	1
158	0,8564	0,1222	0,0402	1
159	0,8558	0,1238	0,0406	1
160	0,8553	0,1254	0,0409	1
161	0,8547	0,1270	0,0412	1
162	0,8541	0,1286	0,0416	1
163	0,8535	0,1302	0,0419	1
164	0,8530	0,1318	0,0422	1
165	0,8524	0,1334	0,0426	1
166	0,8518	0,1351	0,0429	1
167	0,8512	0,1368	0,0432	1
168	0,8506	0,1384	0,0436	1
169	0,8500	0,1401	0,0439	1
170	0,8494	0,1418	0,0443	1
171	0,8488	0,1436	0,0446	1
172	0,8481	0,1453	0,0450	1
173	0,8475	0,1471	0,0453	1
174	0,8469	0,1488	0,0457	1
175	0,8462	0,1506	0,0461	1
176	0,8456	0,1524	0,0464	1
177	0,8450	0,1542	0,0468	1
178	0,8443	0,1560	0,0472	1
179	0,8437	0,1578	0,0475	1
180	0,8430	0,1597	0,0479	1
181	0,8423	0,1615	0,0483	1
182	0,8417	0,1634	0,0486	1
183	0,8410	0,1653	0,0490	1
184	0,8403	0,1672	0,0494	1
185	0,8396	0,1691	0,0498	1
186	0,8389	0,1710	0,0502	1
187	0,8382	0,1730	0,0506	1
188	0,8375	0,1749	0,0510	1
189	0,8368	0,1769	0,0513	1
190	0,8361	0,1789	0,0517	1
191	0,8354	0,1809	0,0521	1
192	0,8347	0,1829	0,0525	1
193	0,8340	0,1849	0,0529	1
194	0,8333	0,1869	0,0533	1
195	0,8325	0,1890	0,0537	1
196	0,8318	0,1910	0,0542	1
197	0,8311	0,1931	0,0546	1
198	0,8303	0,1952	0,0550	1
199	0,8296	0,1973	0,0554	1
200	0,8288	0,1994	0,0558	1
201	0,8281	0,2015	0,0562	1
202	0,8273	0,2037	0,0567	1
203	0,8265	0,2058	0,0571	1
204	0,8258	0,2080	0,0575	1
205	0,8250	0,2102	0,0579	1

207	0,8234	0,2146	0,0588	1
208	0,8226	0,2168	0,0592	1
209	0,8218	0,2190	0,0597	1
210	0,8210	0,2213	0,0601	1
211	0,8202	0,2236	0,0606	1
212	0,8194	0,2258	0,0610	1
213	0,8186	0,2281	0,0615	1
214	0,8178	0,2304	0,0619	1
215	0,8170	0,2327	0,0624	1
216	0,8162	0,2351	0,0628	1
217	0,8153	0,2374	0,0633	1
218	0,8145	0,2398	0,0638	1
219	0,8137	0,2421	0,0642	1
220	0,8128	0,2445	0,0647	1
221	0,8120	0,2469	0,0652	1
222	0,8111	0,2493	0,0656	1
223	0,8103	0,2517	0,0661	1
224	0,8094	0,2542	0,0666	1
225	0,8086	0,2566	0,0671	1
226	0,8077	0,2591	0,0675	1
227	0,8068	0,2615	0,0680	1
228	0,8060	0,2640	0,0685	1
229	0,8051	0,2665	0,0690	1
230	0,8042	0,2690	0,0695	1
231	0,8033	0,2715	0,0700	1
232	0,8024	0,2741	0,0705	1
233	0,8016	0,2766	0,0710	1
234	0,8007	0,2792	0,0715	1
235	0,7998	0,2818	0,0720	1
236	0,7989	0,2844	0,0725	1
237	0,7979	0,2870	0,0730	1
238	0,7970	0,2896	0,0735	1
239	0,7961	0,2922	0,0740	1
240	0,7952	0,2948	0,0746	1

Приложение Д. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019616921

«Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (ФГБОУ ВО "ЛГТУ") (RU)*

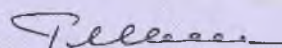
Авторы: *Вишневский Дмитрий Александрович (UA), Жильцов Александр Павлович (RU), Козачишен Виталий Анатольевич (UA), Сахаров Богдан Александрович (UA)*

Заявка № 2019615644

Дата поступления 20 мая 2019 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 30 мая 2019 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



Приложение Е. Описание оборудования для снятия индивидуальных показаний

Микроконтроллер Wemos Lolin 32

Wemos Lolin 32 (рис. 1) – платформа на микроконтроллере ESP32 с поддержкой Wi-Fi и Bluetooth low energy (BLE).



Рисунок 1. Микроконтроллер Wemos Lolin 32

Разрабатываемое устройство содержит множество датчиков и сенсоров для снятия психофизиологического состояния пользователя, а также располагает средствами обратной связи устройства с пользователем и с диспетчером программного обеспечения (ПО) на сервере предприятия, обеспечивающего коммуникацию с пользователем.

За функционирование датчиков и сенсоров отвечает смежная платформа, а Wemos Lolin 32 (WL32) обеспечивает приём данных от этой платформы и вторичной обработки полученного массива данных, с последующей передачей полученного массива информации на управляющий сервер посредством BLE или Wi-Fi. Платформа WL32 также отвечает за обратную связь с его пользователем, посредством вывода графического (дисплей), аудио (зуммер) и тактильного (вибромотор) оповещения.

WL32 в данном проекте выступает как управляющая платформа, а смежная платформа, отвечающая за датчики, подчинена ей. Платформа WL32 управляет циклами работы датчиков и сенсоров в реальном времени а также может изменять их в зависимости от поступающих корректив от управляющего диспетчера ПО с

серверов предприятия. Также WL32 отвечает за дополнительную (вторичную) обработку данных и передачу собранной информации на сервер предприятия.

Таблица 1. Характеристики WL32

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Радиоблок Wi-Fi	2.4 ГГц соответствует 802.11 b/g/n/e/I; поддерживаются режимы Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP (точка доступа); встроенный стек TCP/IP
2.	Радиоблок Bluetooth	v4.2 BR/EDR/BLE соответствует классам мощности class-1, class-2 и class-3 без дополнительного усилителя
3.	Встроенные радиокомпоненты	прямое подключение к антенне (TR switch, balun, LNA, усилитель мощности и согласующие цепи внутри чипа)
4.	Встроенные компоненты тактирования	требуется только внешний кварцевый резонатор
5.	Процессорное ядро	32-битное Xtensa® single-/dual-core LX6: до 600 DMIPS
6.	Встроенная память	448 кБ ROM, 520 кБ SRAM, 16 кБ SRAM RTC и 4 МБ Flash
7.	Последовательные интерфейсы	SDIO 1.1/2.0, SPI, UART
8.	Шифрование	WEP, TKIP, AES, и WAPI (в т.ч. поддерживается WPA2)

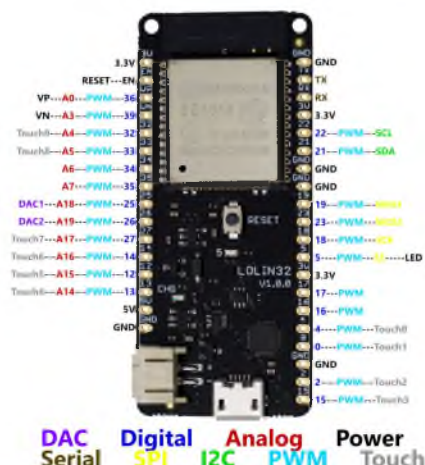


Рисунок 2. Распиновка WL32

Платформа Iskra Nano Pro

Iskra Nano Pro (Iskra NP; Рис. 3) – компактная платформа для разработки и прототипирования проектов. Iskra NP выступает одной из двух платформ, использующихся в данном проекте. Если WL32 исполняет роль управляющего микроконтроллера, то Iskra NP отвечает за инициализацию датчиков и сенсоров, нормальное их функционирование, снятие показаний с датчиков и сенсоров, первичную обработку, а также отправку массива данных на управляющую платформу WL32 для дальнейшей обработки.

Средой программирования платформы Iskra NP, как и платформы WL32 является программная оболочка Arduino IDE. В этой оболочке имеется текстовый

редактор, менеджер проектов, препроцессор, компилятор и инструменты для загрузки программы в микроконтроллер. Используется комплект библиотек Arduino (по лицензии LGPL). В качестве языка программирования Arduino выступает стандартный C++ (используются компиляторы семейства GNU Compiler Collection) с некоторыми особенностями.

