

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский государственный горный университет»

На правах рукописи

БАБЕНКО Александр Григорьевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И МЕТОДОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ
УРОВНЯ ОХРАНЫ ТРУДА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ НА ОСНОВЕ
РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА И
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**

Специальность: 05.26.01 – Охрана труда (в горной промышленности)

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Екатеринбург - 2016

Оглавление

Оглавление	2
Введение.....	4
1 Обзор опасностей, угроз, ущербов, рисков при эксплуатации угольной шахты	14
1.1 Общие сведения	14
1.2 Обзор современной концепции безопасности и менеджмента риска	36
1.3 Обзор методов оценивания рисков.....	40
1.4 Выводы	53
2 Научное обоснование концепции управления рисками эксплуатации угольной шахты с помощью многофункциональной системы безопасности.....	54
2.1 Анализ функциональной безопасности систем коллективной защиты от опасных производственных факторов	54
2.2 Система управления промышленной безопасностью	66
2.4 Разработка концептуальных основ управления рисками эксплуатации угольной шахты с помощью многофункциональной системы безопасности.....	72
2.5 Выводы.....	84
3 Разработка модели и методов количественного оценивания риска и научное обоснование принципов построения многофункциональной системы безопасности	86
3.1 Модель и методы количественного оценивания риска эксплуатации угольной шахты..	86
3.2 Основные принципы построения и применения многофункциональной системы безопасности.....	107
3.3 Разработка концептуальной модели многофункциональной системы безопасности как системы коллективной защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов и как системы менеджмента риска эксплуатации угольной шахты.....	114
3.4 Выводы.....	118
4 Разработка новых и усовершенствованных существующих методов контроля, прогноза и управления рисками эксплуатации угольной шахты.....	120
4.1 Возможности совершенствования методов контроля рисков	120
4.2 Метод обнаружения пожаров на основе уравнений газового баланса и упрощенных аэрогазодинамических моделей.....	122
4.3 Методы прогнозирования и управления аэрологическим риском.....	136
4.4 Метод построения упрощенных аэрогазодинамических моделей.....	144
4.5 Выводы.....	150
5 Разработка методического, технического, программного и метрологического обеспечения многофункциональной системы безопасности как системы контроля природной и техногенной	

среды угольной шахты в различных режимах ее функционирования	152
5.1 Методы повышения функциональной надежности и информационной достоверности многофункциональной системы безопасности	152
5.2 Концептуальная модель стационарного устройства контроля параметров аэрологического состояния с повышенной функциональной надежностью и информационной достоверностью	159
5.3 Методическое, техническое, программное и метрологическое обеспечение многофункциональной системы безопасности	163
5.4 Примеры испытаний и внедрения многофункциональной системы безопасности.....	188
5.5 Выводы.....	189
Заключение	192
Список сокращений и условных обозначений	194
Список терминов	198
Список литературы	203
Приложение А	227
Приложение Б	229
Приложение В.....	237
Приложение Г	245
Приложение Д.....	250
Приложение Е.....	256

Введение

Актуальность темы исследования

Угольные шахты являются сложными природно-техногенными системами и относятся к опасным производственным объектам (ОПО), в которых идут взаимосвязанные горно-геологические, физико-химические, аэрологические, технологические, производственные и социальные процессы, могущие привести к личной травме, групповому несчастному случаю, аварии с катастрофическими последствиями.

Добыча угля на шахтах оптимизируется по экономическим критериям, что неизбежно приводит к концентрации и интенсификации производства при ограничениях, накладываемых требованиями охраны труда (ОТ) и промышленной безопасности (ПБ), реализация которых затруднительна в рамках традиционных подходов. Анализ аварийности показывает, что общая тенденция к снижению нарушается крупными инцидентами и авариями, свидетельствующими о наличии проблем сохранения и повышения уровня ОТ и ПБ, для разрешения которых необходимо применять организационно-технические меры, основанные на применении риск-ориентированного подхода, использовании многофакторного контроля параметров производственных и природных процессов, развитой обработке данных, осуществляемых в системах управления ОТ (СУОТ) [67-69] и ПБ (СУПБ) [192, 247], которые рассматриваются как единый комплекс мероприятий и средств, предназначенный для сохранения жизни и здоровья работников, предупреждения аварий и их последствий. При этом СУОТ и СУПБ рассматриваются как единый комплекс мероприятий и средств, предназначенных для сохранения жизни и здоровья работников, предупреждения аварий и их последствий, реализуемых с использованием многофункциональных систем безопасности (МФСБ) угольных шахт [207], обязательность применения которых декларировано в отраслевых нормативных документах (НД) после аварий 2007-2010 г. При этом ОТ и ПБ рассматриваются в неразрывной взаимосвязи.

Несмотря на то, что МФСБ проектируются, серийно выпускаются и эксплуатируются на угольных шахтах, до сих пор не проведены исследования, не сформулированы и научно не обоснованы принципы их построения и использования для решения задач ОТ и ПБ. Таким образом, с одной стороны, шахты оснащены мощными программно-техническими комплексами (ПТК) на базе современных сенсорных, информационных, компьютерных и коммуникационных технологий, с другой стороны, собираемые и хранимые огромные массивы данных, характеризующие все многообразие протекающих на шахте процессов, подвергаются простейшей обработке, которая выполняется только в рамках требований НД. Это позволяет говорить о неэффективности применения МФСБ из-за отсутствия методов использования информации для решения актуальных задач в области ОТ и ПБ. Также при построении МФСБ не учитывается, что

эффективное управление ОТ и ПБ требует применения процедур менеджмента риска.

Конечной целью использования МФСБ является повышение уровня ОТ и ПБ в рамках СУОТ, СУПБ и системы управления предприятием путем прогнозирования и предупреждения несчастных случаев и аварий и минимизации их последствий за счет:

1) непрерывного мониторинга: шахтных объектов, технологических процессов и условий труда, их оценки для выявления опасных и вредных факторов производства, угроз, опасных состояний, явлений и ситуаций, их признаков и тенденций развития; систем и средств, обеспечивающих контроль и управление ОТ и ПБ, оценки и прогноза их состояния;

2) прогнозирования параметров состояния техногенной среды, опасных ситуаций и опасных зон;

3) планирования мер по предупреждению опасных ситуаций и аварий и контроля эффективности принимаемых мер;

4) оперативного информирования работников об опасностях и рисках;

5) повышения эффективности и оперативности контроля безопасности работ и характеристик систем коллективной защиты;

6) обеспечения готовности предприятия к аварийным ситуациям и ликвидации их последствий;

7) применения информационных систем сбора и учета оперативной информации о состоянии ОТ и ПБ, и поддержки государственного и общественного контроля за ними.

Это делает актуальными:

1) создание моделей количественного оценивания текущих рисков деятельности работников и эксплуатации угольной шахты на основе информации от эксплуатируемых автоматизированных систем управления (АСУ) технологическими и производственными процессами, измерительных и информационных систем;

2) разработку концепции построения и применения МФСБ как системы менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты в СУОТ и СУПБ;

3) научное обоснование, конструирование и оптимизацию параметров МФСБ как совокупности методов, систем и средств, обеспечивающих мониторинг опасных и вредных факторов природной и производственной среды и коллективную и индивидуальную защиту работников от них;

4) создание методов прогнозирования параметров состояния производственной среды, опасных ситуаций и зон и их реализацию в МФСБ;

5) построение и реализацию в МФСБ подсистем и методов мониторинга опасных и вредных производственных факторов, параметров природной и техногенной сред, управления рисками деятельности работников и эксплуатации угольной шахты в различных режимах функци-

онирования шахты.

Предметом исследования являются методы контроля и оценки опасных и вредных факторов производства, прогнозирования параметров состояния производственной среды и опасных ситуаций, системы и методы мониторинга опасных и вредных производственных факторов, обеспечивающие повышение уровня ОТ и ПБ за счет их научного обоснования, конструирования и оптимизации способов, систем и средств коллективной защиты работников и их реализация в МФСБ.

Степень разработанности темы исследования

Различные виды опасностей эксплуатации угольной шахты являются традиционным объектом исследований в течение многих десятилетий. Аэрологическая опасность является наиболее изученной и приводящей к наиболее тяжелым последствиям, ее систематическому изучению посвящены работы А. А. Скочинского, А. С. Попова, М. М. Протоdjяконова, В. Б. Комарова, Д. Ф. Борисова, А. И. Ксенофоновой, В. Н. Воронина, Ф. А. Абрамова, В. А. Бойко, Л. Н. Быкова, И. М. Печук, П. И. Мустель, А. М. Карпова, А. Н. Щербань, Г. Д. Лидина, А. Ф. Воропаева, А. Т. Айруни, Р. А. Галазова, Л. А. Пучкова, К. З. Ушакова, Н. О. Калединой, Н. М. Качурина, Д. Ю. Палеева и других. Пожары подробно исследованы, основные способы борьбы с ними известны, теоретическое обоснование дано в работах А. А. Скочинского, В. И. Веселовского, В. М. Маевской, О. И. Чернова, В. И. Саранчук, А. А. Мясникова, В. М. Огиевского, Г. Н. Крикунова, В. Г. Игишева, Л.П. Белавенцева, Д. Ю. Палеева и других ученых. Оценка и управление рисками по факторам аэрологической и пожарной опасности, которые фактически определяют общий уровень безопасности угольной шахты и решающим образом влияют на уровень ОТ и ПБ, являются наиболее актуальными.

Основополагающие концептуальные работы в области оценки и анализа риска выполнены научными коллективами Н. А. Махутова, Е. А. Микрина, В. В. Шульца, В. В. Кульбы. Исследованиям в области анализа опасностей и оценки риска промышленных аварий и катастроф посвящены работы М. В. Бесчастнова, Н. Н. Брушлинского, А. А. Быкова, А.Н. Елохина, В. А. Еременко, Р. Х. Идрисова, А. В. Измалкова, В. А. Котляревского, И. Р. Кузеева, И. И. Кузьмина, Х. Кумамото, В. И. Ларионова, В. А. Легасова, М. В. Лисанова, И. И. Мазур, В. Маршалла, Г. Э. Одишария, С. М. Пайтерсена, А.С. Печеркина, А. И. Попова, Б. Е. Прусенко, В. С. Сафонова, В. И. Сидорова, И. С. Таубкина, Э. Дж. Хенли, А. Н. Черноплекова, А. А. Шаталова, А. А. Швыряева, А. М. Козлитина и ряд других крупных специалистов преимущественно в области ПБ.

Однако до сих пор не сформулирована научно обоснованная концепция построения и применения МФСБ в целях коллективной защиты работников от опасных и вредных производственных факторов, повышения уровня ОТ и ПБ и менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, отсутствует соответствующий понятийный аппарат, не в пол-

ной мере рассмотрены и решены задачи мониторинга параметров состояния производственной, природной и техногенной сред, прогноза опасных и вредных производственных факторов, не разработаны требования к МФСБ и ее отдельным функциям и видам обеспечения.

Цель исследования – разработка принципов, методов и средств повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности за счет управления рисками деятельности работников и эксплуатации угольной шахты на основе систем и методов мониторинга и прогнозирования опасных и вредных производственных факторов, параметров природной и техногенной сред и применения средств коллективной и индивидуальной защиты.

Задачи исследования:

- оценить опасности, угрозы и риски деятельности работников и эксплуатации угольной шахты;
- разработать концептуальную модель угольной шахты и процессов возникновения и развития опасных явлений и аварий в ней;
- разработать модель количественного оценивания риска деятельности работников и эксплуатации шахты;
- разработать концептуальную модель МФСБ как системы менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, мониторинга и прогнозирования опасных и вредных производственных факторов и защиты от них;
- разработать способы совершенствования средства аэрологического контроля и автоматической газовой защиты как основы коллективной защиты работников от воздействий опасных и вредных производственных факторов аэрологического характера;
- усовершенствовать методы мониторинга опасных и вредных производственных факторов, параметров природной и техногенной сред, прогнозирования опасных состояний и зон;
- разработать методическое, техническое, информационное, алгоритмическое и программное обеспечение МФСБ.

Идея исследования – повышение уровня охраны труда и промышленной безопасности возможно в рамках СУОТ и СУПБ за счет применения методологии менеджмента риска и МФСБ, обеспечивающих непрерывный мониторинг и оценку опасных и вредных производственных факторов, параметров природной и техногенной сред, прогнозирование их состояния, опасных ситуаций и зон, коллективную и индивидуальную защиту работников, управление рисками деятельности работников и эксплуатации предприятия на основе комплексной обработки данных о взаимосвязанных горно-геологических, физико-химических, аэрологических, технологических и производственных процессах угольной шахты.

Научная новизна

1. На основе рассмотрения угольной шахты как сложной горно-геологической и горно-

технической системы разработана концептуальная модель угольной шахты и процессов возникновения и развития опасных явлений и аварий, учитывающая природные и техногенные условия, характеристики и параметры опасностей, технологических и производственных процессов и требования НД. В рамках модели формализована постановка и предложены пути решения задачи оптимального синтеза МФСБ, обеспечивающей повышение уровня ОТ и ПБ путем достижения требуемого уровня риска.

2. Разработана методология количественного оценивания риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, предусматривающая использование: координатных законов поражения; требований НД и справочных данных; логико-вероятностных методов оценивания инициирующих условий и событий (ИУС); результатов измерения и контроля природных и производственных процессов и численно-вероятностных (ЧВ) методов их обработки; сведений о свойствах углей.

3. Установлено, что системы автоматической газовой защиты (АГЗ), являющиеся основным средством коллективной защиты работников от наиболее значимых опасных факторов аэрологической характера, в современных условиях не способны обеспечить уровень полноты функциональной безопасности, соответствующий рискам, характерным для угольных шахт, а повышение уровня ОТ и ПБ возможно при применении многокомпонентных МФСБ, включающих внешние средства снижения риска¹, системы, связанные с безопасностью¹ и другие средства снижения риска¹, для которых определены условия применения, функциональное назначение, основные технические требования и особенности реализации.

4. Выявлены возможности совершенствования вентиляционных расчетов путем применения численно-вероятностных методов, учитывающих текущие значения параметров функций плотности распределения вероятностей (ПРВ) случайных величин, характеризующих природную и техногенную среды угольной шахты.

5. Определены способы оперативного обнаружения и определения местоположения пожаров на ранних стадиях возникновения, базирующиеся на результатах контроля аэрологического состояния и упрощенных аэрогазодинамических моделях движения газовых смесей (ГС) и обеспечивающие обнаружение очага пожаров в темпе технологических процессов с точностью до части горной выработки.

Научная значимость

1. Разработано обобщенное математическое описание угольной шахты как ОПО и процессов возникновения и развития опасных явлений и аварий, в рамках которого рассмотрены задачи оптимального управления шахтой, рисками деятельности работников и эксплуатации шахты и оптимального синтеза МФСБ как программно-аппаратной основы СУОТ и СУПБ и

¹ Термины по стандартам группы ГОСТ Р МЭК 61508

системы менеджмента риска.