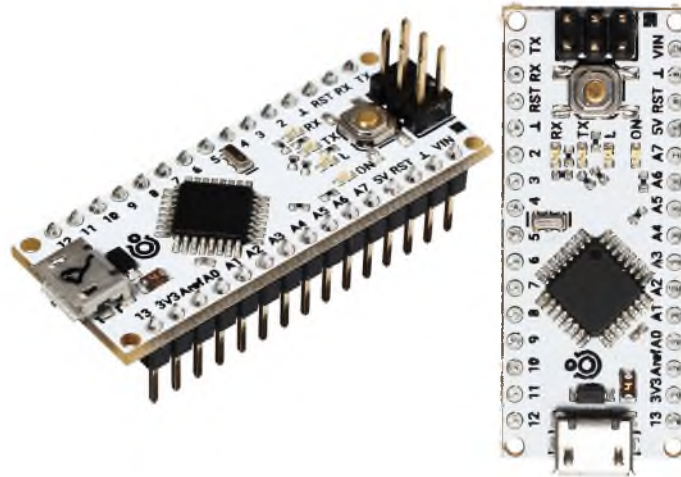


Рисунок 3. Платформа Iskra Nano Pro

Таблица 2. Характеристики Iskra NP

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	микроконтроллер	ATmega328PB
2.	ядро	8-битный AVR
3.	тактовая частота	16 МГц
4.	flash-память	32 КБ (2 КБ занимает загрузчик)
5.	SRAM	память: 2 КБ
6.	EEPROM-память	1 КБ
7.	портов ввода-вывода всего	22
8.	портов с АЦП	8
9.	разрядность АЦП	10 бит
10.	портов с ШИМ	9
11.	разрядность ШИМ	8 бит
12.	аппаратных интерфейсов	SPI: 2
13.	аппаратных интерфейсов I ² C / TWI	1
14.	аппаратных интерфейсов UART / Serial	2
15.	номинальное рабочее напряжение	5 В
16.	максимальный выходной ток пина 5V	1 А
17.	максимальный выходной ток пина 3V3	1 А
18.	максимальный ток с пина или на пин	40 мА
19.	допустимое входное напряжение от внешнего источника	7–12 В
20.	габариты	45×18 мм

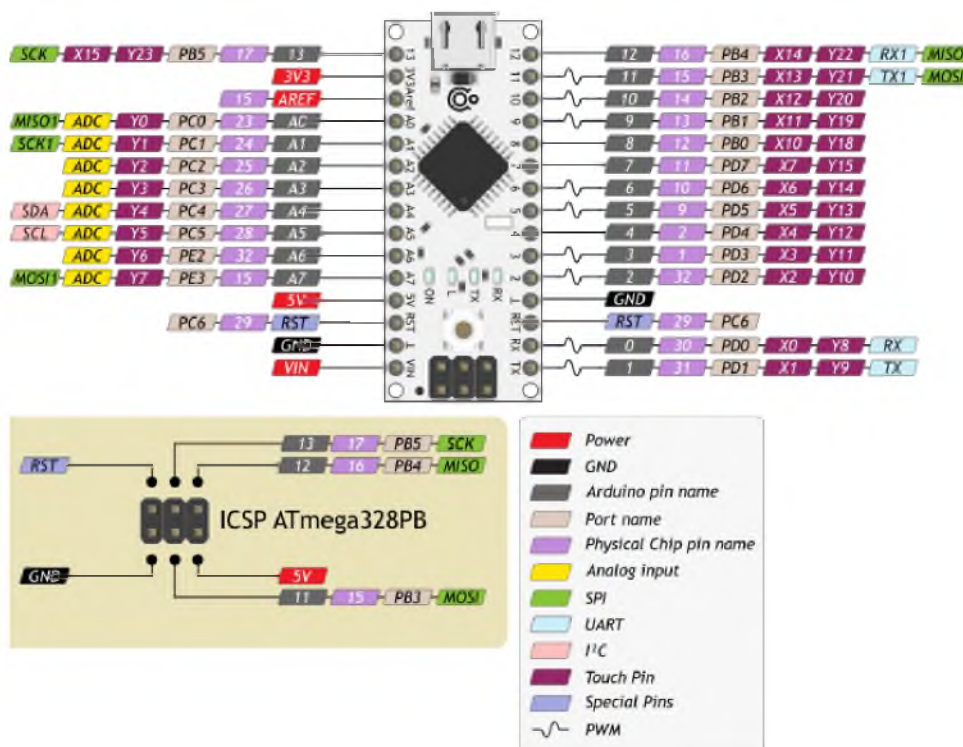


Рисунок 4. Распиновка Iskra NP

Описание используемых датчиков

Датчик КГР

Датчик КГР (кожно-гальванической реакции; рис. 5) или ЭАК (электрической активности кожи) использует методику Фере, определяя электропроводность или сопротивление кожи пользователя браслета по пропускаемому через неё току. Выходными значениями датчика является сопротивление кожи, которое измеряется в кОм, также можно использовать обратно пропорциональную сопротивлению величину - проводимость кожи, измеряемую в симменсах.



Рисунок 5. Датчик КГР

Таблица 3. Характеристики датчика КГР

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Рабочие напряжение	3.3 В / 5 В
2.	Чувствительность	Регулируется потенциометром
3.	Входной сигнал	Сопротивление, проводимость
4.	Выходной сигнал	Напряжение, аналоговое считывание
5.	Контактный материал с кожей	Никель

С точки зрения электронного обеспечения, более простой и дешевой является непосредственная регистрация сопротивления кожи пользователя браслета (разрабатываемое устройство), фиксируемого в Ом. Измерение ЭАК будет осуществляться по методике Фере с приложением внешнего тока (экзосоматический метод).

Полученные показания (рис. 6) с данного датчика, после первичной и вторичной обработки контроллерами устройства ими же передаются на управляющее ПО сервера предприятия для дальнейшей обработки.

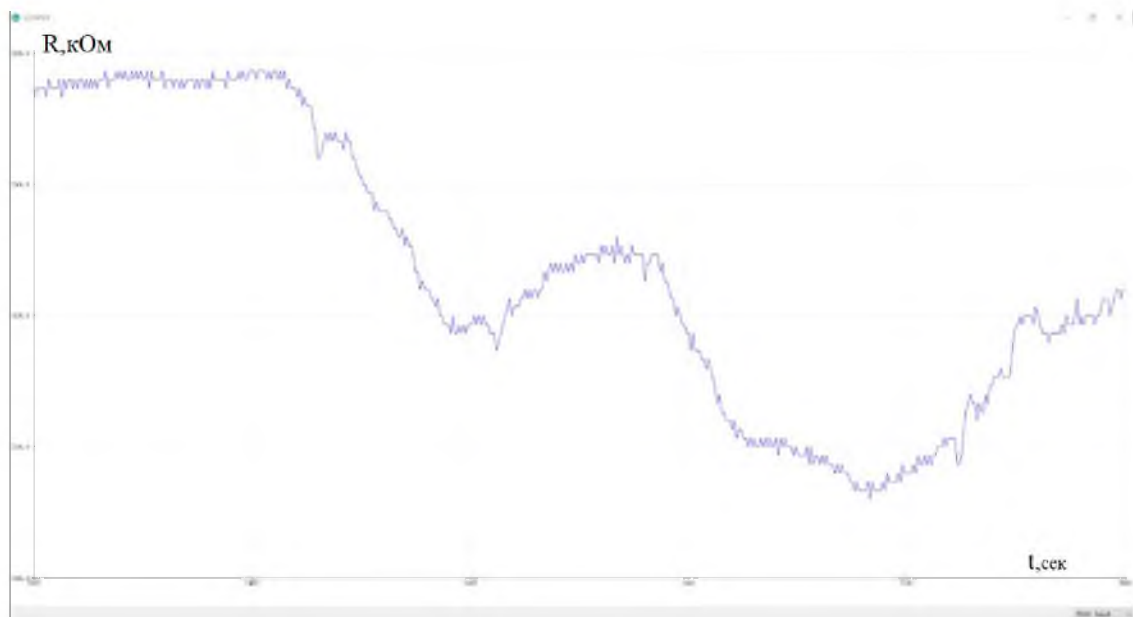


Рисунок 6. Регистрация КГР (графическое отображение)

IMU-сенсор на 10 степеней свободы (Тройка-модуль)

IMU-сенсор (Inertial measurement unit – инерционное измерительное устройство; рис. 7), позволяющее определить положение личного девайса индивида в пространстве. IMU-сенсор включает в себя: 1 – гироскоп (определяющий угловую скорость вокруг собственных осей X, Y, Z); 2 – акселерометр (определяющий ве-

личину ускорения свободного падения по осям X, Y, Z); 3 – компас (определяющий углы между собственными осями сенсора X, Y, Z и силовыми линиями магнитного поля Земли); 4 – барометр (определяющий атмосферное давление, высоту над уровнем моря) рисунок 9.

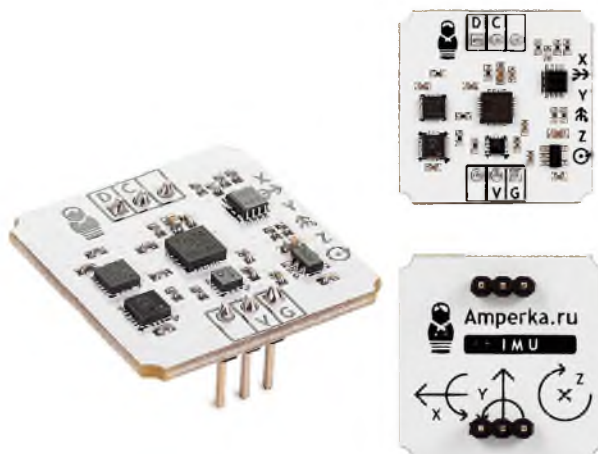
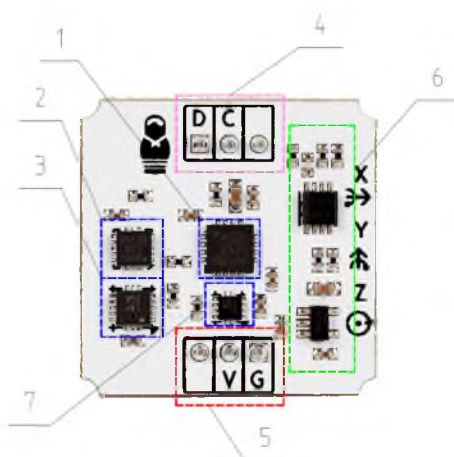


Рисунок 7. IMU-сенсор на 10 степеней свободы



1 – гироскоп на чипе L3G4200D; 2 – акселерометр на чипе LIS331DLH; 3 – барометр на чипе LPS331; 4 – контакты на шине I2C; 5 – контакты питания; 6 – обвязка для согласования уровней; 7 – компас на чипе LIS3MDL

Рисунок 8. Элементы платы IMU-сенсора

IMU-сенсор определяет ориентацию объекта в пространстве. Метод расчёта заключается в первичной обработке на микроконтроллере Iskra NP показаний датчиков акселерометра, гироскопа и компаса фильтром Маджвика, который рассчитывает положение объекта в пространстве с помощью кватернионов. Кватернионы более мощный, чем углы Эйлера инструмент для выполнения вычислений

по ориентации объекта в пространстве, но пока еще не обладающий достаточной наглядностью. Поэтому полученные кватернионы из фильтра библиотека преобразует в углы Эйлера.

В фильтре Маджвика реализовано два варианта определение ориентации объекта в пространстве.

Первый вариант применим к инерционным навигационным системам (ИНС), включающим акселерометр и гироскоп. При этом направлением на север пренебрегаем.

Второй вариант применим к ИНС, включающих дополнительно трёхосевой магнитометр.

В данном проекте IMU-сенсор используется для определения положения пользователя в пространстве, для измерения количества пройденных шагов и температуры окружающей среды и атмосферного давления. Основной задачей данного сенсора является определение нехарактерного, аварийного положения тела пользователя браслета (рис. 9) в пространстве во время работы, при помощи гироскопа и акселерометра.

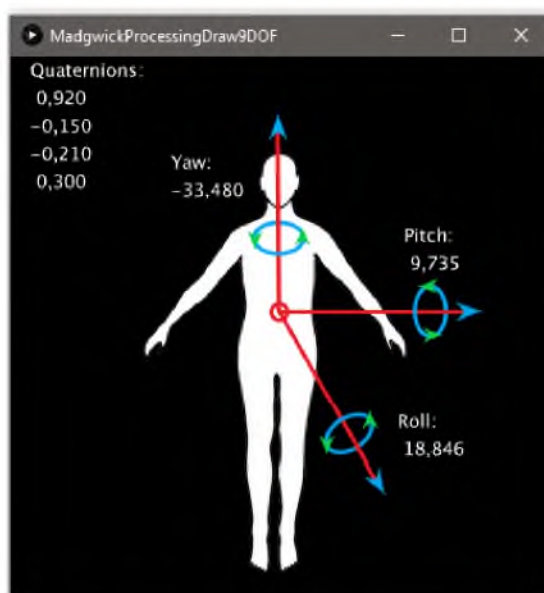


Рисунок 9. Графическое отображение IMU-сенсора

Элементы платы IMU-сенсора (Тройка-модуль).

Гироскоп на L3G4200D основан на чипе L3G4200D и представляет собой миниатюрный датчик перемещений в трёхмерном пространстве, выполненный по

технологии MEMS компании STMicroelectronics в корпусе LGA-16 (4x4x1.1 mm). Обмен данными гироскопа с управляющей электроникой осуществляется по протоколу I²C / TWI. Адрес устройства равен 0b1101000;

Акселерометр на LIS331DLH основан на чипе LIS331DLH и представляет собой миниатюрный датчик ускорения, выполненный по технологии MEMS компании STMicroelectronics в корпусе LGA 16 (3x3x1 мм). Обмен данными акселерометра с управляющей электроникой осуществляется по протоколу I²C / TWI. Адрес устройства равен 0b0011000;

Компас на LIS3MDL основан на чипе LIS3MDL и выполнен по технологии MEMS компании STMicroelectronics в корпусе LGA-12 (2.0x2.0x1.0 мм). Обмен данными компаса с управляющей электроникой осуществляется по протоколу I²C / TWI. Адрес устройства равен 0b0011100;

Барометр на LPS331 основан на чипе LPS331 и выполнен по технологии MEMS компании STMicroelectronics в корпусе HCLGA-16L (3 x 3 x 1 mm). Обмен данными барометра с управляющей электроникой осуществляется по протоколу I²C / TWI. Адрес устройства равен 0b1011100;

Обвязка для согласования уровней напряжения необходима для сопряжения устройств с разными питающими напряжениями. В указанном случае это управляющее устройство Arduino с 5 вольтовой логикой и модуль акселерометра LIS331DLH с 3,3 вольтовой логикой.

Таблица 4. Характеристики IMU-сенсора (Тройка-модуль)

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Напряжение питания	3,3 – 5 В
2.	Выходной интерфейс	I ² C
3.	Диапазон измерения	
4.	Гироскопа	±250/±500±2000 dps
5.	Акселерометра	±2g/±4g/±8g;
6.	Компаса	±4/±8/±12/±16 Гаусс
7.	Барометра	260... 1260 мбар
8.	Частота обновления сигнала	
9.	Гироскопа	100... 800 Гц
10.	Акселерометра	0.5... 1000 Гц
11.	Компаса	0.625... 80 Гц
12.	Барометра	1... 25 Гц
13.	Температурный диапазон	-40... +85 °C
14.	Габариты	25×25 мм

Датчик пульса

Датчик пульса (рис. 10) состоит из двух элементов: мощного светодиода и сенсора яркости. Пульсация крови вызывает изменение яркости отражённого кожей света, что и регистрирует сенсор.

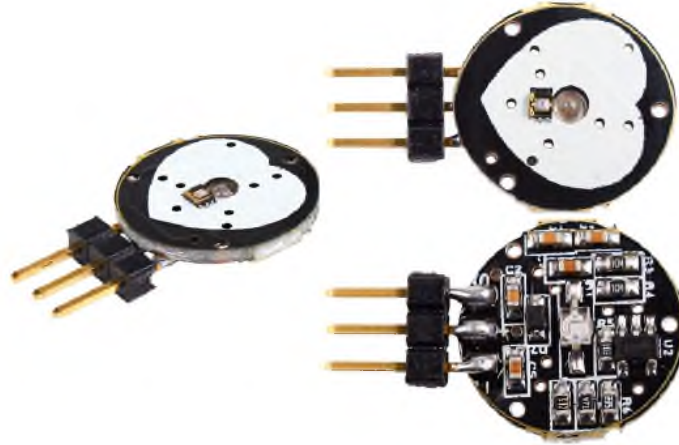


Рисунок 10. Датчик пульса

Датчик выдаёт аналоговый сигнал, встроенная электроника усиливает полезный сигнал и очищает его от помех, потом микроконтроллер Iskra NP проводит первичную обработку и передает значение далее, но уже в ударах за минуту (рис. 11).