2. Предложено решение научной проблемы текущего количественного оценивания риска деятельности работников, эксплуатации шахты, ее частей на основе комплексного контроля природной и техногенной сред угольной шахты. Разработаны индикаторы риска, которые могут использоваться для оперативного информирования работников о текущих опасностях и рисках и совершенствования государственного надзора и общественного контроля за соблюдением требований ОТ и ПБ.

3. Разработаны методические принципы построения МФСБ как совокупности приборов, систем и методов контроля природной и техногенной сред угольной шахты, обеспечивающих коллективную защиту работников от воздействия опасных и вредных факторов, прогнозирование параметров состояния техногенной среды, опасных явлений и зон и управление рисками деятельности работников и эксплуатации угольной шахты.

4. Предложены пути совершенствования вентиляционных расчетов за счет применения численно-вероятностных методов, основанных на использовании моделей газового баланса и фактических текущих статистических характеристик контролируемых параметров и обеспечивающих оперативность и обоснованность результатов контроля, оценки и прогноза опасных и вредных факторов и управление рисками.

5. Разработан метод обнаружения и определения местоположения пожаров с точностью до части горной выработки, основанный на решении уравнений газового баланса и учитывающий движение газовых смесей по горным выработкам на основе упрощенной аэрогазодинамической модели, для которой разработана методика активной параметрической идентификации.

Практическая значимость

1. Выполнены оценки функциональной надежности средств коллективной защиты работников от опасных и вредных факторов аэрологического характера, показавшие необходимость применения многоуровневых МФСБ в рамках систем управления охраны труда и промышленной безопасности.

2. Исследован человеческий фактор в системе «человек – газоанализатор – производственный процесс», на основании чего разработаны концепция построения и применения стационарного газоаналитического устройства повышенной надежности и информационной достоверности как основного средства коллективной защиты работников от опасностей аэрологического характера и метод взаимного контроля функционирования стационарных и индивидуальных газоанализаторов.

3. Разработаны и приняты нормативные и методические документы: Ростехнадзором – «Методические рекомендации о порядке проведения аэрогазового контроля в угольных шахтах РД-15-06-2006» и «Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах»; Росстандартом –

предварительные национальные стандарты ПНСТ 16-2014, ПНСТ 17-2014 и ПНСТ 18-2014, содержащие технические требования к основным подсистемам МФСБ.

4. Разработаны технологические решения в части построения информационных систем для сбора информации по аварийности и совершенствования методологии осуществления государственного надзора в интересах УВГСЧ МЧС РФ.

5. Результаты исследований используются в МФСБ, серийно выпускаемой ООО «Информационные горные технологии», и в учебных курсах «Интегрированные системы проектирования и управления», «Компьютерные технологии в области автоматизации и управления», «Информационные технологии в системах автоматизации» по специальности 220301 – «Автоматизация технологических процессов и производств (в горной промышленности) (АГП)», по направлению бакалавриата 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств», магистратуры 220700.68 «Автоматизация технологических процессов и производств», по направлению (специальности) бакалавриата 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» в Уральском государственном горном университете.

Методология и методы исследования

В основу теоретических исследований положены методы и концепции теорий вероятностей и математической статистики, подобия и математического моделирования, множеств, исследования операций, автоматического управления, методы логико-вероятностного и численно-вероятностного исчислений. Необходимые экспериментальные исследования проводились в условиях угольных шахт.

Положения, выносимые на защиту

1. Для описания угольной шахты как опасного производственного объекта и процессов возникновения и развития опасных явлений и аварий в ней следует использовать разработанную модель, которая учитывает природные, техногенные, технические условия, характеристики и факторы опасностей, технологических и производственных процессов, нормативных требований к опасным и вредным факторам, и позволяет формулировать и решать задачи оценивания и управления риском деятельности работников и эксплуатации шахты и синтеза многофункциональных систем безопасности для решения задач охраны труда и промышленной безопасности.

2. Для оценки и управления текущими рисками деятельности работников и эксплуатации угольной шахты с целью повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности, для обеспечения оперативности информирования работников об опасностях и рисках и для обоснования структуры, основных функций и характеристик многофункциональных систем безопасности следует использовать обобщенную модель количественного оценивания текущего риска, базирующуюся на: координатных законах поражения; нормативных ограничениях на опасные и

вредные факторы; справочных данных о предельных и пороговых значениях поражающих факторов; логико-вероятностных методах оценивания инициирующих условий и событий, приводящих к возникновению и развитию опасных явлений и аварий; результатах измерения и контроля параметров природных, технологических и производственных процессов и численно-вероятностных методах их обработки; данных о физико-химических свойствах горных пород; моделях распространения ударной воздушной волны и газовых смесей.

3. Для повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности необходимо применять многоуровневые средства обеспечения безопасности на основе многофункциональных систем безопасности, для которых научно обоснованы принципы построения, функции и основные требования и основу которых составляют совокупности приборов, систем и методов мониторинга и оценки природной и техногенной сред угольной шахты, обеспечивающие коллективную и индивидуальную защиту работников от воздействия опасных и вредных факторов, контроль, оценку, управление и прогноз рисков деятельности работников и эксплуатации угольной шахты.

4. Применение упрощенных аэрогазодинамических моделей движения газовых смесей и численно-вероятностных вычислительных методов обработки данных о природной и техногенной средах угольной шахты позволяют осуществлять оценку, прогноз и управление аэрологическими и связанными с ними рисками деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, обеспечивая повышение уровня охраны труда и промышленной безопасности.

5. Разработанные концепции, принципы, модели реализованы в серийных многофункциональных системах безопасности, ее подсистемах и различных видах ее обеспечения, применяемых на угольных шахтах и обеспечивающих в различных режимах функционирования: индивидуальную и коллективную защиту от вредных и опасных факторов аэрологического характера; аэрологическую безопасность; противопожарную защиту, в том числе обнаружение и определение местоположения очагов пожаров; локальный и региональный контроль и прогноз состояния горного массива; определение местоположения персонала в горных выработках; голосовую связь; поиск застигнутых аварией людей; построение информационных систем для сбора оперативной информации по аварийности и предоставления ее работникам шахты и в контролируемые и надзорные органы.

Степень достоверности

Теоретические исследования послужили основой разработки моделей и инженерных методик. Достоверность полученных результатов подтверждается внедрением с 1996 г. более чем на 195 угольных шахтах, рудниках и их участках разработанной МФСБ и ее подсистем в целях повышения уровня ОТ и ПБ и включением результатов исследований в разработанные отраслевые НД и национальные стандарты.

Апробация результатов

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международной конференции «Энергоэффективность энергетического оборудования» в Санкт-Петербурге 8-9 октября 2014 г., III Международной научно-практической конференции «ТЕХГОРМЕТ – 21 ВЕК. Современные технологии управления процессами добычи и переработки полезных ископаемых» в Санкт-Петербурге 15-16 октября 2012 г., XIII Международной конференции «Уголь России – Майнинг`2007» в Новокузнецке 4-8 июня 2007 г., 21 Всемирном Горном Конгрессе в Кракове 7-11 сентября 2008 г., 22 Всемирном Горном Конгрессе (ICAMC) в Стамбуле 11-16 сентября 2011 г., I Международной научно-практической конференции «Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки» в Екатеринбурге 5-7 апреля 2016 г., III Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» в Санкт-Петербурге 20-21 октября 2016 г. Разработанные МФСБ, подсистемы и отдельные устройства и приборы, входящие в ее состав, представлялись на Международных выставках-ярмарках «Уголь-Майнинг России» и были отмечены дипломами I степени в 2001 и 2002 гг., II степени в 2003 г. и III степени в 2004 г., серебряной медалью в 2005 г., золотой медалью в 2007, 2008, 2009 гг. и Гран-при в 2015 г.

Личный вклад автора

Диссертация является итогом двадцатилетней работы автора по проблемам повышения уровня ОТ и ПБ и управления рисками деятельности работников и эксплуатации угольных шахт на основе автоматизированного контроля и мониторинга опасных и вредных факторов производства, параметров природной и техногенной сред. Автор осуществлял постановку задач исследований, непосредственно разрабатывал модели и методы, осуществлял постановку задач расчетов и их проведение, разработку методик экспериментов, их проведение и интерпретацию результатов, разрабатывал технические требования и задания на разработку и проектирование МФСБ, различных видов ее обеспечения, ее подсистем и отдельных узлов, методов испытаний, непосредственно участвовал в их конструировании, разработке, освоении серийного производства и внедрении на угольных шахтах.

Реализация и внедрение результатов

На основе выработанных концепции и принципов построения МФСБ разработаны и внедрены (с 1996 г. более чем на 195 угольных шахтах, рудниках и их участках) МФСБ и ее подсистемы, обеспечивающие: индивидуальную и коллективную защиту от вредных и опасных факторов; аэрологическую безопасность, в том числе контроль и управление вентиляционными, газоотсасывающими установками, дегазационными установками и системами, аэрологический контроль и автоматическую газовую защиту; противопожарную защиту, включая обнаружение и

локализацию эндогенных и экзогенных пожаров на ранних стадиях; локальный и региональный контроль и прогноз состояния горного массива; определение местоположения персонала в горных выработках; голосовую связь; поиск застигнутых аварией людей; построение информационных систем для сбора оперативной информации по аварийности и предоставления ее в контролирующие и надзорные органы.

Результаты исследований использованы в разработанных методических и нормативных документах: Методические рекомендации о порядке проведения аэрогазового контроля в угольных шахтах РД-15-06-2006; Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах; ГОСТ Р 56141-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок. Общие технические требования; ПНСТ 16-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система контроля аэрологического состояния. Общие технические требования и методы испытаний; ПНСТ 17-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система наблюдения и оповещения об аварии людей. Общие технические требования; ПНСТ 18-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система поиска застигнутых аварией людей и определение их местоположения. Общие технические требования.

1 Обзор опасностей, угроз, ущербов, рисков при эксплуатации угольной шахты

1.1 Общие сведения

В настоящее время на территории РФ действует около 100 шахт, обеспечивающих добычу примерно 40 % от общего объема угля, что составляет около 100 млн т. Баланс между открытой и подземной добычей сохраняется уже длительное время и обусловлен шахтной добычей ценных марок углей для металлургического производства. Количество высокометанообильных шахт достигает 48 %, по видам и уровням опасностей шахты разделены следующим образом: опасные по внезапным выбросам – 18 %; негазовые – 11 %; I, II и III категории – соответственно 16 %, 17 % и 9 %; сверхкатегорные – 29 %.

Современные российские шахты реализуют технологические схемы, минимизирующие капитальные затраты, оснащаются высокопроизводительным оборудованием, автоматическими и автоматизированными системами контроля, управления и связи, что обеспечивает их высокую экономическую эффективность. Технологический процесс (ТП) добычи угля на таких шахтах имеет характеристики, которые соответствуют лучшим мировым [48, 126, 173, 183, 236]: средние (максимальные) скорости продвижения очистного забоя достигают 100 (300) м/мес., проходческого забоя – до 48 (78) м/сут. и до 853 м/мес.; нагрузка на забой достигает – 1 млн. т/мес.; питающее напряжение оборудования – 6 КВ; установленная мощность оборудования очистного забоя – до 5 МВт.

В работах [3, 11, 14, 47, 64, 151, 160, 168, 238, 251 и др.] приведены статистические данные о добыче, аварийности и травматизме для российских угольных шахт за последние 10 лет, основные из которых обобщены в Таблицах 1.1, 1.2 и на Рисунках 1.1–1.4.

В различных источниках могут приводиться отличающиеся данные, которые характеризуют различные временные периоды, угольные бассейны, используемые технологии выемки угля, однако во всех случаях анализ статистических данных позволяет сделать общие выводы:

а) значительные усилия, предпринимаемые с 2004 г. государством, собственниками, менеджментом угольных компаний и специалистами, привели к снижению аварийности, однако общая тенденция снижения является неустойчивой и сопровождается увеличением доли крупных аварий (с тяжелыми последствиями) [106], что свидетельствует об остающемся актуальным решении задачи обеспечения ПБ;

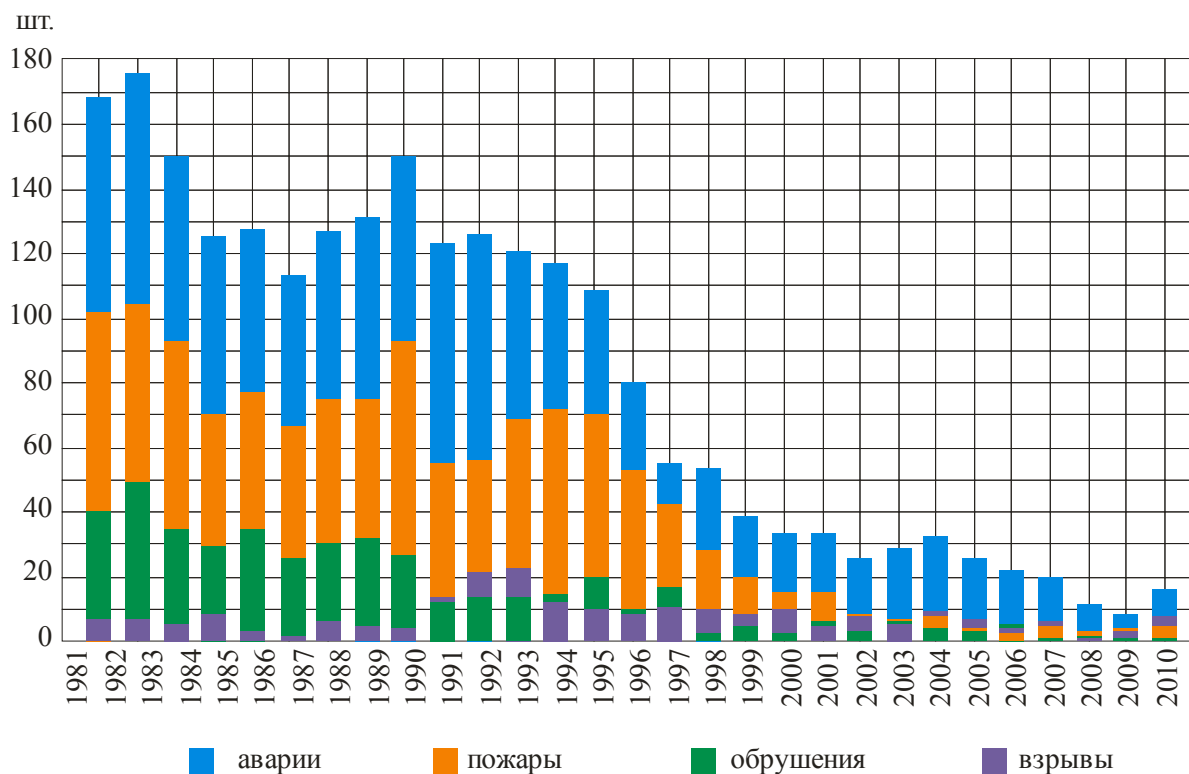


Рисунок 1.1 – Количество официально зарегистрированных аварий, пожаров, обрушений и взрывов на шахтах РСФСР и РФ в 1981-2010 г.г.