Рисунок 5. Графическое отображение частоты пульса пользователя браслета при регистрации датчиком пульса

Таблица 5. Характеристики датчика пульса Iskra NP

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Напряжение питания датчика	3–5 В
2.	Диаметр датчика	16 мм

Аналоговый термометр (Тройка-модуль)

Аналоговый термометр (рис. 12) выполнен на основе микросхемы TMP36. Микросхема TMP36 от Analog Device представляет собой прецизионный низковольтный датчик температуры. Термометр работает в диапазоне температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. В проекте используется модуль для измерения температуры тела пользователя, что является комплексным показателем теплового состояния организма животных, включая человека. Является одним из основных и старейших биомаркеров.

С точки зрения психосоматики, повышение температуры — это психосоматическая реакция организма на стрессовые ситуации, т.е. температура способна подниматься в результате стресса, страха, лихорадки, при интенсивной умственной работе пользователя браслета (разрабатываемого устройства), что недопустимо во время рабочего процесса и может привести к аварийной ситуации на производстве.

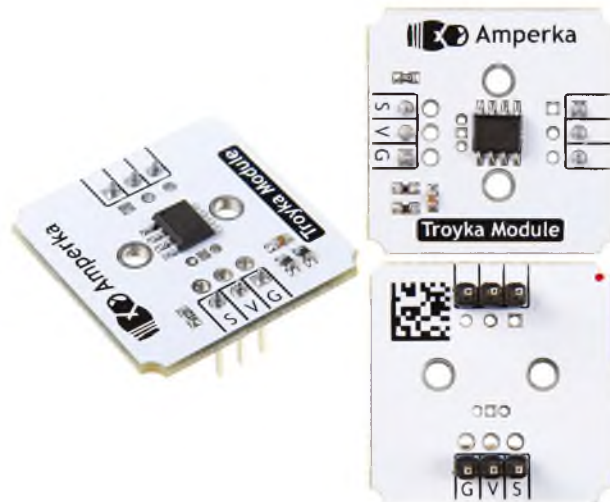


Рисунок 13. Аналоговый термометр (Тройка-модуль)

Таблица 6. Характеристики датчика пульса Iskra NP

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Точность	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на всём диапазоне измерения;
2.	Напряжение питания	от 2,7 В до 5,5 В
3.	Потребляемый ток	50 мкА
4.	Габариты	25,4×25,4 мм

Датчик выдаёт аналоговый сигнал, потом микроконтроллер Iskra NP проводит первичную обработку и передает значение далее, но уже в градусах Цельсия (рис. 13).



Рисунок 13. Графическое отображение температуры тела пользователя браслета при регистрации аналоговым термометром (Троука-модуль)

GPS/GLONASS приёмник (Троука-модуль)

Приемник GPS/GLONASS (рис. 15) принимает сигналы спутников глобального позиционирования – GPS, GLONASS и Galileo – и рассчитывает свои географические координаты, скорость перемещения, высоту над уровнем моря и точное локальное время. Данные передаются на управляющую электронику в текстовом формате NMEA.

В проекте данный модуль используется для вычисления относительно точного местоположения пользователя браслета (разрабатываемого устройства) на территории производства (рис. 14). Сведения, полученные с данного модуля можно использовать для сбора статистических данных перемещения пользователя, а также в процессе дальнейшей обработки накопленного массива информации для получения возможности увеличения эффективности рабочего процесса посредством оптимизации траектории передвижения пользователя во время его передвижения. Также данные о местоположение можно использовать как косвенную

систему наблюдения за персоналом производства (рис. 14). Во время аварии психофизиологические данные рабочего с разрабатываемого устройства могут помочь в локализации основных очагов чрезвычайного происшествия, разработке плана по своевременному оказанию необходимых мероприятий в зависимости от тяжести состояния пользователя браслета, а информация о местоположении пострадавшего сократит время подхода служб по ликвидации ЧП и внештатной ситуации.

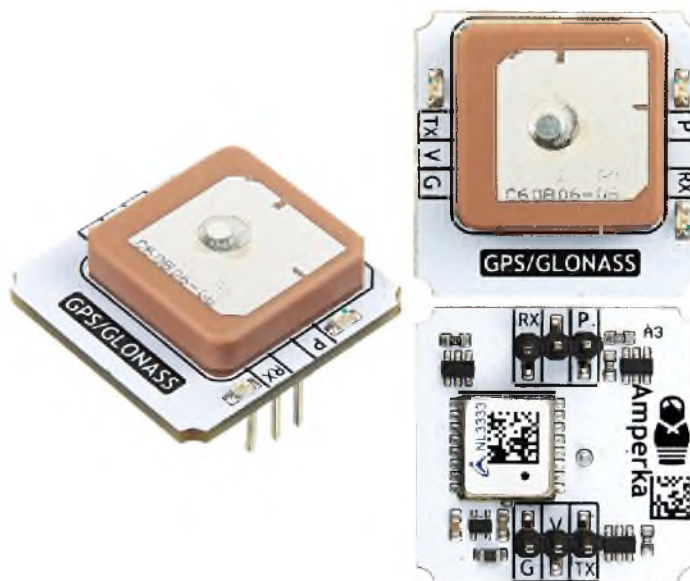


Рисунок 14. GPS/GLONASS приёмник (Тройка-модуль)

Исходящие сообщения NMEA

Данные с GPS-модуля передаются на управляющую электронику в текстовом формате NMEA (рис. 15) и состоят из последовательного набора данных, разделенных запятыми. Каждое NMEA сообщение начинается с \$, а заканчивается \n (перевод строки) и не может быть длиннее 80 символов.

Список сообщений NMEA:

AAM – прибытие в путевую точку

ALM – данные альманаха

APA – данные автопилота «А»

APB – данные автопилота «В»

BOD – азимут на пункт назначения

DTM – используемый датум

GGA – информация о фиксированном решении

GLL – данные широты и долготы

GSA – общая информация о спутниках

GSV – детальная информация о спутниках

MSK – передача управлению базовому приемнику

MSS – статус базового приемника

RMA – рекомендованный набор данных системы «Loran»

RMB – рекомендованный набор навигационных GPS данных

RMC – рекомендованный минимальный набор GPS данных

RTE – маршрутная информация VTG – Вектор движения и скорости

WCV – данные скорости вблизи путевой точки

WPL – данные путевой точки

XTC – ошибка отклонения от трека

XTE – измеренная ошибка отклонения от трека

ZTG – UTC время и оставшееся время до прибытия в точку назначения

ZDA – дата и время.

Некоторые из NMEA сообщений могут содержать одинаковые поля данных, либо полностью содержать данные других, меньших по размеру, NMEA сообщений.

Содержание NMEA сообщений:

GGA - информация о фиксированном решении. Самое популярное и наиболее используемое NMEA сообщение с информацией о текущем фиксированном решении – горизонтальные координаты, значение высоты, количество используемых спутников и тип решения.

RMC — рекомендованный минимальный набор GPS данных. Это NMEA сообщение содержит весь набор, так называемых, «PVT» данных. «PVT» — общепринятое сокращение от «position, velocity, time» (позиция, скорость, время).

Преобразователь логических уровней (рис. 17) обеспечивает сопряжения устройств с разными напряжениями логических уровней.

Светодиодная индикация (рис. 17):

RX и TX - Мигают при обмене данными между GPS/GLONASS модулем и управляющим устройством.

P - Индикатор приёма спутниковых сигналов. Мигает если GPS-модуль «нашёл себя».

Таблица 7. Характеристики платы GPS/GLONASS приёмника (Тройка-модуль)

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Модуль	NL3333
2.	Рабочее напряжение	3,3–5 В
3.	Потребляемый ток	
4.	Поиск	22 мА
5.	Слежение	18 мА
6.	TTFF (время до определения координат)	
7.	горячий старт	1 с
8.	холодный старт	25 с
9.	Рабочие частоты	
10.	GPS L1	1575.42 МГц;
11.	GLONASS L1	1598.0625–1605.375 МГц
12.	GALILEO E1	1575.42 МГц
13.	Габариты	25,4×25,4 мм



Рисунок 17. Графическое отображение геолокации пользователя браслета, при регистрации GPS/GLONASS приёмником (Тройка-модуль)

OLED-дисплей (Тройка-модуль)

Использование в проекте данного OLED-дисплея (рис. 18) позволит выводить данные с датчиков и сенсоров, дополнительную информацию (время и дату, состояние батареи устройства и др.), экстренные оповещения при прохождении предела допустимого значения одного из показателя психофизиологического состояния пользователя, как непосредственно с браслета при скачкообразном изменении показателей, так и с управлявшего ПО на сервере предприятия при постепенном изменении, но не статистически характерного для данного пользователя.

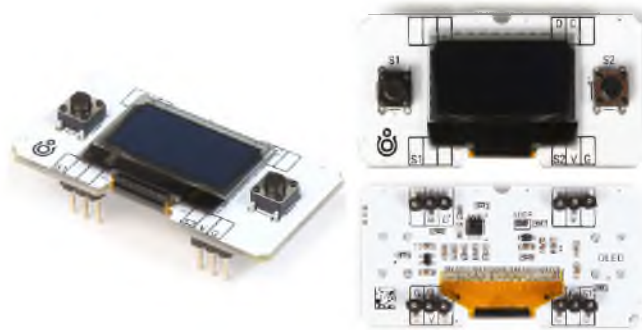


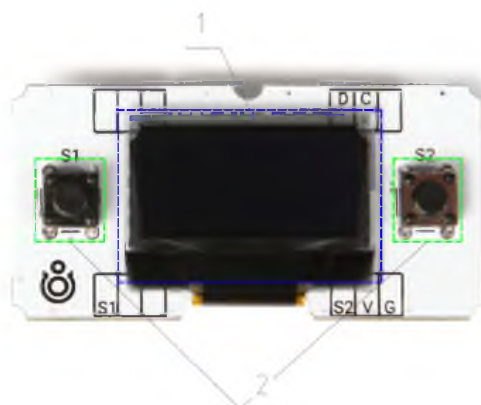
Рисунок 18. OLED-дисплей (Тройка-модуль)

Дисплей является одним из трех модулей в разрабатываемом устройстве который позволит организовать непосредственно обратную связь с ответственными за безопасность и противодействию аварий из-за человеческого фактора на производстве.

Элементы платы:

OLED-дисплей (рис. 19). Дисплей модуля выполнен по технологии OLED с разрешением 128×64 . Методика OLED (organic light-emitting diode) представляет собой матрицу точек, где каждый пиксель является отдельным светодиодом. Благодаря таким светящимся пикселям OLED-дисплей обладает высокой контрастностью, углом обзора более 160° и не нуждается в подсветке;

Пользовательские кнопки (рис. 19). На модуле по бокам расположены две тактовых кнопки S1 и S2. Пока кнопка отпущена на сигнальном пине S присутствует логическая единица, а при нажатии на кнопку — логический ноль.



1 – OLED дисплей; 2 – Пользовательские кнопки

Рисунок 19. Элементы платы OLED-дисплея (Тройка-модуль)

Таблица 8. Характеристики OLED-дисплей (Тройка-модуль)

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Диагональ	0,96 дюйма
2.	Разрешение	128×64
3.	Технология	OLED (Organic Light Emitting Diode)
4.	Драйвера матрицы	SSD1306;
5.	Цвет	монохромный
6.	Угол обзора	более 160°
7.	Напряжение питания	3.3–5 В
8.	Интерфейс	I ² C
9.	Адрес модуля	0x3C (по умолчанию) / 0x3D
10.	Дополнительно	две пользовательских кнопки
11.	Габариты	50,8×25,4 мм

Наличие в дисплее двух тактовых кнопок позволит организовать много экранный интерфейс, что гарантирует вывод на дисплей большего количества информации с датчиков и сенсоров, а также вспомогательной информации при более компактном размещении деталей интерфейса (рис. 20).



Рисунок 20. Визуальный интерфейс, выведенный на OLED-дисплей устройства

Зуммер (Тройка-модуль).

Использование зуммера (рис. 21) (пьезодинамика) в этом проекте позволит организовать обратную связь с пользователем посредством аудио оповещения.



Рисунок 21. Зуммер (Тройка-модуль)

Таблица 9. Характеристики зуммера (Тройка-модуль)

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Номинальная частота	4 кГц
2.	Интенсивность	80 дБ
3.	Номинальное рабочее напряжение	5 В
4.	Габариты	25,4×25,4 мм

Зуммер, как и дисплей в устройстве, является способом информирования о безопасности и предупреждением об авариях, связанных с человеческим фактором на производстве и позволяет через тоже устройство уведомить пользователя браслета

Вибромотор

Использование вибромотора (рис. 22) позволит расширить возможность устройства по оповещению пользователя, в том числе, и вовремя ЧП, посредством тактильного воздействия (вибрации).



Рисунок 23. Вибромотор

Таблица 10. Характеристики вибромотора

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Напряжение питания	от 1.5 В до 3.5 В
2.	Диаметр	10 мм
3.	Высота	2.7 мм

Использование в конструкции устройства вибромотора, зуммера и дисплея, продиктовано потребностью в создании двусторонней связи между пользователем и ответственными за безопасность и противодействию аварий из-за человеческого фактора. Обратная связь имеет вид: устройство - пользователь и управляющее ПО на сервере предприятия - устройство - пользователь, кроме того обратная связь может работать и в и в реверсном режиме: пользователь-устройство-управляющее ПО на сервере, что позволит сократить время для реагирования на ЧП или внештатную ситуацию, когда пользователь с устройством не является непосредственно участник, а выступает лишь наблюдатель.

Сборка Дарлингтона ULN2003A.

Микросхема ULN2003A (рис. 23 представляет собой сборку из семи независимых транзисторных пар Дарлингтона, размещенных в одном корпусе. Пара Дарлингтона состоит из каскада двух биполярных транзисторов. Широкое применение микросхемы ULN2003 нашло в схемах управления широким спектром нагрузок в качестве релейных драйверов, драйверов дисплея, линейных драйверов и т. д. Кроме того, ULN2003 также используется в драйверах шаговых двигателей.

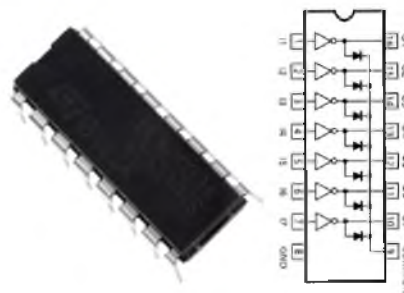


Рисунок 23. Сборка Дарлингтона ULN2003A

В конструкции устройства применение данной микросхемы обусловлено необходимостью работы датчиков и сенсоров с определенной, задаваемой периодичностью. Так как у микроконтроллеров WL32 и Iskra NP пины для подачи пи-

тания работают постоянно при активном микроконтроллере, подключение датчиков, сенсоров и других электрических элементов с периодическим включением во время рабочего цикла устройства, напрямую, является не рациональным с точки зрения энергоэффективности и целесообразности. Используемая микросхема ULN2003A, в технологическом смысле, используется в устройстве, как электронный ключ по управлению нагрузкой вышеупомянутых элементов, при этом ее управление осуществляется от этих же микроконтроллеров.

Таблица 11. Характеристики сборки Дарлингтона ULN2003A

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Управляющее напряжение	5 В
2.	Максимальное выходное напряжение	50 В
3.	Максимальный выходной ток	500 мА на канал

Преобразователь логики 3.3V-5V на 4 канала (транзисторный)

Высокоскоростной преобразователь логических уровней 3.3V - 5V и 5V – 3.3V на основе транзисторов (рис. 24).



Рисунок 24. Преобразователь логики 3.3V-5V на 4 канала

В структуре разрабатываемого устройства данный элемент выполняет роль связующего моста между контроллерами WL32 и Iskra NP, в связи с тем, что два этих контроллера работают на разных логических уровнях. Контроллер WL32 работает с логикой 3.3V, а Iskra NP с логикой 5V. Так как контроллеры WL32 и Iskra NP работают в тандеме в данном проекте, появилось необходимость использования преобразователя логики как с 3.3V до 5V, так и с 5V до 3.3V из-за двусторонней связи этих контроллеров.

Таблица 12. Характеристики преобразователя логики 3.3V-5V на 4 канала

№ п/п	Название параметров	Характеристика
1.	Преобразователь двухсторонний	Поддерживает I2C, UART, SPI;
2.	Имеет 4 пина с каждой стороны	Предназначенных для логических входов/выходов
3.	Имеет по 2 пина с каждой стороны	Предназначенных на землю и питание.

Элемент питания

Использование в устройстве элемента питания обусловлено его спецификой в связи с тем, что устройство является персональной системой по наблюдению за психофизиологическим состоянием пользователя в режиме реального времени в условиях выполнения рабочего процесса, что накладывает отпечаток на техническое исполнение разрабатываемого устройства. Наблюдение за психофизиологическим состоянием пользователя (работника производства) в режиме реального времени во время при исполнении им трудовых обязанностей обуславливает некую мобильность устройства, т.е. оно должно быть в непосредственной близости с объектом наблюдения в течение всего рабочего процесса.