Таблица 1.1 – Основные сведения по добыче, аварийности и смертельному травматизму для российских угольных шахт за 2004-2016 г.г. (не полные данные)

Год	Добыча угля, млн. т	Кол-во аварий, шт.	Кол-во взрывов и вспышек, шт.	Кол-во пожаров, шт.	Смертельный травматизм, чел.
2004	103,2	28	9	9	132
2005	108,5	15	8	4	81
2006	111,1	20	4	5	53
2007	111,5	18	6	7	216
2008	105,3	9	1	2	41
2009	108,4	8	6	5	36
2010	102,7	17	5	9	122
2011	101	9	2	4	33
2012	113	11	3	9	28
2013	101	11	4	4	57
2014	105,3	4 (I-III кв.)	2 (I-III кв.)	0 (I-III кв.)	18
2015	103,7	н/д	н/д	н/д	11
2016	104 (прогноз)	1	н/д	н/д	38 (2 мес.)

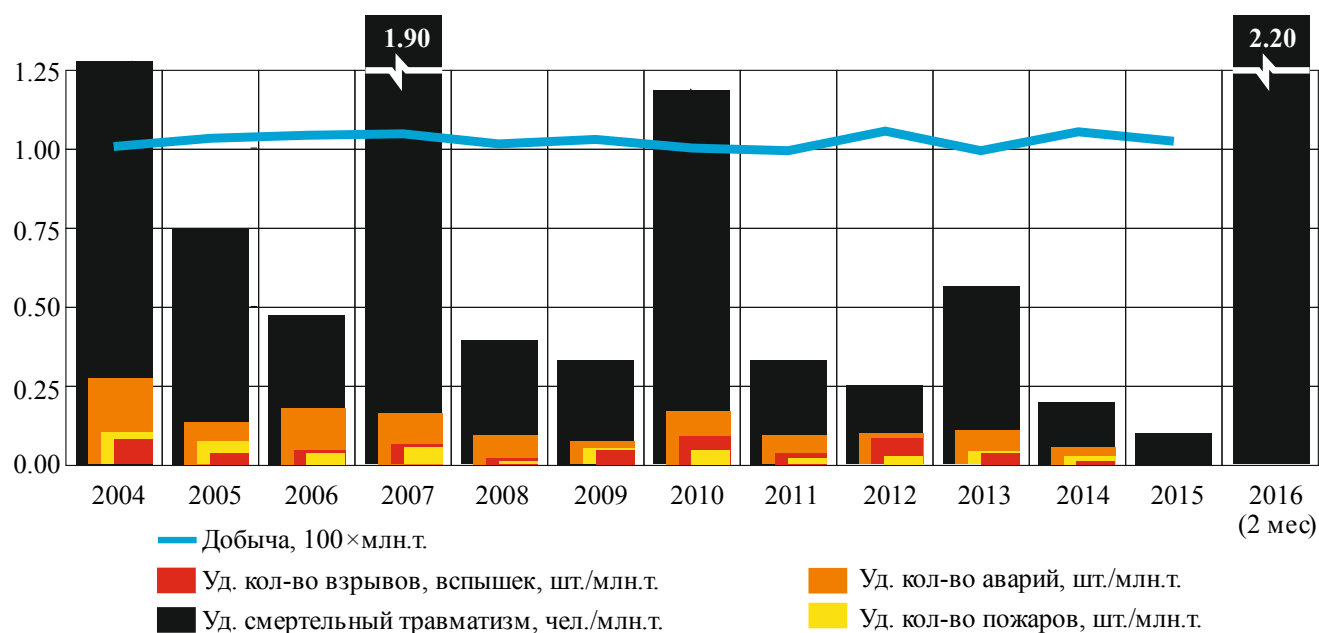


Рисунок 1.2 – Удельные показатели аварийности и смертельного травматизма для российских угольных шахт за 2004-2014 г.г.

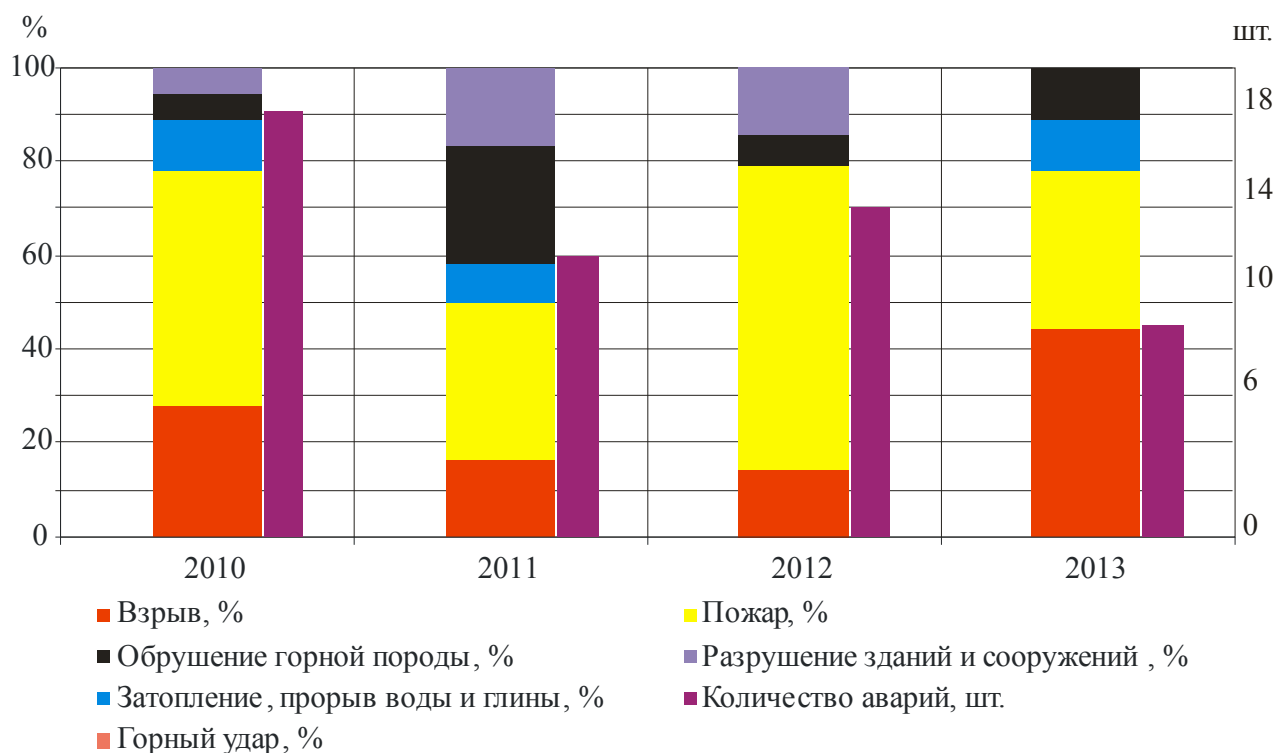


Рисунок 1.3 – Структура аварийности по видам опасностей для российских угольных шахт за 2010-2013 г.г.

Таблица 1.2 – Наиболее крупные аварии на шахтах Кузбасса за 1990-2014 г.г.

Дата	Шахта	Причина аварии	Смертельный травматизм, чел.
16.06.1990	им. Димитрова	прорыв грунтовых вод и затопление шахты	12
01.12.1992	Шевякова	взрыв МВС	25
04.09.1995	Первомайская	выброс метана	15
22.08.1997	Шахта № 12	выброс метана	5
02.12.1997	Зыряновская	взрыв МВС	67
21.03.2000	Комсомолец	взрыв МВС	12
16.06.2003	Зиминка	взрыв МВС	12
10.01.2004	Сибирская	взрыв МВС и последующий экзогенный пожар	6
10.04.2004	Тайжина	взрыв МВС	47
28.10.2004	Листвяжная	взрыв МВС	13
09.02.2005	Есаульская	взрыв МВС	25
19.03.2007	Ульяновская	взрыв ПМВС	110
24.05.2007	Юбилейная	взрыв МВС	39
30.05.2009	им. Ленина	обрушение кровли	5
8-9.05.2010	Распадская	взрыв МВС	91
20.01.2013	Шахта № 7	взрыв МВС	8
25-29.02.2016	Северная	взрывы МВС и последующий пожар	36

а



б



Рисунок 1.4 – Соотношения крупных аварий по видам (а) и смертельно травмированных в их результате (б) на шахтах Кузбасса за 1990-2014 г.г.

б) наиболее значимыми по количеству и смертельному травматизму являются взрывы и вспышки, пожары и обрушения горных пород, которые суммарно составляют от 50 до 90 % всех аварий;

в) от 50 до 70 % аварий и до 92 % погибших связаны со вспышками и взрывами метана и угольной пыли, при этом на взрывы метана приходится 70 %, метана с участием угольной пыли – 25 % и пыли – 5 %. Взрывы в шахте происходят в очистных забоях – 45,6 %, тупиковых забоях – 36,5 %, действующих участковых и общешахтных выработках – 17,9 % случаев, при этом причинами взрывов являются: взрывные работы – 34,2 %; фрикционное искрение – 26,1 %; пожары, самонагревания;

г) до 30 % аварий приходится на пожары, которые являются причиной более трети взрывов;

д) количество аварий, связанных с обрушением горных пород, незначительно, но они являются причиной большого количества травм, в том числе смертельных, при этом количество обрушений горных пород значительно превосходит количество горных ударов и внезапных выбросов;

е) на внезапные выбросы приходится менее 10 % аварий и 4 % погибших;

ж) количество остальных аварий по видам (горные удары, внезапные выбросы, прорывы воды или обводненных горных пород) не превышает 6 %, суммарные потери при этом составляют не более 4 %.

Основными факторами риска являются: 1) аэрология (схемы вентиляции); 2) горно-геологические условия разработки угольных пластов; 3) горнотехнические условия (нагрузка на забой, скорость продвижения); 4) действия персонала (недобросовестное выполнение регламентных работ и нарушение требований безопасности, проектной и эксплуатационной документации). При этом только предотвращение или уменьшение количества взрывов и вспышек, которые составляют до 80 % от общего количества аварий, т. е. действия по обеспечению аэрологической и пожарной безопасности могут значительно (в разы) повысить общий уровень ОТ и ПБ.

В соответствии с [129] к авариям на угольных шахтах отнесены: взрывы газа и угольной пыли; пожары; внезапные выбросы угля и газа; горные удары и обрушения; прорывы воды, глины, пульпы; затопления горных выработок; проникновения токсичных веществ в горные выработки. Использование расширенного толкования (по [248]), в соответствии с которым под аварией (применительно к горным предприятиям с подземной добычей полезных ископаемых) понимается: повреждение или разрушение сооружений, технических устройств, применяемых на опасном объекте; взрыв; выброс опасных веществ; отказ или повреждение технических устройств; отклонение от режима ТП – не является обоснованным, так как относится к сфере

страхования, но не ПБ.

Также при анализе аварий и выработке мер по их предотвращению необходимо ограничиться учетом режимных (возникающих при штатном функционировании с предсказуемыми последствиями), проектных (возникающих при выходе за пределы штатных режимов с предсказуемыми и приемлемыми последствиями) и запроектных (возникающих при авариях с человеческими жертвами и значительными ущербами и подлежащие восстановлению) инцидентов, опасных ситуаций и явлений [166, 269]. При этом к запроектным обоснованно относятся опасные ситуации на вновь создаваемых объектах или при использовании новых технологий, а инциденты, опасные явления, аварии должны рассматриваться как штатные (предусмотренные) режимы функционирования ОПО [269]. Другие явления и гипотетические (возникающие при непредсказуемых вариантах и сценариях развития с максимально возможными ущербами, жертвами и разрушениями, не подлежащими восстановлению) [166] аварии не являются обязательными для рассмотрения при решении задачи обеспечения ПБ. Рассматривая режимные, проектные, запроектные и гипотетические ситуации и явления, необходимо учитывать и запроектные условия эксплуатации, к которым относятся не только эксплуатация оборудования после окончания срока службы, но и обслуживание с нарушением эксплуатационной и проектной документаций, например, меньшим количеством персонала [182].

В [247] промышленная безопасность определена «как состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий», т. е. признаются реально и постоянно существующие источники опасности, а безопасность является не свойством ОПО, а его состоянием. Это позволило далее рассматривать следующую концептуальную модель возникновения и развития опасных явлений и аварий: 1) для ОПО характерно постоянное присутствие различных опасностей (**D** – от англ. danger), к которым относятся процессы высвобождения энергии и вещества; 2) в ходе ТП и производственных процессов (ПП) опасности преобразуются в угрозы (**T** – от англ. threat), неуправляемые, неконтролируемые процессы высвобождения энергии и вещества, возможности реализации которых в виде опасных явлений, аварий (**A** – от англ. accident) характеризуются рисками (**R** – от англ. risk); 3) риски связаны с уязвимостью ОПО (**V** – от англ. vulnerability) элементов ОПО, которая непосредственно влияет на вероятность и величину ущерба (**Y**). Уязвимость характеризует утрату устойчивости (защищенности) ОПО к воздействию факторов опасности; 4) обычно опасные явления, аварии возникают при совпадении во времени и пространстве некоторых условий (угроз), которые можно разделить на иницирующие условия и события (ИУС), воздействие на которые возможно через управление ТП и ПП в нормальных и предаварийных режимах (**U**). Для угольных шахт основными объективными факторами риска являются схемы проветривания (аэрология), горно-геологические и горнотех-

нические условия, инструментальный контроль которых обеспечивается средствами АСУ ТП; 5) опасные явления, аварии могут развиваться по различным сценариям (например, s -ый сценарий H_s) с различными итоговыми ущербами (Y_s), при этом существуют возможности влиять на их развитие также через управление ТП и ПП в аварийных режимах (u_A) при наличии и сохранении соответствующих возможностей; 6) опасности, угрозы, аварии, ущербы и риски могут распространяться на весь ОПО или на его часть. На Рисунке 1.5 показан генезис опасного явления, аварии: соотношения и связи между опасностями, угрозами, аварией, последствиями, ущербами и риском, при этом опасное явление, авария рассматривается как событие перехода количества (отклонений от нормального хода ТП и ПП, нарушений и т. д.) в качество, при котором необратимо изменяется состояние ОПО (возникает ущерб и пр.).