Элемент питания позволяет задействовать два контроллера устройства одновременно, а они уже питают все остальные элементы устройства. В качестве элемента питания в конструкции устройства используется Power bank с двумя выходами Usb, для одновременного обеспечения электроэнергией контроллеров WL32 и Iskra NP. Объем портативного зарядного устройства составляет 5000 mAh (рис. 25).



Рисунок 25. Элемент питания

Браслет/манжета

В качестве браслета/манжеты на данном этапе разработки устройства (прототип) используется текстильная застежка (рис. 26), которая представляет собой пару лент, на одной из которых размещены микрокрючки, на другой - микропетли. При соприкосновении двух лент микрокрючки цепляются за микропетли и обеспечивают их надежное удержание, «прилипают» одна к другой. Не симмет-

ричное расположение этих лент позволяет обернуть вокруг запястья пользователя и застегнуть текстильную застежку на которой находятся датчики: пульсометр, датчик КГР, аналоговый термометр и вибромотор.



Рисунок 26. Браслет/манжета

После апробирования прототипа устройства в эксплуатационном режиме планируется текстильную застежку заменить на более подходящий материал, в частности, на силиконовый браслет, специально спроектированный для данного устройства.

Приложение Ж1. Акт внедрения на ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №12

**ФИЛИАЛ №12
ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВНЕШТОРГСЕРВИС»**

Луганская Народная Республика, 94202, г. Алчевск, ул. Шмидта, д.4



Утверждаю:

Первый заместитель управляющего
филиалом – Главный инженер
Филиала №12 ЗАО «Внешторгсервис»
Мокрицкий М. И.

“ 08 ” 2020 г.

АКТ

внедрения автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования, системы мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами и носимого индивидуального устройства, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов»

Комиссия в составе:

Председатель комиссии:

– начальник кислородно-конвертерного цеха Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Лигус Николай Николаевич.

Члены комиссии:

– начальник управления охраны труда и промышленной безопасности Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Покутний Александр Васильевич,

– начальник службы охраны труда Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Изотов Сергей Александрович,

– начальник службы экологической безопасности и производственной санитарии Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Краснонос Николай Николаевич,

– начальник отдела медицинского обслуживания Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Бендюкова Линиана Николаевна,

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов», а именно: разработанная автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования; разработанная

Ученый секретарь
диссертационного совета

201.019.03

И. - Д.В. Яковченко

компьютерная программа расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617723 «Компьютерная программа для расчетов надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли»); разработанная система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 Российская Федерация) внедрены на участке непрерывной разливки стали, кислородно-конвертерного цеха.

Автоматизированная система позволяет накапливать и хранить данные о сработках на отказ всех элементов машин и механизмов, предупреждает на базе статистической теории надежности и экстраполяции закономерностей развития о скором выходе из строя их элементов.

Внедренная автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования, система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами и носимое индивидуальное устройство, решает имеющее важное хозяйственное значение научно-техническую проблему развития научных основ обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, совершенствование автоматизированной системы прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора, предупреждение нештатных и аварийных ситуаций на предприятиях.

Внедрение результатов диссертационной работы позволило увеличить безотказность машины непрерывного литья заготовок №1 на 21,81%.

Начальник

Кислородно-конвертерного цеха
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Лигус Н.Н.

Начальник управления охраны
труда и промышленной безопасности
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Покутний А. В.

Начальник службы охраны труда
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Изотов С. А.

Начальник службы экологической
безопасности и производственной
санитарии

Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Краснонос Н. Н.

Начальник отдела медицинского
Обслуживания
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Бендюкова Л. Н.

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

201.019.03

— А.В. Яковченко

Приложение Ж2. Акт о проведении производственных испытаний
ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №12

ФИЛИАЛ №12
ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВНЕШТОРГСЕРВИС»

Луганская Народная Республика, 94202, г. Алчевск, ул. Шмидта, д.4

Утверждаю:

Первый заместитель управляющего
филиалом – Главный инженер

Филиала №12 ЗАО «Внешторгсервис»
Мокрицкий М. И.

« 31 » 08 2020 г.



АКТ

о проведении производственных испытаний системы мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов»

Комиссия в составе: начальника кислородно-конвертерного цеха Филиала №12 ЗАО «Внешторгсервис» Н.Н. Лигуса, начальника управления охраны труда и промышленной безопасности А.В. Покутного, начальника службы охраны труда С.А. Изотова, начальника службы экологической безопасности и производственной санитарии Н.Н. Красноноса, начальника отдела медицинского обслуживания Л.Н. Бендюковой, доцента кафедры «Машин металлургического комплекса» ГОУ ВПО «ДонГТУ», к.т.н., доц. В.А. Козачишена составила настоящий акт о проведении испытаний носимого устройства и работы программы «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами» в условиях участка непрерывной разливки стали кислородно-конвертерного цеха.

Под наблюдением комиссии проводились данные исследования в период с 07.01.19 по 20.12.19. Результаты психофизиологического состояния операторов

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

Ж.О. 019.03



А.В. Яковченко

ров машины непрерывного литья заготовок снимались в реальном времени при помощи разработанного носимого устройства (разработчики: к.т.н., доц. Вишнеvский Д.А. – ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», г. Алчевск; к.т.н., проф. Жильцов А.П. – ГОУ ВПО РФ «ЛГТУ», г. Липецк; аспирант Сахаров Б.А. – ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», г. Алчевск) и фиксировались при помощи программного продукта «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 Российская Федерация). При изменении психофизиологических показателей, выходящих за верхний или нижний пороги, программа сообщала наблюдателю и выдавала рекомендации. Были замечены случаи скачков кожно-гальванической реакции (КГР), пульса, температуры тела операторов (см. таб.).

Таблица. Фиксация завышенных психофизиологических параметров тестируемых

№ п/п	Причины временного отстранения от выполняемой работы	Количество отстранений
1.	Завышенный показатель КГР перед началом работы	5
2.	Завышенный пульс перед началом работы	3
3.	Повышенная температура перед работой	4
4.	Завышенный показатель КГР во время работы	3
5.	Завышенный пульс во время работы	5
6.	Повышенная температура во время работы	3
Итого		23

Собранная статистика отказов машины непрерывного литья заготовок показала: в 2018 году – отказов 133, простоев 1032 часов; в 2019 году - отказов 88, простоев 710 часов.

Использование данной системы дало положительный результат, снижение простоев машины на 322 часа и повышение безотказности машины на 28,81%.

Комиссия считает целесообразным использовать разработанное носимое устройство совместно с программным продуктом «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами», разработанные в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов».

Начальник
Кислородно-конвертерного цеха
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Лигус Н.Н.

Начальник управления охраны
труда и промышленной безопасности
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Покутний А.В.

Начальник службы охраны труда
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Изотов С.А.

Начальник службы экологической
безопасности и производственной
санитарии
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Краснонос Н.Н.

Начальник отдела медицинского
Обслуживания
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»

Бендюкова Л.Н.

Доцент кафедры ММК,
к.т.н., доцент,
ГОУ ВПО «ДонГТУ»

Козачишен В.А.

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

201.01903



А.В. Покутний

Приложение ЖЗ. Расчет фактического экономического эффекта
 ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №12

ФИЛИАЛ №12
ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВНЕШТОРГСЕРВИС»

Луганская Народная Республика, 94202, г. Алчевск, ул. Шмидта, д.4

Утверждаю:

Первый заместитель управляющего
 филиалом – Главный инженер
 Филиала №12 ЗАО «Внешторгсервис»
 Мокрицкий М. И.
 31 08 2020 г.



РАСЧЕТ

фактического экономического эффекта от внедрения системы мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами и носимого индивидуального устройства, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов»

Внедренная, система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами и носимого индивидуального устройства, разработанная в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов», повышает показатели безотказности и ремонтпригодности металлургических машин и механизмов, а именно машины непрерывной разливки стали №1, в условиях участка непрерывной разливки стали кислородно-конвертерного цеха ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» Филиала №12

Расчеты фактического экономического эффекта, от внедрения предложенных разработок, выполнены в соответствии с методическими рекомендациями по определению прибыли от использования объектов

Ученый секретарь
 диссертационного совета



201 019 03

А.В. Яковлев

промышленной собственности» (газета «Світ», №33, сентябрь 1998, стр. 3-4), утвержденными Госпатентом Украины 26.08.1998 г.

При внедрении системы мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами сокращается число простоев МНЛЗ № 1 на 322 часа в год. Рассчитаем дополнительный объем выпуска слябовой заготовки по формуле:

$$Q_d = \Delta T \cdot P_s;$$

где $\Delta T = 322$ – сокращение числа простоев МНЛЗ № 1, ч.;

$P_s = 300$ – среднечасовая производительность МНЛЗ № 1, т/ч.

$$Q_d = 322 \cdot 300 = 96600 \text{ т}$$

Рассчитаем плановый годовой объем выпуска продукции Q_{pl} по формуле:

$$Q_{pl} = Q_b + Q_d;$$

где Q_b – объем выпуска продукции в базовом году, т.

За базовый период принимаем фактический объем выпуска продукции в 2018 г., который составляет 1200000 т.

$$Q_{pl} = 1200000 + 96600 = 1296600 \text{ т}$$

Для расчета плановой себестоимости одной тонны слябовой заготовки необходимо определить индекс роста объема выпуска продукции по формуле:

$$k = \frac{Q_{pl}}{Q_b}$$

где Q_b – фактический объем выпускаемой продукции в 2018 г., т.

$$k = \frac{1296600}{1200000} = 1,08$$

Фактическая себестоимость одной тонны слябовой заготовки составляет $C_f = 22250$ руб. При увеличении объема производства слябовой заготовки до 1296600 т. в год, плановая себестоимость снизится до 20655,25 руб. Это обусловлено снижением условно-постоянных затрат, доля которых, в структуре себестоимости составляет 96,2%.

Для обеспечения работы «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли

программными средствами» необходимо создать отдел контроля психофизиологического состояния оператора с общей численностью 5 человек, в том числе: начальник отдела с окладом 15000 руб./ мес. и четыре мастера с окладом 13500 руб./ мес.

Фонд оплаты труда включает: оклад, доплату за работу в вечернее и ночное время, праздничные дни и составляет $\Phi_{\text{зн}} = 108000$ руб. в год.

В соответствии с указанными методическими рекомендациями (раздел III, п.6) применительно к случаю усовершенствования производства экономический эффект (или прирост прибыли) определяется в соответствии с формулой

$$\mathcal{E} = [(C_{\text{б}} - C_{\text{н}}) + E_{\text{н}}(K_{\text{н.б.}} - K_{\text{н.н.}})]B_{\text{н}} \quad (1)$$

где \mathcal{E} – экономический эффект, руб.;

$C_{\text{б}}(C_{\text{б}})$ и $C_{\text{н}}(C_{\text{н}})$ – себестоимость (цена) единицы изделия соответственно при базовом и новом производстве, руб.;

$K_{\text{н.б.}}$ и $K_{\text{н.н.}}$ – удельные (на единицу изделия) капитальные вложения соответственно в базовом и расчетном периодах, руб./на т. ед. продукции;

$E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (норма дисконта);

$B_{\text{н}}$ – производительность нового технического процесса в расчетном периоде, нат. ед. продукции (штуки, тонны и т.д.).

Реализация внедрения системы «Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами» потребовала капитальных вложений, которые были инвестированы в проведение работ по наладке и запуску системы мониторинга психофизиологических параметров оператора МНЛЗ.

Суммарные разовые инвестиции (затраты) в период отработки и освоения системы мониторинга операторов МНЛЗ составили 880000,00 руб. В этом случае, в соответствии с разделом II приложения к методическим рекомендациям, удельные капитальные вложения на единицу продукции определяются по формуле

$$K = \frac{K_{\text{с}}}{A}$$

где K – удельные капитальные вложения на единицу продукции, руб. / нат. ед. продукции;

K_e – разовые капитальные вложения, руб.;

A – объем производства продукции в рассматриваемом году, нат. ед. продукции.

В соответствии с методическими рекомендациями величина A регламентируется календарным годом. С учетом этого на МНЛЗ объем производства продукции составил $A = 1296600$ т слябовой заготовки.

Тогда

$$K = \frac{K_e}{A} = \frac{880000}{1296600} = 0,678 \text{ руб./т.}$$

Экономический эффект (дополнительная прибыль) от сокращения простоев МНЛЗ №1 за счет снижения количества выходов из строя машины

Использование системы мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами оператора МНЛЗ позволило снизить простои оборудования на 322 часа в год.

В этом случае, экономический эффект согласно формуле (1) составил:

$$\mathcal{E}_1 = [(22250 - 20655,25) + 0,15(0 - 0,678)]96600 = 154043025,78 \text{ руб.}$$

где 22250 – средняя себестоимость 1 т. слябовой заготовки, руб.;

20655,25 – плановая себестоимость 1 т. слябовой заготовки, руб. после внедрения системы мониторинга, руб.

0,15 – нормативный коэффициент;

96600 – увеличение объёма производства слябовой заготовки после внедрения системы мониторинга, т.

Фактический экономический эффект с учетом затрат на создание отдел контроля психофизиологического состояния оператора определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \Phi_{зн};$$

$$\mathcal{E} = 154043025,78 - 108000 = 153935025,78 \text{ руб.}$$

Таким образом, фактический экономический эффект за отчетный период (07.01.2019 - 20.12.2019) в результате внедрения системы мониторинга психофизиологического состояния оператора

металлургической отрасли программными средствами и носимого индивидуального устройства, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов» составил 153935025,78 руб. Долевое участие Вишневого Д.А. в фактическом экономическом эффекте составляет 35% или 53877259,023 руб.

Начальник
Кислородно-конвертерного цеха
Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис»



Лигус Н.Н.

От ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский
государственный технический университет»:
Зав. кафедрой «Экономики и управления»
профессор, д.э.н.



Коваленко Н.В.

От ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский
государственный технический университет»:
Профессор кафедры «Машин
металлургического комплекса» д.т.н.



Харламов Ю.А.

Соответствует оригиналу
ученый секретарь
диссертационного комитета

201.019.03



— Д.В. Яковченко

Приложение Ж4. Акт внедрения на ЗАО «Внешторгсервис» Филиала №2

**ФИЛИАЛ №2
ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВНЕШТОРГСЕРВИС»**

Донецкая Народная Республика, 86429, г. Енакиево, пр. Metallургов 9



Утверждаю:

И.о. главного инженера

Зубенко А.В.

2021 г.

внедрения автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования, компьютерной программы расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов»

Комиссия в составе:

Председатель комиссии:

– начальник конвертерного цеха Секинаев Алан Александрович

Члены комиссии:

– заместитель начальника конвертерного цеха по производству Шишко

Сергей Олегович,

– и.о. начальника отдела охраны труда и промышленной безопасности

Миронова Светлана Юрьевна,

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов», а именно: разработанная автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования; разработанная компьютерная программа расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617723 «Компьютерная программа для расчетов надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли»); разработанная система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 Российская Федерация) внедрены на участке непрерывной разливки стали, конвертерного цеха.

Соответствует оригиналу

Ученый секретарь

диссертационного совета

2021.01.19 03

Автоматизированная система позволяет накапливать и хранить данные наработок на отказ всех элементов машин и механизмов, предупреждает на базе статистической теории надежности и экстраполяции закономерностей развития о скором выходе из строя их элементов.

Программный продукт в автоматизированном режиме выполняет оценку состояния машин и механизмов, устанавливает их остаточный ресурс работы, что позволяет усовершенствовать систему технического обслуживания и ремонта путем численного моделирования наработок технических объектов на отказ, причём с учетом влияния вредных и опасных производственных факторов, и безошибочного выполнения работником функциональных действий.

Внедренная автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования и компьютерная программа расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска, решают имеющее важное хозяйственное значение научно-техническую проблему развития научных основ обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, предупреждение нештатных и аварийных ситуаций на предприятиях.

Начальник конвертерного цеха

А.А.Секинаев

Заместитель начальника конвертерного цеха
по производству

С.О. Шишко

И.о. начальника отдела охраны труда и
промышленной безопасности

С. Ю. Миронова

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

201.019.03



И. В. Яковченко

Приложение Ж5. Акт внедрения на ООО «ЛУГАМАШ»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
ООО «ЛУГАМАШ»
(г. Луганск)



_____ Мартыненко А.Б.

_____ 09 _____ 2021 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ ВНЕДРЕНИЯ

системы мониторинга психофизиологического состояния оператора программными средствами и носимого индивидуального устройства, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов»

Комиссия в составе:

- заместитель главного инженера – начальник технического отдела ООО «ЛУГАМАШ» Чаков Александр Валерьевич;
- и.о. главного инженера ООО «ЛУГАМАШ» Иващенко Роман Викторович

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Вишневого Д. А. на соискание ученой степени доктора технических наук «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов» а именно: разработанная система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 Российская Федерация) а также разработанное носимое индивидуальное устройство, внедрены в обществе с ограниченной ответственностью ООО «ЛУГАМАШ» на производственных участках.