Рисунок 1.5 – Генезис опасного явления, аварии на опасном производственном объекте («внешние средства снижения рисков», «системы, связанные с безопасностью», «другие средства снижения рисков» по [94-101])

Угрозы классифицируются [119] по: а) месту проявления – на внутренние (отказы аппаратных средств и ошибки в программном обеспечении (ПО)) и внешние (воздействия со стороны людей, сопрягаемых объектов, окружающей среды); б) источникам проявления на факторы – вредные (пыль, шум, ...), электрические (сопротивление изоляции, ...), термические (перегрев, ...), механические (вибрация, удары, ...) и пр.; в) последствиям – на связанные с гибелью людей (угрозы несчастных случаев), это же является и классификацией ущербов, нанесения вреда окружающей среде, экономических потерь (утрата оборудования и сооружений, запасов, ...); г) мотивам – на ненамеренные (стихийные бедствия, ошибки из-за некомпетентности или случайные нарушения, отклонения от регламентных условий эксплуатации, ...) и предна-

меренные (действия с осознанной целью нанесения ущерба или нарушения требований ОТ и ПБ).

С учетом принятой концептуальной модели возникновения и развития опасного явления, аварии на ОПО нами разработано обобщенное описание угольной шахты как ОПО (1.1) и цели ее функционирования (1.2):

$$\text{ОПО} \equiv \{ \mathbf{E} | \mathbf{G}_{E-O}, \mathbf{O}_{\text{ОПО}} | \mathbf{G}_{O-O}, \mathbf{In}, \mathbf{Out} \}; \quad (1.1)$$

$$\mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Extr}_{\mathbf{u}_{opt} \in \mathbf{U}} [\Xi_{\text{ОПО}} \{ [\mathbf{In}, \mathbf{D}] \mathfrak{R}_{\text{In-Out}} [\mathbf{Out}, \mathbf{Y}] \}], \quad (1.2)$$

где $\mathbf{E} = \{E_1, \dots, E_{NE}\} = \{ \text{(литосфера), (гидросфера), (атмосфера), (биосфера), (социосфера)} \}$ – окружение (среда), в которой находится ОПО; \mathbf{G}_{E-O} – структура связей элементов \mathbf{E} с элементами ОПО; $\mathbf{O}_{\text{ОПО}} = \{O_1(\mathbf{u}_1), \dots, O_{NO}(\mathbf{u}_{NO})\} = \{ \text{(запасы полезного ископаемого), (сооружения), (оборудование и машины), (инженерные системы), (КИПиА, МФСБ), (люди)} \}$ – элементы (системы, подсистемы) ОПО; \mathbf{u}_j – множество управляющих воздействий на j -й элемент ОПО, $\mathbf{u}_j \in \mathbf{U}$; \mathbf{U} – множество допустимых управляющих воздействий, $\mathbf{U} = \{ \mathbf{u}^T, \mathbf{u}^t, \mathbf{u}^O \} = \{ \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2 \} = \{ \mathbf{u}_{BC}, \mathbf{u}_{CB}, \mathbf{u}_{DC} \}$, которые подразделяются на технологические \mathbf{u}^T , технические \mathbf{u}^t и организационные \mathbf{u}^O , осуществляемые в нормальных, предаварийных \mathbf{u}_1 и в аварийных \mathbf{u}_2 условиях, в рамках «внешних средств снижения рисков» \mathbf{u}_{BC} , «систем, связанных с безопасностью» \mathbf{u}_{CB} , «других средств снижения рисков» \mathbf{u}_{DC} ; \mathbf{G}_{O-O} – структура взаимосвязей элементов ОПО; $\mathbf{V} \in \mathbf{O}, \mathbf{V} = \{V_i\}$ – уязвимости элементов ОПО, для которых определен $\mathbf{G}_{T-V} = \{j, G_j\}$, G_j – множество уязвимостей относительно j -й угрозы; $\mathbf{D} = \{D_1, \dots, D_{ND}\} = \{ \text{(токсическая), (тепловая), (газодинамическая), (геодинамическая), (техногенная), (гидрологическая), (психогенная), ...} \}$ – опасности, возникающие при эксплуатации ОПО; $\mathbf{In} = \{In_1, \dots, In_{NIn}\}$ – входной поток, поступающий на ОПО – электроэнергия, вода, воздух, оборудование, машины, приборы, вещества и материалы и т. п., которые характеризуются парой Q_{Inj}, C_{Inj} – количество и стоимостная оценка: $In_j = \langle Q_{Inj}, C_{Inj} \rangle$, $j = 1, \dots, NIn$; $\mathbf{Out} = \{Out_1, \dots, Out_{NOut}\}$ – выходной поток, исходящий из ОПО: горные породы, вода, воздух и пр., $Out_j = \langle Q_{Outj}, C_{Outj} \rangle$, $j = 1, \dots, NOut$; $\mathfrak{R}_{\text{In-Out}}$ – оператор, описывающий взаимодействие ТП, ПП, окружения \mathbf{E} и элементов ОПО \mathbf{O} при преобразовании входного потока \mathbf{In} в выходной \mathbf{Out} :

$$\mathfrak{R}_{\text{In-Out}} = \{ \mathbf{ТП}, \mathbf{ПП}, \mathbf{Е} | \mathbf{G}_{E-O}, \mathbf{O} | \mathbf{G}_{O-O} \}; \quad (1.3)$$

\mathbf{Y} – стоимостная оценка ущерба, возникающего при ликвидации последствий опасного явления, аварий, их недопущении (ухудшение характеристик ТП) и пр. Целью преобразования (1.2) является обеспечение экстремума целевой функции $\Xi_{\text{ОПО}}$, которая носит экономический характер и учитывает выгоды и риски эксплуатации ОПО, путем выработки и реализации оптимального управляющего воздействия \mathbf{u}_{opt} на ТП и ПП, $\mathbf{u}_{\text{opt}} \subseteq \mathbf{U}$. ТП и ПП характеризуются элементами (системы, подсистемы) ОПО, включенными в них, и связями между ними: $\mathbf{ТП} = \{ \text{ТП}_1, \dots, \text{ТП}_{NTI} \} = \{ (\text{энергоснабжение: электроснабжение, гидроснабжение, пневмоснабжение, ...}), (\text{водоснабжение: технологическое, хозяйственно-участковое}), (\text{вентиляция: вентиляционные сооружения и установки, газоотсос, поддержание микроклимата, ...}), (\text{аэрологический контроль и газовая защиты}), (\text{сейсмический и геофизический контроль}), (\text{противопожарный контроль и противопожарная защита}), (\text{дегазация}), (\text{поддержание горных выработок}), (\text{транспортирование: людей, горной массы, материалов и оборудования}), (\text{проходческие работы}), (\text{очистные работы}), (\text{водоотведение: водоотлив, очистные сооружения}), (\text{буровзрывные работы}), (\text{обеспыливание: орошение, пылеудаление, пылесвязывание, ...}), (\text{осланцевание}), (\text{взрывозащита}), \dots \}; \mathbf{ПП} = \{ \text{ПП}_1, \dots, \text{ПП}_{NIII} \} = \{ (\text{управление персоналом: наряд, табельный учет, связь, ...}), (\text{управление складами}), \dots \}. Для k -го ТП можно записать:$

$$\begin{aligned} \text{ТП}_k &= \{ \mathbf{E}_k | \mathbf{G}_{k.E-O}, \mathbf{O}_k(\mathbf{u}_k) | \mathbf{G}_{k.O-O} \}; \\ \mathbf{E}_k &\subset \mathbf{E}, \mathbf{G}_{k.E-O} \subset \mathbf{G}_{E-O}, \mathbf{O}_k(\mathbf{u}_k) \subset \mathbf{O}, \mathbf{G}_{k.O-O} \subset \mathbf{G}_{O-O}, \mathbf{u}_k \subset \mathbf{U}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Отметим, что деление ТП и ПП является достаточно условным, и в данном случае к ПП отнесены процессы, которые непосредственно не связаны с преобразованием и перемещением вещества и материалов. Генезис аварии (Рисунок 1.5) предполагает последовательное отображение множества опасностей \mathbf{D} на множество угроз \mathbf{T} , множества угроз на множество опасных явлений, аварийных событий \mathbf{A} и множество опасных, аварийных событий на множество ущербов \mathbf{Y} соответствующими операторами $\mathfrak{R}_{D-T}(\mathbf{u}_1)$, $\mathfrak{R}_{T-A}(\mathbf{u}_1)$, $\mathfrak{R}_{A-Y}(\mathbf{u}_2)$, где $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2$ соответствуют «управление 1» и «управление 2» на Рисунке 1.5:

$$\left\{ \begin{aligned} [D_j \in \mathbf{D}] \quad \mathfrak{R}_{D-T} \quad [T_k \in \mathbf{T}], \mathfrak{R}_{D-T} \subset \mathfrak{R}_{\text{In-Out}}; \\ [T_k \in \mathbf{T}] \quad \mathfrak{R}_{T-A} \quad [A_n \in \mathbf{A}], \mathfrak{R}_{T-A} \subset \mathfrak{R}_{\text{In-Out}}; \\ [A_n \in \mathbf{A}] \quad \mathfrak{R}_{A-Y} \quad [Y_m \in \mathbf{Y}], \mathfrak{R}_{A-Y} \subset \mathfrak{R}_{\text{In-Out}} \end{aligned} \right. \quad (1.5)$$

где $\mathbf{A} = \{A_1, \dots, A_{N_A}\} = \{ \text{(взрыв МВС, ПМВС, ПВС)}, \text{(пожар)}, \text{(внезапный выброс угля и газа)}, \text{(горный удар)}, \text{(обрушение породы)}, \text{(прорыв воды, глины, пульпы)}, \text{(затопление)}, \text{(проникновение токсических веществ в горные выработки)}, \dots \}$ – аварии при эксплуатации угольной шахты. Угрозы (инициирующие условия) проявляются просто при взаимодействии \mathbf{E} и \mathbf{O} . Оператор $\mathfrak{R}_{T-A}(\Phi)$ соответствует переходу объекта в аварийное состояние, условием чего является совпадение совокупности инициирующих условий и инициирующих событий $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_{N_{\Phi}}\}$, что проявляется в отклонении параметров ТП w_k^l от номинальных значений W_k^l , и переход в область недопустимых Θ_k^l , т. е. при справедливости:

$$[\varphi_k \equiv (w_k^l \notin W_k^l \rightarrow w_k^l \in \Theta_k^l, \Theta_k^l \notin W_k^l)] = 1, \quad (1.7)$$

где φ_k – сложное логическое высказывание, w_k^l – k -ый параметр l -го ТП.

Отметим, что характер управления в нормальных и аварийных режимах принципиально отличается в соответствии с целями управления: при «управлении 1» (Рисунок 1.5) в нормальном режиме решаются производственные и технологические задачи; при «управлении 2» – задачи снижения ущерба от опасного явления, аварии. В большинстве случаев невозможно предотвратить инициирующие условия и события для реализации опасного явления, аварий, поэтому они могут совпадать во времени и пространстве, такие ситуации относятся к режимным и проектным опасным, для противодействия им применяются системы противоаварийной защиты (ПАЗ), которые должны обладать соответствующей устойчивостью (защищенностью) и надежностью. С помощью АСУ ТП возможен объективный и оперативный контроль приведших к опасному явлению, аварии ИУС, которые носят природный и техногенный характер, и затруднен контроль социогенных угроз (курение на рабочем месте, блокирование работы средств ПАЗ, организация работ с нарушениями требований НД, пр.).

ОПО (шахта, участок шахты) могут находиться в различных состояниях, характеризующихся наличием угроз, уровнем риска, целями работы, функциями АСУ ТП и ПП и других систем управления, переходы между которыми принято отображать с помощью графов состояний, описываемых уравнениями Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dp_i(t)}{dt} = -\sum_{j=0}^n \lambda_{ij} p_i(t) + \sum_{k=0}^n \lambda_{ki} p_k(t), i = 0, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n p_i(t) = 1 \end{cases} \quad (1.8)$$

где i и n – номер и количество состояния; $p_i(t)$ – вероятность нахождения в i -м состоянии (S_i) с начальным состоянием $p_i(0)$, λ_{ij} и λ_{ki} – интенсивность потока из i -го состояния и в него соответственно. Так, на Рисунке 1.6 показан один из вариантов построения обобщенного графа состояний для шахты (ее участка). Значения λ_{ij} можно определить для конкретной шахты на основе данных прошлых периодов наблюдения. Из-за малости (разница на 2-3 порядка относительно других вероятностей) можно принять $p_6(t) = 0$, в этом случае $\lambda_{k6} = 0$. Отметим, что при рассмотрении аэрологической опасности срабатывание систем АГЗ происходит на переходе λ_{12} , а не λ_{23} , которому соответствует совпадение во времени и пространстве ИУС.

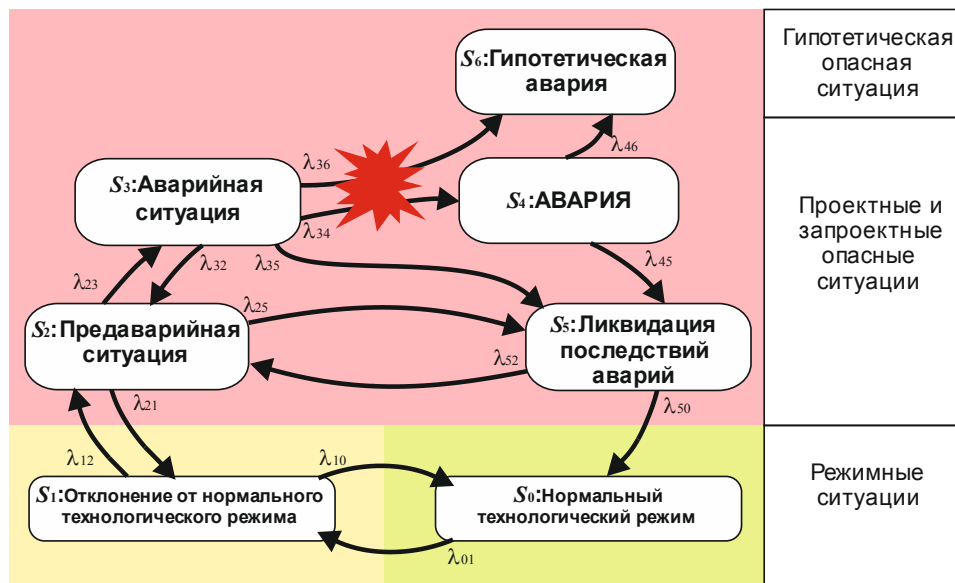


Рисунок 1.6 – Вариант графа состояния шахты (ее участка)

Для эффективного управления предприятием и оценивания этой деятельности необходимо иметь информацию о вероятностях нахождения ОПО в разных состояниях. Для промышленных предприятий одной отрасли, которые относятся к одному технологическому поколению, характерны постоянные отношения небезопасных действий и условий труда, травм различной степени тяжести, которые известны как «пирамида опасностей Du Pont» [142] и могут быть распространены на вероятности нахождения ОПО в разных состояниях. Так, в соответствии с [262], для периода с 1990 по 2000 годы средние вероятности нахождения шахт (участков) в различных режимах составили (предельные вероятности для (1.8) или средние относительные времена пребывания системы в каждом из этих состояний): в нормальном (штатном) – $p_0 \approx 0,2$; с отказами и отклонениями – $p_1 + p_2 \approx 0,7$; в аварийном режиме – $p_3 + p_4 + p_5 + p_6 \approx 0,1$. Для последнего десятилетия подобных исследований не проводилось, но с учетом того, что количество

аварий снизилось в 6,71 раза (с 1007 (с 1990 по 2000 г.) до 150 (с 2004 по 2014 г.)), то, не учитывая увеличения количества добываемого угля, производительности труда, доли аварий с тяжелыми последствиями, можно предположить, что вероятность нахождения шахт (участков) в аварийном режиме уменьшилась: $p_3 + p_4 + p_5 + p_6 \approx 0,015$.