Разработанная система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургических машин и механизмов на основе индивидуального устройства для снятия психофизиологических показателей и определения местонахождения работника в режиме реального времени, а также программного комплекса для ведения обработки и анализа информации по всем работникам, позволяет предупредить нештатные и аварийные ситуации путем временного или полного отстранения работника от выполнения ~~дожностных обязанностей~~ Также предложена

Сотвествует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета



Ж 01 01903

А.Б. Иващенко

классификация психофизиологических состояний человека в режиме реального времени (на базе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства), которая включает следующие пункты: «отсутствие усталости» – допуск к работе; «незначительная усталость» – допуск к работе с ограничением; «существенная усталость» – временное отстранение от работы; «критическое поведение во время работы» – полное отстранение от работы; «недопустимое психофизиологическое состояние» – недопуск к работе.

Внедренная система мониторинга психофизиологического состояния решают имеющее важное хозяйственное значение научно-техническую проблему развития научных основ обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, совершенствование автоматизированной системы прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора.

Заместитель главного инженера –
начальник технического отдела
ООО «ЛУГАМАШ»

Мам

А.В. Чаков

И.о. главного инженера
ООО «ЛУГАМАШ»

[Handwritten signature]

Р.В. Иващенко

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

201.019 03



Приложение Ж6. Акт внедрения на ЧАО «Лугцентрокуз» им. С.С. Момятовского

УТВЕРЖДАЮ:

Технический директор
ЧАО «Лугцентрокуз»
им. С.С. Момятовского



Курсенко А.Л.

2021 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ ВНЕДРЕНИЯ

автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования, компьютерной программы расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук **ВИШНЕВСКОГО Дмитрия Александровича** «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов»

Комиссия в составе:

- начальник испытательного центра – главный метролог ЧАО «Лугцентрокуз» Лупенко Павел Александрович;
- инженер-технолог ЧАО «Лугцентрокуз», кандидат технических наук Георгиаду Мария Викторовна

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Вишневского Д.А. на соискание ученой степени доктора технических наук «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов» а именно: автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования; разработанная компьютерная программа расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617723) внедрены в частном акционерном обществе «Лугцентрокуз» на производственных участках.

Автоматизированная система позволяет накапливать и хранить данные наработок на отказ всех элементов машин и механизмов, предупреждает, на

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь



базе статистической теории надежности и экстраполяции закономерностей развития, о скором выходе из строя их элементов.

Внедренная автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования решает, имеющие важное хозяйственное значение, научно-технические проблемы развития научных основ обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, предупреждения нештатных и аварийных ситуаций на предприятиях.

Начальник испытательного центра –
главный метролог
ЧАО «Лугцентрокуз»

П.А. Луценко

Инженер-технолог
ЧАО «Лугцентрокуз»,
кандидат технических наук

М.В. Георгиаду

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

201.019.03



А.В. Шевченко

Приложение Ж7. Акт внедрения на ЧАО «НПЦ «Трансмаш»

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

ЧАО «НПЦ «Трансмаш»



С.А. Демьяненко

01 2021 г.

внедрения автоматизированной системы прогнозирования отказов оборудования, компьютерной программы расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли, разработанных в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов»

Комиссия в составе:

- директор по качеству ЧАО «НПЦ «Трансмаш» Смажник Олег Викторович;
- директор по производству продукции ЧАО «НПЦ «Трансмаш» Дубина Марина Александровна

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Вишневого Д. А. на соискание ученой степени доктора технических наук «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов», а именно: автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования, программное обеспечение «Компьютерная программа расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617723) внедрены в частном акционерном обществе «Научно-производственный центр «ТРАНСМАШ» на производственных участках.

Автоматизированная система позволяет накапливать и хранить данные наработок на отказ всех элементов машин и механизмов, предупреждает на базе статистической теории надежности и экстраполяции закономерностей развития о скором выходе из строя их элементов.

Программный продукт в автоматизированном режиме выполняет оценку состояния машин и механизмов, устанавливает их остаточный ресурс работы, что позволяет усовершенствовать систему технического обслуживания и ремонта путем численного моделирования наработок технических объектов на отказ, причём с учетом влияния вредных и опасных производственных факторов, и безошибочного выполнения работником функциональных действий.

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета



Внедренная автоматизированная система прогнозирования отказов оборудования и компьютерная программа расчета показателей безотказности оборудования и производственного риска, решают имеющее важное хозяйственное значение научно-техническую проблему развития научных основ обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, предупреждение нештатных и аварийных ситуаций на предприятиях.

Директор по качеству
ЧАО «НПЦ «Трансмаш»

О.В. Смажник

Директор по производству
продукции ЧАО «НПЦ «Трансмаш»

М.А. Дубина

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

Дел. 019.03



Д.В. Яковченко

Приложение И1. Справка о внедрении в учебный процесс

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ»)

пр. Ленина, 16, г. Алчевск, 94204, тел.(06442) 2-60-43, факс (06442) 2-68-87, E-mail: info@dstu.education

24.03.2021 № 413-02/60
 На № _____ от _____

Диссертационный совет Д 01.019.03
 при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ
 НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
 УНИВЕРСИТЕТ»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – «Машины агрегаты и процессы (по отраслям)» в учебный процесс кафедры «Машин металлургического комплекса» ГОУ ВО ЛНР «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ».

Разработанные в диссертации Вишневого Д.А. «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – «Машины агрегаты и процессы (по отраслям)» метод прогнозирования отказов машин и механизмов путём учёта особенностей эксплуатации технологически нового оборудования совместно с устаревшим, гибридная математическая модель прогнозирования отказов машин и механизмов с учётом влияния человеческого фактора, математическая модель взаимосвязи работоспособности, утомляемости и ошибаемости оператора, программный продукт для оценки условий безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, а также производственного риска используются в курсах: «Эксплуатация и обслуживание металлургического оборудования» при подготовке бакалавров по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» профиль «Металлургическое оборудование»; «Надёжность металлургического оборудования» при подготовке магистров по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», магистерская программа «Металлургическое оборудование».

Первый проректор,
 канд. техн. наук, доцент

В.В. Бондарчук

Начальник учебного отдела,
 канд. техн. наук, доцент

О.С. Балашова

Декан факультета Металлургии и
 машиностроительного производства,
 канд. техн. наук, доцент

Ю.В. Изюмов

2368

Соответствует оригиналу
 Ученый секретарь
 диссертационного совета

7 01.019.03



Приложение И1. Справка о внедрении в научно-исследовательские работы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ»)

пр. Ленина, 16, г. Алчевск, 94204, тел.(06442) 2-60-43, факс (06442) 2-68-87, E-mail: info@dstu.education

18.01.2011 № 259-02/60
 На № _____ от _____

Диссертационный совет Д 01.019.03
 при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ
 НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
 УНИВЕРСИТЕТ»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Вишневого Дмитрия Александровича «Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)» в научно-исследовательские работы

При разработке научно-исследовательских и научно-технических работ (продукции):

- НИР «Усовершенствование технологических процессов в области механики машин» (регистрационный номер О2000), которая выполнялась с 01.09.2010 по 31.06.2015;
- НТП «Выполнение проекта реконструкции производственного комплекса ООО «Алчевский карбидный завод» с установкой печи РКО-2,0 для ООО «Алкар» (регистрационный номер №2934), которая выполнялась с 07.04.2012 по 31.05.2012;
- НИР «Усовершенствование технологических процессов в области механики машин» (регистрационный номер О5662), которая выполнялась с 01.09.2015 по 31.06.2020;

в выполнении которых Вишневский Дмитрий Александрович принимал участие в качестве исполнителя или ответственного исполнителя, были использованы, разработанные в диссертационной работе, научно-технические разработки и предложения по обеспечению безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов, позволяющие повысить безотказность машин методом прогнозирования отказов машин и механизмов путём учёта особенностей эксплуатации.

Первый проректор,
канд. техн. наук, доцент

В.В. Бондарчук

Начальник учебного отдела,
канд. техн. наук, доцент

О.С. Балашова

Декан факультета Металлургии и
машиностроительного производства
канд. техн. наук, доцент

Ю.В. Изюмов

2369

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь
диссертационного совета

2 01.019.03



В.В. Яковенко