На Рисунке 1.7 показана обобщенная последовательность работы различных систем управления при развитии аварийной ситуации на примере ТП с двумя регулируемым параметрами, применительно к угольной шахте таким объектом, например, является аэрологическое состояние подготовительного забоя, которое характеризуется количеством подаваемого воздуха (параметр 1) и содержанием метана (параметр 2). АСУ подготовительного забоя предусматривает возможность регулирования количества подаваемого воздуха, что должно обеспечить нормальный или допустимый технологический режим. При этом возможно достижение предупредительных (0,9 от предаварийных пороговых уровней) пороговых уровней по количеству воздуха и содержанию метана с соответствующей сигнализацией, что может вызвать вмешательство оператора или диспетчера. При преодолении предаварийного порогового уровня по скорости воздуха должно осуществляться технологическое блокирование, при преодолении предаварийного порогового уровня по метану – АГЗ. Дальнейший рост метана выше 5 % об. долей и наличие источника энергии, например, электрической энергии на защищаемом электрооборудовании, создает аварийную ситуацию, которая может привести к взрыву.



Рисунок 1.7 – Функционирование системы управления при развитии аварийной ситуации

Необходимо отметить, что в системах управления обычно предусмотрено несколько последовательно срабатывающих контуров (каналов) управления, которые парируют возникающие угрозы: 1) автоматическое технологическое регулирование, при этом ТП функционирует в рамках номинальных проектных показателей; 2) ручное или автоматизированное операторское или

диспетчерское управление, которое нацелено на предотвращение выхода ТП за номинальные проектные показатели; 3) автоматические технологические блокировки, которые останавливают ТП безопасным штатным образом, предотвращая его переход в предаварийный режим; 4) противоаварийное управление, которое останавливает аварийным способом ТП, после чего необходимы специальные мероприятия по его возобновлению.

Очевидно, что неотъемлемой частью систем, обеспечивающих ПБ, являются системы противоаварийного управления, которые обеспечивают безаварийный останов ТП и его перевод в безопасное состояние, и системы ПАЗ, которые аварийно останавливают ТП, что позволяет избежать аварии, но может приводить к определенным потерям. Снижение частоты останова ТП может быть достигнуто решением задачи оценки и анализа текущей опасности ТП в реальном времени, при этом текущая оценка риска является характеристикой ТП под управлением АСУ, т. е. возникает задача описания текущей опасности ТП с помощью количественного показателя, значения которого зависят от контролируемых параметров ТП и их проектных значений.

При описании опасного явления, аварий используют различные модели их развития [219]: «домино»; энергетическая; Айсберга-Генриха; фазовая; Сари (с учетом человеческого фактора); Беннера; Челлена и Ларсена; в системах MORT или SMORT-method и др. Общим для всех моделей являются: описание взаимодействий в системе «человек – машина – среда»; рассмотрение процессов передачи и трансформации энергии; использование следующих временных фаз развития: переход из нормального состояния в состояние плохого контроля, переход из состояния плохого контроля в состояние потери контроля, начало поглощения энергии человеком или объектом и прекращение энергетического воздействия.

Особое внимание уделяется исследованию, моделированию и прогнозированию каскадных опасных событий, аварий [38], при которых реализуются худшие сценарии эскалации аварий (шахты: «Шевякова», «Зырянская», «Тайжина», «Ульяновская», «Распадская» по Таблице 1.2) и которые характеризуются значительными ущербами. Такие аварии, сопровождающиеся наибольшим смертельным травматизмом, потерями технологического оборудования и запасов угля, сильным разрушением горных выработок и сооружений, всегда связаны с взрывами МВС, ПМВС и пожарами. Их причинами всегда является сложный комплекс постепенно накапливаемых ошибок и нарушений при проектировании, управлении производством, техническом обслуживании сооружений, оборудования, приборов и устройств, которые перевели объект в критическое состояние, при котором он становится неустойчивым относительно незначительных воздействий.

Опасности, угрозы и ущерб

В [114] даны общие характеристики опасностей для ОПО: а) к основным опасностям относятся: нарушения ТП, неквалифицированные действия персонала и наличие токсичных ве-

ществ в атмосфере на рабочем месте; б) к предпосылкам, усугубляющим действие угроз, относятся старение основных материально-технических фондов, снижение затрат на обеспечение (поддержание) необходимой квалификации инженерно-технических работников на протяжении жизненного цикла шахты (от проектирования до закрытия); в) к поражающим факторам относятся: отравление; взрывные волны и ударные воздействия; тепловое излучение и тепловые нагрузки (пожары); механические воздействия и нагрузки; импульсные ускорения и нагрузки.

Угольные шахты имеют аналогичные характеристики опасностей, основные из которых рассмотрены далее. Опасности органически присущи угольной шахте, постоянно в ней существуют и проявляются в виде угроз (инициирующих условий и событий – ИУС), приводящих к опасным событиям, инцидентам и авариям при совпадении ИУС во времени и пространстве, например, высокая природная метанообильность добываемого угля (опасность) приводит к взрыву при появлении техногенных (недостаток воздуха для разбавления метана, наличие электрооборудования, отказ средств АГЗ и пр.) и социогенных (блокирование работы средств АГК и АГЗ, нарушение регламента обслуживания электрооборудования и пр.) факторов. Основной источник природной опасности – угольный пласт – сложная блочная среда, характеризующаяся трещиноватостью, низкой проницаемостью и анизотропией свойств, в которой от 80 до 98 % метана находится в сорбированном состоянии и высвобождается при воздействии на пласт вмещающих горных пород и технологического оборудования, что сопровождается процессами миграции, сорбции и десорбции метана, которые, в свою очередь, происходят в разных временных и пространственных масштабах.

Применительно к угольной шахте опасности, риски, ущербы могут быть классифицированы или охарактеризованы следующим образом [51, 166, 182]: а) по источникам опасности: природные (геология, гидрология, ...) и антропогенные, к которым относятся техногенные (проектные решения, технологические режимы, отказы оборудования, ...), социогенные (действия людей: случайные, злонамеренные и пр.) и комбинированные; б) по виду факторов опасности: факторы ТП (параметрические – это параметры ТП: расход, концентрация, температура и т. д., технологические: дефекты изготовления оборудования, качество материалов, износ и пр., технические: соответствие ТУ, отказ и т. п.; субъективные – это факторы влияния человека: действия персонала, организация обслуживания и ремонта, ...); факторы среды (применение технических средств вне эксплуатационных границ, ...); в) по принадлежности источников опасности: внутренние (ошибки операторов; отказы технических устройств, разрушения конструкций; внутреннее отключение энерго-, водо- и воздухоснабжения; остановка ТП; внутренние пожары, взрывы; наличие цепочек опасных явлений и аварий; внутренний саботаж; ...) и внешние (природные воздействия, внешние техногенные воздействия (отключение питания, водоснабжения, аварии и катастрофы на других техногенных объектах); диверсии, акты терро-

ризма; военные действия; ...); г) по объектам уязвимости: экономические (собственность, доходы, персонал, ответственность после возникновения события); социально-политические (при гипотетических авариях); д) по классам аварий и масштабам ущерба: объектовые; локальные; местные; региональные; е) по степени опасности: существенные и значительные; ж) по критерию масштаба или уровня реализации в социально-экономической системе – на уровнях: административно-хозяйственных и региональных образований; отдельного хозяйствующего субъекта; подразделения; отдельного рабочего места; з) по уровню ответственности: проектные риски; риски предприятия; и) по временным факторам: бессрочные и срочные (долгосрочные и краткосрочные); статические и динамические; к) по регулярности реализации риска – фундаментальные (внутренне присущие ОПО); л) по распространенности: индивидуальные и массовые; м) по частоте и величине риска – частые риски и малые, средние и высокие риски; н) по измеримости и прогнозируемости угроз и рисков: измеряемые и неизмеряемые; прогнозируемые и непрогнозируемые; о) по виду информации, характеризующей угрозы и риски: количественная (на основе контроля и измерений в реальном времени) и качественная (на основе представления фактов, знаний в виде описаний, таблиц, экспертных оценок, лингвистических переменных и пр.).

Типичными и наиболее значимыми видами природных и техногенных опасностей для угольной шахты являются [169]: а) взрывы МВС и ПМВС, оценка риска для которых производится по следующим критериям: категория шахты по метану; взрывчатость пыли по выходу летучих; группа по интенсивности пылеотложения; естественная увлажненность массива; наличие крепких песчаников в породном массиве; нарушение пылевзрывобезопасности выработок; необеспеченность расчетным количеством воздуха; износ электрооборудования, нарушение его взрывозащиты; отсутствие или неисправность аппаратуры АГК и средств АГЗ; б) эндогенные и экзогенные пожары; в) обрушение кровли и боков выработки, оценка риска для которых производится по следующим основным критериям: класс основной кровли по обрушаемости; класс пород почвы по устойчивости; нахождение в зоне влияния очистных работ или выработанного пространства смежных лав; ведение работ в зоне геологического нарушения; нарушение паспорта крепления подготовительных забоев; г) газодинамические явления: внезапные выбросы угля и газа и горные удары, оценка риска для которых производится по: категории шахтопласта по выбросоопасности; удароопасности шахтопласта; наличию геологического нарушения в зоне ведения работ; нарушению профилактических мер по предупреждению внезапных выбросов угля и газа.

Аэрологическая опасность является наиболее изученной, приводящей к самым тяжелым последствиям, ее характеристики, т. е. качественные и количественные описания факторов опасности, вспышек МВС и взрывов МВС и ПМВС, даны в [5, 16, 44, 115, 121, 133, 154, 231, 233,

258, 265] и многих других публикациях, в соответствии с которыми: 1) МВС (инициирующее условие), являющаяся причиной аэрологической угрозы, взрывоопасна при содержании в ней метана в диапазоне от 5 (нижний концентрационный порог взрываемости – НКПВ) до 15 % об. долей (верхний концентрационный порог взрываемости – ВКПВ), при этом границы зависят от давления и температуры МВС и температуры источника воспламенения (инициирующее событие). Системы автоматической газовой защиты (АГЗ) – противоаварийной защиты (ПАЗ) должны обесточивать электрооборудование при концентрации метана не более 2 % об. долей, при этом двукратный коэффициент запаса по пороговому значению призван учесть неконтролируемые факторы: давление, температуру, распределение метана по сечению выработки и пр. Наибольший ущерб от взрывов МВС и ПМВС достигается при содержании метана 9-10 % об. долей, при этом тяжесть аварии прямо пропорциональна количеству МВС или ПМВС; 2) большинство взрывов происходит при возникновении предаварийного состояния шахтной атмосферы, вызванного ростом концентрации метана и угольной пыли в течение достаточно длительного времени, при этом появление высокоэнергетического источника приводит к взрыву с вероятностью, зависящей от времени и содержания метана и угольной пыли в рудничной атмосфере; 3) в основном на шахтах взрываются ПМВС, НКПВ которых (в зависимости от количества и свойств пыли) может быть достигнут при содержании метана 1,5 % об. долей, т. е. меньшем, чем порог срабатывания систем АГЗ. Вероятность взрыва ПМВС тем больше, чем больше дисперсность пыли (при размерах менее 1000 мкм пыль становится взрывчатой). НКПВ пыли составляет 16-96 мг/м³, ВКПВ – 2000 мг/м³. Вероятность возникновения взрыва зависит от выхода летучих (V_c^{daf}): при $V_c^{daf} < 6\%$ взрыв пыли невозможен, при $V_c^{daf} > 15\%$ пыль становится взрывчатой, взрывчатость при $6\% < V_c^{daf} < 15\%$ определяется лабораторными исследованиями. Количество угольной пыли регламентируется [244]. Взрыв угольной пыли возможен только при наличии мощного источника энергии: взрыва МВС или взрывчатых веществ (ВВ) при буровзрывных работах (БВР); 4) для предотвращения образования МВС и ПМВС нормативными документами [201] предусматривается подача достаточного количества свежего воздуха, при этом существует ограничение скорости его движения в очистных и подготовительных забоях до 4 м/с; 5) использование высокопроизводительной техники приводит к увеличению образования угольной пыли и выделения метана, что требует увеличения количества воздуха на разбавление, т. е. в современных высокопроизводительных шахтах ПМВС возникают неизбежно; 6) особую опасность вспышкам и взрывам придают характеристики проявления аэрологической опасности, связанные с эскалацией опасных явлений, аварий (возникновением каскадных аварий) – вспышка метана в горной выработке вызывает взрыв ПМВС, от возникшей УВВ в других горных выработках образуются ПМВС, которые также взрываются, и т. д.

В соответствии с [11, 228], к наиболее значимым факторам аэрологической опасности от-

носятся: а) по горно-геологическим условиям – наличие геологических нарушений; абсолютная газообильность; угол заложения выработки; фильтрационно-коллекторские свойства пласта; пылеобразующая способность; прочностные характеристики пласта и вмещающих пород; б) по горнотехническим и горно-технологическим условиям (системы вентиляции) – сечение и способ проведения горной выработки; газообильность участка; нагрузка на очистной забой; скорость продвижения забоя; реализуемые технологические операции (дробление); топологические и аэродинамические параметры схем вентиляции, дегазация; обработка пласта химическими реагентами, противопылевые мероприятия, проветривание; в) по проектированию – правильность выбора профилактических мероприятий и способа проветривания и дегазации; г) по вентиляции – вскрытие выбросоопасных пластов; вскрытие и разгазирование временно остановленных участков; наличие непроветриваемых куполов за крепью; некачественная или неправильная установка вентиляционных сооружений; отсутствие вентиляторов местного проветривания (ВМП) или их частые остановки; применение неустойчивых схем проветривания и суфлярное выделение метана; д) любые некачественные действия по дегазации; е) низкая трудовая и исполнительная дисциплина и несоблюдение правил техники безопасности; ж) фрикционное искрение от вращения рабочего органа комбайна.

Причинами образования взрывоопасных МВС являются: прекращение вентиляции по организационным и техническим причинам – до 47 %; скопления метана в выработанном пространстве, газодренажных сетях, тупиковых выработках и куполах – до 37 %; забучивания печей (скважин) и обрушения горных выработок – до 15 %; неправильные проектные решения – до 14 %, суммарная доля других причин не превышает 9 % [14, 64, 151, 160, 168, 251]. А источниками инициирования взрывов являются: подземные пожары – до 36 %; электрооборудование – 22-28 %; буровзрывные работ – 22-46 %; фрикционное искрение – до 13 % и курение на рабочем месте – 8-13 %, контроль большинства из которых возможен автоматизированными средствами [14, 64, 151, 160, 168, 251]. В работе [151] причины, места и источники взрывов условно разделены на контролируемые, связанные с нарушением требований нормативных документов, технологии, трудовой и технологической дисциплины, и слабоконтролируемые, связанные с природными явлениями (молнии, фрикционное искрение и пр.) и процессами, протекающими в газодренажных сетях и выработанном пространстве (самонагревание углей, сдвигание пород, повышение водопритока и т. п.). Там же указано, что доля причин взрывов, которые доступны контролю разного вида, составляет 67 %, доля контролируемых мест возникновения – 78 % и доля контролируемых источников инициирующих событий – 84 %. Радикальные способы предотвращения вспышек и взрывов заключаются в дегазации угольных пластов, увеличении количества воздуха, подаваемого на разбавление, эффективном пылеподавлении (подавление пылеобразования, связывание пыли, обеспыливание рудничной атмосферы) и их комбинирова-

нии. Все перечисленные способы являются ресурсоемкими и отрицательно сказываются на экономической эффективности производства, из-за этого особая роль отводится СКАС, средствам АГЗ и информационно-управляющим системам, в частности МФСБ.

Пожары представляют собой серьезную и постоянную угрозу, традиционно считаются одним из наиболее разрушительных видов аварий на производстве. Особая опасность пожаров заключается в возможности их быстрого распространения из-за наличия большого количества горючих материалов и высокой скорости движения воздуха. Этот вид опасности подробно исследован, и способы борьбы с ним известны [50, 103, 122, 127, 161, 187, 206, 229, 230, 232, 233, 252 и др.], теоретическое обоснование дано в работах А. А. Скочинского, В. И. Веселовского, В. М. Маевской, О. И. Чернова, В. И. Саранчук, А. А. Мясникова, В. М. Огиевского, Г. Н. Крикунова, В. Г. Игишева, Л. П. Белавенцева, Д. Ю. Палеева и других ученых.

Эндогенные пожары являются одним из тяжелейших видов аварий на угольных шахтах из-за значительного экономического ущерба, который связан с простоем предприятия, потерей подготовленных к выемке запасов, значительными затратами на ликвидацию, опасности для работников ввиду возможности отравления выделяющимися газами и того, что пожары не менее, чем в 30 % случаев являются иницирующими условиями для вспышек МВС и взрывов МВС и ПМВС. Эндогенные пожары возникают в: выработанных пространствах действующих очистных забоев в 25 %; отработанных изолированных участках в 30-40 %; отработанных неизолированных участках в 12-37 %; капитальных и подготовительных выработках в 30-40 % случаев [120]. Условия самовозгораний угля, которые являются причиной эндогенных пожаров, разнообразны и обусловлены горно-геологическими условиями, используемыми технологическими схемами, схемами вентиляции, интенсивностью ведения горных работ, способами управления кровлей, надежностью и своевременностью изоляции выработанных пространств и др. [120]. Несмотря на то, что зафиксировано устойчивое снижение количества эндогенных пожаров за последние 20 лет (примерно в 10 раз), затраты только на их ликвидацию существенно выросли [124], а концентрация горных работ, т. е. высокая стоимость современного добычного комплекса и подготовленных к выемке запасов, что характерно для длинных очистных забоев, приводит к многократному увеличению потерь от единичных эндогенных пожаров. В работе [2] проведен анализ причин и условий возникновения эндогенных пожаров, который позволяет сделать вывод о существенном влиянии «человеческого фактора», который проявляется на уровне подготовки руководителей, специалистов шахты и должностных лиц, осуществляющих надзор за безопасным ведением горных работ, путем сокрытия случаев обнаружения начальных признаков пожаров, непринятия мер по их предотвращению и распространению, игнорирования и неиспользования в производственной деятельности современных представлений о влиянии горного давления на формирование и возникновение в выработанных простран-

ствах шахт очагов самовозгорания угля.

Основными причинами экзогенных пожаров являются [252]: короткие замыкания и неисправности в электрооборудовании; высокотемпературные продукты взрывных и огневых работ; высокие температуры оборудования из-за трения конвейерной ленты, недостатка смазочных материалов в редукторах, разрушения подшипниковых узлов, перегрева масла; фрикционного искрения (трения рабочего органа комбайна о породу, троса лебедки об элементы крепи); «человеческий фактор» (курение, поджог, нарушение требования нормативных документов, невыполнение проектных решений); некачественная или несвоевременная изоляция выработок и участков; неучтенные аэродинамические связи; ведение работ в зоне геологических нарушений; малая скорость продвижения; сверхнормативные потери угля.

Далее в работе пожарная опасность рассматривается как феномен, который необходимо: обнаружить и локализовать (определить местоположение) на ранних стадиях (по содержанию индикаторных газов, характерному изменению влажности входящего и исходящего воздушного потоков и пр.); спрогнозировать путем выявления мест в шахте, которые по совокупности признаков могут стать очагом самонагрева, самовозгорания и пожара.

Определяющее влияние на возможность реализации любых других видов опасностей оказывает деятельность людей. Установлено, что доля аварий по причинам технического характера составляет 5-25 %, а по «человеческому фактору» – 50-90 % [14, 64, 151, 160, 168, 251], в большинстве случаев аварийные ситуации возникают из-за неверных вынужденных действий работников под влиянием ошибок управления, определения состояния ПП, планирования и проектирования. В Протоколе областного совещания «Итоги работы угольной отрасли Кузбасса за 2014 год. Меры по улучшению состояния промышленной безопасности» от 11 февраля 2015 г. приведены результаты анализа ПБ в Кемеровской области, в соответствии с которыми: ситуация с низкой квалификацией персонала и руководящего состава признана критической; основными причинами несчастных случаев со смертельными исходами в 62,5 % случаев является неудовлетворительная организация производства работ и только в 20,8 % случаев – нарушение ТП; отрицательное влияние «человеческого фактора» на ПБ приобрело системный характер и не позволяет организовать безопасные горные работы в условиях интенсификации производства.

Типичными составляющими «человеческого фактора» являются [160]: ошибочные проектные и управленческие решения, объективный контроль за которыми может быть обеспечен с помощью АСУ ТП, в том числе СКАС и МФСБ; невыполнение должностных инструкций, в том числе по обслуживанию технологического оборудования и технических средств автоматизированных и измерительных систем, объективный контроль чего частично может быть организован; нарушение требований техники безопасности, ОТ и ПБ, объективный автоматизированный контроль за которыми затруднен или невозможен и реализуем на основе организационных ме-

роприятий.

Осознанные нарушения правил безопасности связаны со сложностью исполнения процедур обеспечения безопасности; длительностью и рутинностью исполнения процедур по обеспечению безопасности, которые снижают производительность труда по основным производственным задачам; сложностью восприятия и запоминания правил, процедур обеспечения безопасности, а также восприятия информации, касающейся безопасности и поступающей от различных источников [160, 182]. Все это является причинами деградации ТП и ПП угольных шахт, эффект от чего хорошо известен [13, 125, 262]: работа в штатном режиме составляет около 20 %, с отказами и отклонениями – 70 % и в аварийном режиме – 10 % календарного фонда времени; на 1500-3000 случаев небезопасных действий и условий труда приходится 40-100 легких и тяжелых травм и 1 смертельная. Можно констатировать, что для угольных шахт наиболее характерна производственная ситуация, объективно вынуждающая персонал работать с нарушениями требований ОТ, техники безопасности, технологических регламентов и ПБ, что свидетельствует о необходимости корректировки ПП и повышения квалификации руководящего персонала.

Действительно, развитие аварийной ситуации начинается с накопления мелких отклонений от нормальных режимов работы, такие отклонения не несут непосредственной угрозы, воспринимаются как не критические, при этом не производятся корректирующие воздействия, но формируются и распространяются навыки работать с незначительными отклонениями и нарушениями технологии, требований безопасности и эксплуатации. Зачастую такие отклонения являются ненаблюдаемыми (недиагностируемыми). Если в простой технической системе малое отклонение является безопасным, а их сочетание можно проанализировать на этапе проектирования, то для сложной природно-технической системы (угольной шахты), с учетом различных неопределенностей и слабо контролируемого «человеческого фактора», появление множества малых отклонений может приобретать кумулятивный эффект, а многообразие возможных вариантов их сочетания делает невозможным исчерпывающий анализ при проектировании и эксплуатации, что со статистической закономерностью приводит к опасным ситуациям, инцидентам и авариям.

К опасностям и угрозам также следует отнести отказы технических систем и средств, призванных осуществлять противоаварийное управление и защиту, ошибки проектирования ОПО и реализации проекта.

Из-за недостаточных и неправильных действий в режимных и проектных опасных ситуациях происходят опасные явления, аварии, ущерб от которых во многом определяется людскими потерями. Анализ индивидуальных рисков при взрывах, вспышках и пожарах [150] показывает, что смерть наступает из-за воздействия УВВ в 3-16 %, отравления токсическими продуктами пожарных газов – в 30-60 % и токсическими продуктами взрывов газовоздушных и пылевоз-

душных смесей – в 13-66 % случаев. В то же время современные средства взрывозащиты горных выработок (ВЗГВ) [260] позволяют снизить поражающие факторы взрывов до приемлемого уровня: гасят пламя и тепловое излучение; снижают избыточное давление во фронте УВВ на 70 %; улавливают осколки и предметы; оказывают нормализующее влияние на состав рудничной атмосферы, снижая запыленность и задымленность. Кроме систем ВЗГВ величина людских потерь также определяется действиями систем аварийного оповещения об аварии (СОА), поиска застигнутых аварией людей, характеристиками самоспасателей, пунктов переключения в самоспасатели (ППС) и пунктов коллективного спасения персонала (ПКСП).

Управление производством, деятельностью работников и риском

С экономической точки зрения ОТ, техника безопасности, промышленная и производственная безопасность являются определяющими в затратах предприятия при обеспечении его бесперебойной работы и предотвращении расходов, связанных с покрытием убытков в результате нарушения нормального ПП [119]. Эти затраты могут быть оценены с позиций эффективности по критерию наличия и изменения полезного эффекта, достигаемого в их результате, следовательно, управление производством не может быть без управления риском. В работах [14, 251] рассмотрены управляемость, устойчивость и ритмичность ПП на угольной шахте; подтверждена их тесная взаимосвязь с ОТ, ПБ и с экономическими показателями функционирования предприятия в условиях современного высокоинтенсивного производства; предложено в качестве универсальной интегральной оценки управляемости ПП, которая косвенно характеризует уровень ПБ, использовать отклонения от плановых производственных показателей за различные временные промежутки.

Невозможно спроектировать, построить и эксплуатировать абсолютно безопасный ОПО, поэтому задачей управления ПБ не является сведение риска опасного явления, аварии к абсолютному минимуму, а только его снижение до уровня допустимого риска $R_{доп}$. С учетом этого, для ОПО задача оптимального управления в общем случае может быть сформулирована в следующем виде:

$$\begin{cases} \mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Max}_{\mathbf{u} \in U} [\Xi_{ээ}(\mathbf{u})]; \\ R < R_{доп}, \end{cases} \quad (1.9)$$

где $\Xi_{ээ}$ – показатель экономической эффективности; R – риск, возникающий при управлении \mathbf{u}_{opt} . Очевидно, что управление (1.9) возможно только при наличии информации об оптимизируемых показателях ($\Xi_{ээ}$), контролируемых параметрах (R), характеризующих близость к наложенным ограничениям ($R_{доп}$), и возможности нанесения управляющих воздействий \mathbf{u}_{opt} .

В рамках СУОТ и СУПБ должны решаться задачи менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации ОПО: анализа и идентификации рисков; количественного оценивания, сравнительной оценки рисков; управления рисками, что в постановке (1.9) не обязательно сводится к его уменьшению и может принимать вид:

$$\begin{cases} \mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Opt}_{\mathbf{u} \in U} [R(\mathbf{u})]; \\ R_{opt} < R_{доп}, \end{cases} \quad (1.10)$$

где R_{opt} – оптимальное значение риска, определяемое по внешним критериям и являющееся платой за повышенную эффективность, которая достигается путем осознанного отказа от принятия всех возможных мер по минимизации угроз. При управлении под риском оценки опасности, в которых объединяются вероятность опасного события и ущерб от него.

Для угольных шахт, которые характеризуются значительными неопределенностью и инерционностью, особое значение приобретает задача прогнозирования рисков, решение которой позволит улучшить управление рисками.

МФСБ, как информационная система, обеспечивающая информационную поддержку принятия решений в части обеспечения ОТ и ПБ, может оперировать данными, собираемыми всевозможными АС, которые эксплуатируются на шахтах и обеспечивают сбор необходимой информации. Поэтому актуальна разработка соответствующих методов обработки данных и математического, алгоритмического и программного обеспечения, их реализующих. Такое обеспечение касается вопросов ОТ и ПБ и требует технического регулирования, остальные вопросы (интеграции, метрологии и пр.) успешно решаются на основе существующих методов и технологий в рамках действующих нормативных документов и договорных отношений.

Очевидно, что задачи обеспечения экономической эффективности предприятия органично и неразрывно связаны с управлением ОТ и ПБ. Принципы и процедуры менеджмента риска, в рамках которого традиционно решаются задачи управления рисками в финансово-экономической сфере, могут быть с определенными дополнениями и изменениями применены к задачам управления ОТ и ПБ. При этом особенно актуальна задача менеджмента риска (в данной постановке) в процессе эксплуатации и оперативного управления предприятием.

1.2 Повышение уровня охраны труда и промышленной безопасности, современная концепция безопасности и менеджмент риска

Для повышения уровня безопасности используются следующие подходы [117, 118]: традиционный, который основан на концепциях ОТ и ПБ; технологический, предусматривающий разработку безопасных высоконадежных производств на основе интеллектуальных систем проектирования, при этом состояния безопасности (технологической, экономической, экологической и пр.) достигаются за счет высокой надежности всех составляющих ПП; информационно-управляющий, состоящий в использовании АС диагностики неисправностей и управления эксплуатационной надежностью с привлечением методов искусственного интеллекта, при этом состояния безопасности достигаются для любых составляющих ПП, для которых обеспечивается надежный контроль их текущей эксплуатационной надежности.

Современная концепция обеспечения безопасности предусматривает использование перечисленных подходов и их расширение на основе:

- а) отказа от идей «абсолютной надежности» и «нулевого риска» и использовании категории допустимого (приемлемого) риска;
- б) стремления к предотвращению угроз до их возникновения (меры по снижению вероятности опасного явления, аварии на два-три порядка эффективнее мер, направленных на снижение возможных ущербов по критерию «затраты-результаты» [4, 39]), так называемого опережающего управления рисками, что подразумевает исчерпывающий анализ опасностей и угроз на этапе проектирования ОПО;
- в) системного и комплексного подхода и принципа эшелонирования средств обеспечения безопасности (использования барьеров безопасности), также основывающихся на исчерпывающем анализе опасностей и угроз и предусматривающих последовательность мероприятий по снижению риска – предупреждение; обнаружение; контроль; снижение последствий; действия при чрезвычайной ситуации;
- г) принципа управляемой безопасности [108], который следует из категории допустимого риска и делает неизбежным использование АС, обеспечивающих контроль угроз и оценивание различных рисков на всех этапах жизненного цикла предприятия;
- д) использования менеджмента риска к различной деятельности на ОПО на всех этапах его жизненного цикла, реализующих управление безопасностью на всех уровнях управления;
- е) использования средств и способов объективного контроля (количественного оценивания) риска;
- ж) современных информационных технологий, развитых методов обработки данных;

з) дистанционного мониторинга состояния ОТ и ПБ.

При решении технологических задач на ОПО широко применяются различные АС, которые используются: в рамках СУОТ, СУПБ и производственного контроля; при реализации противоаварийного управления и защиты; для поддержки действий во время спасения и ликвидации последствий опасного явления, аварии; в составе структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). Использование этих АС, призванное обеспечить объективный контроль риска и дистанционный мониторинг состояния ОТ и ПБ на основе современных информационных технологий, соответствует государственной политике в части оптимизации контрольно-надзорной деятельности и становится все более значимой.

Основополагающие концептуальные работы в области оценки и анализа риска выполнены научными коллективами Н. А. Махутова, Е. А. Микрина, В. В. Шульца, В. В. Кульбы. Ими разработаны методы и модели, используемые для управления рисками: методические основы [173, 174, 175], методы анализа, оценки и управления рисками на основе экспертных оценок и сценариев [185, 266, 268]. Математические основы теории риска наиболее системно освещены в [149]. Исследованиям в области анализа опасностей и оценки риска промышленных аварий и катастроф посвящены работы отечественных и зарубежных авторов: М. В. Бесчастнова, Н. Н. Брушлинского, А. А. Быкова, А. Н. Елохина, В. А. Еременко, Р. Х. Идрисова, А. В. Измалкова, В. А. Котляревского, И. Р. Кузеева, И. И. Кузьмина, Х. Кумамото, В. И. Ларионова, В. А. Легасова, М. В. Лисанова, И. И. Мазура, В. Маршалла, Н. А. Махутова, Г. Э. Одишария, С. М. Пайтерсена, А. С. Печеркина, А. И. Попова, Б. Е. Прусенко, В. С. Сафонова, В. И. Сидорова, И. С. Таубкина, Э. Дж. Хенли, А. Н. Черноплекова, А. А. Шаталова, А. А. Швыряева, А. М. Козлитина и ряд других специалистов преимущественно в области ПБ. Эти работы нашли свое отражение в стандартах и НД Ростехнадзора. Периодические публикации осуществляются в специализированных («Геориск», «Проблемы анализа риска», «Проблемы управления рисками в техносфере», «Проблемы управления/Control Sciences», «Управление риском» и т. д.) и отраслевых журналах («Безопасность труда в промышленности», «Уголь» и др.).

В современном понимании [52]: а) риск – это мера опасности, характеризующая вероятность возникновения события p и величину ущерба от него Y ; б) существует взаимосвязь риска и информационной неопределенности, причиной которой являются неполнота информации о параметрах и видах взаимосвязей, характеризующих событие и ущерб, и стохастический характер событий и зачастую ущерба, при этом уменьшение информационной неопределенности является условием снижения риска; в) риск связан с уязвимостью, которая непосредственно влияет на p и Y .

Оценка и управление риском осуществляется в рамках менеджмента риска

(риск-менеджмента), определение которого дано в [83], – это скоординированные действия по руководству и управлению организацией в области риска (Рисунок 1.8).

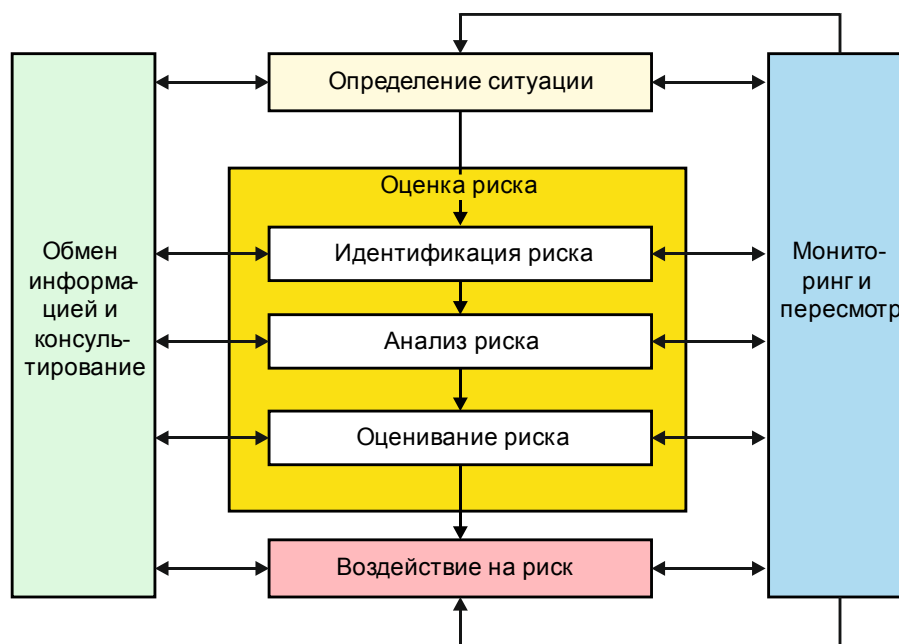


Рисунок 1.8 – Процесс менеджмента риска

Применительно к рассматриваемым в работе задачам целесообразно говорить о риск-менеджменте, который является частью (подсистемой) СУОТ и СУПБ и осуществляется на всех этапах жизненного цикла ОПО. Процедура риск-менеджмента соответствует классическим процедурам синтеза и управления технической системой [51]: а) постановка задачи управления риском (идентификация ОПО и опасностей, формулировка целей и задач анализа и управления риском, выбор методов анализа риска, построение модели оценивания риска и определение необходимых источников информации для снижения информационной неопределенности, оценка воздействий, последствий и ущербов) и синтез системы; б) постановка цели управления (например, уровень допустимого риска $R_{доп}$ в (1.9), (1.10)); сбор и анализ информации, определение текущего значения уровня риска (R в (1.9), (1.10)); сравнительная оценка риска (проверка неравенств в (1.9), (1.10)); выработка и осуществление управляющих действий по снижению риска (\mathbf{u}_{opt} в (1.9), (1.10)); в) постоянное повторение действий по пункту (б) и при выявлении невозможности достижения цели управления пункта (а).

Под управлением понимается выбор средств, обеспечивающих достижение заданного уровня безопасности, определение количественных характеристик этих средств и выбор способов их применения [108]. В (1.9) и (1.10) под управлением \mathbf{u}_{opt} подразумеваются действия на различных уровнях предприятия: от автоматического срабатывания систем ПАЗ до модифика-

ции проектов ОПО; от оперативного воздействия на ТП в реальном времени до планов стратегического развития предприятия в долгосрочной перспективе. Применительно к управлению риском могут быть сформулированы следующие задачи управления [182]: а) обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации ОПО при затратах не более заданных $C_{зАд}$:

$$\begin{cases} \mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Max}_{\mathbf{u} \in U} [\Delta R(\mathbf{u}, \mathbf{C})]; \\ \sum_{i=1...NR} C_i(\mathbf{u}) < C_{зАд}; \end{cases} \quad (1.11)$$

б) минимизировать фактические затраты $\sum_i C_i$, обеспечивающие снижение риска до $R_{доп}$:

$$\begin{cases} \mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Min}_{\mathbf{u} \in U} \left[\sum_{i=1...NU} C_i(\mathbf{u}) \right]; \\ R - \Delta R(\mathbf{u}_{opt}) \leq R_{доп}, \end{cases} \quad (1.12)$$

где $\mathbf{C} = \{C_1, \dots, C_{NR}\}$ – множество стоимостей различных вариантов управления; ΔR – снижение риска, $\Delta R = R_{исх} - R$, $R_{исх}$ и R – риск до и после мероприятий.

Применительно к управлению риском различают немедленную реакцию на происшествие и упреждающее управление по факторам риска, которое является важнейшим [13, 155]. Это осуществимо при наличии сценариев развития происшествий с начальным инициирующим событием в рамках метода «дерева отказов» [155].

Сравнительная оценка риска, как основа простейший способ управления, основана на решении неравенства вида $R < R_{доп}$ в (1.9) и (1.10), при невыполнении которого должны приниматься решения по блокированию горных работ, в том числе из-за высокой интенсивности отказов технических средств, отсутствия технического обслуживания систем противоаварийного управления и т. п., по увеличению страховых отчислений и т. д.

В основе управления риском лежит мониторинг риска, который подразумевает следующие многоуровневые действия: наблюдение за контролируемым процессом в рамках известных опасностей, ситуаций и концепций (нормальные состояния, инциденты, проектные аварии); выявление запроектных состояний, ситуаций, аварий и сбор данных для последующего анализа; прогноз риска (под прогнозом понимаются различные предполагаемые оценки свойств и характеристик в будущем, например, вероятность события с определенным ущербом) [269].

Для прогнозирования появления предаварийной ситуации могут использоваться математические модели на основе марковских процессов [47, 194, 220, 265 и др.]. Так, в работе [47] рассмотрены возможные состояния участка угольной шахты с использованием графа состояний

горной выработки с учетом наличия взрывоопасных содержаний метана и пыли и источника воспламенения (ИУС на Рисунке 1.4), проведен анализ полученных дифференциальных уравнений Колмогорова, рассчитаны полные вероятности возникновения инициирующих событий, приводящих к взрывам метана и пыли: фрикционное искрение – $14,3 \times 10^{-4}$, загорание – $(0,85-11,67) \times 10^{-4}$, электрическая искра – $(0,45-3,09) \times 10^{-4}$, пожар – $(0,37-3,52) \times 10^{-4}$, для различных выработок – $(11,2-523,9) \times 10^{-4}$. Отметим, что оценки, получаемые на основе решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова, при наличии актуальных данных подобного типа являются хорошим инструментом принятия оптимальных решений на этапе проектирования. Однако эти оценки затруднительно использовать в ходе эксплуатации, так как они не учитывают изменения множества контролируемых и неконтролируемых параметров аэрологического состояния, состояния и положение работников, внутришахтного транспорта, подвижного оборудования и пр. При этом важным элементом является необходимость учета опасных отказов систем ПАЗ, которые зависят от многих неконтролируемых факторов и фактически не могут быть определены. Также такой подход имеет существенное ограничение, связанное с тем, что систему уравнений Колмогорова вида (1.8) возможно решать только для стационарных процессов, при которых интенсивности переходов не изменяются во времени. Однако именно это условие не соблюдается для угольных шахт, так как для них характерна нестационарность процессов, связанная с внезапными выбросами угля и газа, отказами и возгоранием оборудования, возникновениями пожаров, изменениями вентиляционных режимов и пр.

Прогноз риска может базироваться на моделях, аналогичных моделям количественного оценивания риска, и подразумевает использование известных методов: тренд-анализ, предиктивный анализ, по аналогии, экспертный анализ и др.

Попытка рассмотрения процедуры менеджмента риска применительно к взрывам МВС и ПВМС сделана в [131].

1.3 Обзор методов оценивания рисков

Опасности и риски являются объективными факторами эксплуатации ОПО. Субъективный характер риска связан с его оценкой, в силу чего разработка и использование единых методов анализа и оценивание риска снижает его субъективность, что является частью рационалистического подхода. Традиционно используются две основные концепции риска: рационалистическая и объективная. В отношении многих аспектов безопасности речь должна идти не столько о риске, сколько об информационной неопределенности, при этом рационалистический подход

предполагает возможность объективного контроля (измерения) физических величин с целью преодоления информационной неопределенности [269].

Количественное оценивание риска необходимо для решения задач (1.9) и (1.10) и основано на том, что риск – это физическая величина, которая характеризует реально существующие на шахте опасности, проявляемые через ТП и ПП, в соответствии с моделью количественного оценивания риска существует его истинное значение, которое можно определить с некоторой точностью, определенной, в свою очередь, объемом информации об объекте (работнике, процессе, участке, шахте). Необходимо учитывать, что «точность» количественного оценивания риска принципиально ограничена неопределенностями двух типов: алеаторной, связанной с объективными стохастическими свойствами объектов и процессов, и эпистемической, определяемой недостаточностью информации об этих свойствах, которую можно уменьшить современными методами обработки данных: data mining, data fusion, big data и др. Также следует учитывать источники неопределенностей [274], к которым относятся постановка задачи, модель количественного оценивания риска (структурная неопределенность, упрощения, использования модели вне оговоренных ограничений, ...), ее параметры (параметрическая неопределенность, нестационарность, ...) и пр.

Описание причинно-следственных связей и взаимосвязь их характеристик с измеряемыми (и вычисляемыми на их основе) параметрами ТП и ПП образуют модель количественного оценивания риска, вычисления по которой могут проводиться, в том числе в реальном времени, на основе НД и на основе других методов. Кроме формирования обратной связи в (1.9) и (1.10) результаты количественного оценивания риска обеспечивают решение других актуальных задач повышения уровня ОТ и ПБ на разных уровнях управления: а) ранжирование объектов опасностей (участков одной шахты, шахт, компаний), что позволяет управлять ресурсами для решения приоритетных задач обеспечения безопасности в кратко-, средне- и долгосрочном временном масштабе на разных уровнях управления и объективно оценивать деятельность служб эксплуатации и управленческого персонала; б) предоставление федеральным министерствам и службам оперативной и объективной информации о состоянии ОТ и ПБ (в настоящее время в региональные и центральные центры управления кризисными ситуациями управления военизированных горноспасательных частей (ЦУКС УВГСЧ) МЧС РФ и территориальные управления Ростехнадзора системы АГК должны передавать мгновенные значения содержания метана, оксида углерода, что недостаточно для оценивания опасностей); в) формирование объективных оценок опасностей для оптимизации страхования и пр.

Однако в настоящее время отсутствует научно-обоснованный подход к определению риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты: известные методы не ориентированы на использование в реальном времени; отсутствует модель количественного оценивания риска,

не определен параметр, который необходимо применять – вероятность аварии (явления) или интенсивность финансовых потерь во времени, или удельные показатели (финансовые потери или смертельные случаи) на единицу продукции и т. п. Наиболее разработаны и применимы статистические методы оценки риска, основанные на теории надежности. Однако их известные недостатки: отсутствие достоверной априорной информации о вероятностных характеристиках многих опасных событий; математические вычисления с малыми значениями вероятностей (10^{-6} - 10^{-9} ч⁻¹) и расчеты для маловероятных (10^{-6} - 10^{-18} ч⁻¹) сочетаний или последовательностей событий, приводящие к значительным ущербам (10^7 - 10^{10} р), которые дают неадекватные оценки рисков (интенсивности финансовых потерь, р/час); модели оценивания, используемые вне допустимых границ (события считаются независимыми и пр.), приводят к необходимости комбинирования различных методов в единой модели количественного оценивания риска.

При разработке такой модели применительно к угольным шахтам необходимо учитывать, что количественное оценивание риска должно: а) осуществляться непрерывно; б) базироваться на единой шкале, т. е. обеспечивать «единство измерений»: количественные оценки рисков для разных участков шахты, разных шахт, разных бассейнов, разных компаний должны быть соотносимы друг с другом; в) быть объективным и автоматизируемым, т. е. в основном использовать измерения, осуществляемые АС; г) учитывать плохо измеряемые и формализуемые показатели («человеческий фактор» и т. п.); д) результат количественного оценивания риска должен быть структурированным, т. е. позволять: 1) выделять составляющие от разных факторов опасности (аэрологической, пожарной, газодинамической, геодинамической, человеческой и т. п.); 2) описывать составляющие конкретного фактора опасности (например, в аэрологическом риске выделять вероятность взрыва, для которого формировать распределение вероятности причин: ошибка проектирования, высокая интенсивность опасных отказов системы АГК, нарушение проектных решений и т. п.).

Рассмотрим некоторые известные модели оценивания риска и их особенности. Наиболее распространенным является подход, соответствующий определению риска R как меры опасности, характеризующей вероятность возникновения события p и величину ущерба от него Y [52, 141, 233 и большинство других источников]:

$$R = p \times Y . \quad (1.13)$$

Применительно к аэрологическому риску (взрыву МВС) выражение (1.11) принимает вид [141]: $R_A = p\{НПВ < C_{CH_4} < ВПВ\}p_{ИВ} \times Y$, где $p\{НПВ < C_{CH_4} < ВПВ\}$ – вероятность того, что содержание метана в МВС (C_{CH_4}) будет выше НКПВ и ниже ВКПВ); $p_{ИВ}$ – вероятность нали-

чия источника воспламенения в опасной МВС; $Y = \int_{\Omega} p_{\text{Л}}(x, y, z) p_{\text{П}}(x, y, z) d\Omega$, где $p_{\text{Л}}(x, y, z)$ и $p_{\text{П}}(x, y, z)$ – плотности распределения горнорабочих в подземном пространстве и вероятность их поражения по всей зоне поражающего фактора Ω . Отметим, что в (1.13) ущерб соответствует только людским потерям, что ограничивает возможности анализа, так как под ущербом в общем случае понимаются и другие потери, которые обычно приводятся к единой шкале в денежном выражении. Так, в [36] приведены следующие формулы для разных видов риска: $R = \int F(Y) p(Y) dY$, где $F(Y)$ – весовая функция потерь, обеспечивающая приведение потерь различной природы к единой оценочной шкале, $p(Y)$ – плотность распределения случайной величины, Y – ущерб; $R = pM[Y]$, где $M[Y]$ – математическое ожидание ущерба, p – вероятность наступления неблагоприятного события; $R = pYp_Y$, где p_Y – вероятность возникновения ущерба Y , что важно, так как подразумевает возможность оценки действия средств и систем, предназначенных для спасения людей и уменьшения действия факторов аварии; $R_{\text{инд}} = M[N/U]$, $R_{\text{кол}} = R_{\text{инд}}V = [p(A)p(B)]V$, где $R_{\text{инд}}$ и $R_{\text{кол}}$ – индивидуальный и коллективный риски соответственно, N – количество пострадавших в результате аварии, U – количество рискующих, $p(A)$ и $p(B)$ – вероятности возникновения аварии и нахождения человека в опасной зоне соответственно, V – ожидаемое число людей в опасной зоне;

$$R_{\Sigma} = H \sum_i n_i p_i + R_{\text{руб}}, \quad (1.14)$$

где R_{Σ} – полный ожидаемый ущерб, H – цена жизни, n_i – значения случайной величины N , p_i – вероятность людских потерь, $R_{\text{руб}}$ – ожидаемый ущерб, $R_{\text{руб}} = M[G] = \int_0^{\infty} g f(g) dg$, g – материальные потери при аварии; G – материальные ущерб при аварии, $G = g_1 + g_2 + g_3 + g_4$, где g_1 – ответственность перед третьими лицами (потери от сокращения добычи), g_2 – стоимость разрушенного и поврежденного оборудования, g_3 – выплаты по возмещению здоровья, g_4 – затраты на восстановление. В 2014 г. оценочная цена жизни составляла 2-4 млн. р: при аварии на шахте «Ульяновская» (2007 г.) – 3,2 млн. р, на шахте «Распадская» (2010 г.) – 2 млн. р и выплаты от 700 до 900 тыс. р [40, 60, 123, 148].

В [105] дано систематическое описание показателей риска аварии в терминах теории вероятности: технический, потенциальный территориальный, социальный (F/N-кривая), коллективный ($R_{\text{кол}}$), индивидуальный ($R_{\text{инд}}$) риски, риск материальных потерь (F/G-кривая), полное

описание сценариев аварии с гибелью людей и материальными потерями, ожидаемый ($R_{руб}$), наиболее вероятный ущерб, полный ожидаемый ущерб от аварии (R_{Σ}).

В [227] предложена формула проектной оценки аэрологического риска: $R_A = \lambda \mathcal{G}_y$, где λ – коэффициент опасности горно-геологических и горнотехнических факторов, \mathcal{G}_y – коэффициент уязвимости схем вентиляции, при $R_A < 0,15$ степень аэрологического риска аварии принимается малой, при $0,15 < R_A < 0,3$ – умеренной, при $0,3 < R_A < 0,5$ – большой, при $R_A > 0,5$ говорят об аварийной ситуации. В [243] риск также интерпретируется как математическое ожидание ущерба, но рассматривается при различных сценариях развития аварии:

$$R = M[Y] = \sum_{s=1}^n p_s Y_s ; \quad p_s = p(H_s|A) = p(H_s)p(A|H_s) / \sum_{k=1}^n p(H_k)p(A|H_k), \quad \text{где } p_s \text{ – вероятность}$$

реализации s -го сценария аварии, $s = 1, 2, \dots, n$, $\sum_{s=1}^n p_s = 1$; Y_s – интегральный ущерб для s -го

сценария реализации аварии, который определяется как сумма учитываемых при данном сценарии ущербов с соответствующими весовыми коэффициентами и в общем соответствует (1.14);

$p(H_s|A)$ – вероятность того, что авария A произошла вместе с событием H_s (реализация

гипотезы, развитие по s -му сценарию), $\sum_{s=1}^n p(H_s|A) = 1$; A – случайное событие (возникновение

аварии); $p(H_s)$, $p(H_k)$ – апостериорные безусловные вероятности реализации сценариев

(гипотез) H_s и H_k , $\sum_{k=1}^n p(H_k) = 1$, $p(A|H_s)$; $p(A|H_k)$ – априорные вероятности возникновения

аварии по сценариям (гипотезам) H_s и H_k . Байесовский подход также использован в

[259] и в [104], где выявлена внутренняя структура риска:

$$R = \sum_{s=1}^n p(A)p(C_s|A)y_s = [p(A)] \left[\sum_{s=1}^n p(C_s|A)y_s \right], \quad \text{где } p(A) \text{ – это риск (вероятность) возникнове-$$

ния аварии, $p(A) = \prod_{j=1}^n p_j$; p_j – вероятности ИУС (Рисунок 1.5), совпадение которых во вре-

мени и пространстве приводит к опасному явлению, аварии; $\sum_{s=1}^n p(H_s|A)y_s$ – ущерб при разви-

тии аварии по сценарию H_s . Отметим, что в [104] критикуется прямой перенос методов теории

надежности в область анализа рисков аварий на ОПО, при этом основная проблема заключается

в том, что теория рисков оперирует малыми вероятностями возникновения аварий, но очень

высокими величинами ущербов. По этой причине указывается на целесообразность использо-

вания средней интенсивности потока аварий λ (1/год): $\lambda = N/nT$, где N – число аварий; n

– число объектов и T – период рассмотрения (обычно год). Если рассматривать происходящие аварии как стационарный пуассоновский поток событий, то вероятностью аварии $p_A(t)$ за время t : $p_A(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, $p_A(t) = \lambda t$, при $\lambda t < 0,01$. Для магистральных трубопроводов большой протяженности, угольных шахт, для которых невозможно получить устойчивые оценки λ , предложено применять формулу $\lambda = p(A)I_n$, где I_n – средняя интенсивность выполняемых на ОПО работ, например, добыча угля (т/год) для угольной шахты.

В работе [153] известные формулы оценивания величины риска обобщены для распределенных динамических объектов путем введения в рассмотрение матриц распределения рисков события $\|p_i(x_k, t_l)\|$, ущерба $\|y_i(x_k, t_l)\|$ и рисков $\|r_i(x_k, t_l)\|$. Если $p_i(x_k)$ и $p_i(t_l)$ независимы, то $p_i(x_k, t_l) = p_i(x_k) \times p_i(t_l)$. Так как для угольной шахты оценка ущерба зависит от положения x персонала и оборудования на момент аварии t , то $\|r_i(x_k, t_l)\| = \|p_i(x_k, t_l)\| \times \|y_i(x_k, t_l)\|$.

В соответствии с [7], вероятности и риски могут рассчитываться на временных интервалах по базам данных (БД) контролируемых параметров, при этом, например, риск превышения пороговой концентрации метана: $R_{CH_4.HH} = p(C_{CH_4} > C_{HH}) = \sum n / \sum_{j=1...N} n_j$, где $\sum n$ – количество записей в БД, удовлетворяющих условию $C_{CH_4} > C_{HH}$; C_{CH_4} и C_{HH} – контролируемый параметр и его пороговое предаварийное высокое (HH) значение; $\sum_{j=1...N} n_j$ – общее количество записей в БД. Отметим, что под аэрологическим риском в данном случае понимается вероятность перехода рудничной взрывоопасной среды из состояния 2 в состояние 1 по [76].

Развиваемый в работах [7, 217, 235 и др.] логико-вероятностный (ЛВ) подход важен тем, что применим к информации, получаемой от ТП, т. е. в реальном технологическом времени. При этом информация из БД за временные интервалы представляются в виде гистограмм, к которым применимы методы интервальной математики [63, 111], позволяющие оценивать текущие вероятности нахождения ОПО в различных состояниях (S_i на Рисунке 1.6) и решать систему уравнений вида (1.8). Оценивание риска в реальном технологическом времени с использованием ЛВ-подхода также описано в работе [182]: каждому фактору риска в соответствие поставлены k показателей $0 < S_k(t) < 1$ (параметрический, технологический, технический, субъективный и т. д.); для показателей, которые изменяются непрерывно и монотонно при переходе ОПО из одного состояния в другое (Рисунок 1.6) и которые могут быть измерены – $S_j = f(x_1(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t))$, где $x_i(t)$ – текущее значение i -го параметра, формируется безразмерная величина $q_i(t)$

$$q_i(t) = \begin{cases} 1, \text{ если } x_i(t) < x_i^{LL}; \\ (x_i^L - x_i(t)) / (x_i^L - x_i^{LL}), \text{ если } x_i^{LL} < x_i(t) < x_i^L; \\ (x_i(t) - x_i^H) / (x_i^{HH} - x_i^H), \text{ если } x_i^{HH} > x_i(t) > x_i^H; \\ 1, \text{ если } x_i(t) > x_i^{HH}, \end{cases} \quad (1.15)$$

где x_i^{LL} , x_i^L и x_i^H , x_i^{HH} – предаварийный, предупредительный низкие и предаварийный, предупредительный высокие пороговые уровни i -го параметра. Тогда текущее значение параметрического показателя на основе ЛВ-оценки: $S_i(t) = q_1(t) + q_2(t)(1 - q_1(t)) + \dots + q_{n_x}(t)(1 - q_1(t)) \times \dots \times (1 - q_2(t)) \dots (1 - q_{n-1}(t))$, $S_i(0) = 0$, а текущая оценка опасности реализации аварии –

$C(t) = \sum_{i=1}^n S_i(t) \prod_{j=0}^i (1 - S_j(t))$, $0 \leq R \leq 1$. В работе [203] предложена альтернативная формула:

$$C(t) = C(\mathbf{Q}(t)) = \sqrt{q_1^2(t) \left(\prod_{i=2}^n (1 + q_i^2(t)) \right)^{-1} + \sum_{i=2}^n q_i^2(t) \left(\prod_{k=i}^n (1 + q_k^2(t)) \right)^{-1}},$$

которая подразумевает упорядочивание и нормирование параметров: $\mathbf{Q}(t)$ – вектор с $q_i(t)$, расположенными по убыванию, степень влияния при этом учитывается ранжированием.

Рассмотренные способы оценивания риска реализуют идеологию вероятностного анализа безопасности (ВАБ), при этом большинство способов свертывания показателей рисков приводит к скалярам, различающихся структурой математических выражений, при этом весовые коэффициенты отражают значимость отдельных составляющих рисков [39].

Так как достоверность результатов, получаемых при анализе маловероятных событий, мала, то возникла новая доктрина [155], в соответствии с которой вероятности менее 10^{-6} считаются нулевыми, при этом риск не трактуется как вероятность, что делает необходимым замену ВАБ на экспертные методы оценки безопасности. При этом рисковое событие R описывается как случайное и измеримое при некоторых условиях Σ_o определения системы в вероятностном пространстве $U: R = A_*(\omega | \Sigma_o, U)$, $U = (\Omega, E, p | \Sigma_o)$, где E – сигма-алгебра; p – вероятностная мера элементарных случайных событий $\omega \in \Omega$ из пространства исходов (сценариев развития аварии) Ω ; A_* – некоторое критическое событие типа класса $A_* \in A = f(E | \Omega)$. Критичность события определяется по последствиям, но без вероятностной меры. Множество подобных событий $\{A_{*i}\}$ является строго четким, но не является измеримым, что позволяет рассматривать $A_* = \{A_{*i}\}$ как универсальное множество атрибутов, для которых задаются предикаты в виде любых свойств, в том числе, нечеткость их значимости по случайности проявления или другим признакам. Тогда интегральная оценка риска: $\hat{R} = (\mu, Y | \Sigma_o)$;

$\hat{R} = \hat{f}(\tilde{R}|\Sigma_0) = \hat{f}(\mu, Y|\Sigma_0)$, где \hat{R} – интегральная оценка уровня риска в виде функции от двух-элементного множества в \tilde{R} ; μ – нечеткая мера случайности рисковозного события R (например, «крайне маловероятное», «маловероятное», «возможное», «вероятное», «частое» и т. п.), что позволяет использовать известные матрицы оценки рисков. В этом случае оценка риска не является скаляром, вычисление которого некорректно для редких событий и значительных ущербов. С аналогичных позиций на основе работ ИПУ РАН, ВЦ РАН рассмотрены вопросы отношения надежности и безопасности сложных систем в работе [11, 221], в которой оценка риска \tilde{R} определяется как $\tilde{R} = \{\mu_1, \tilde{H}_R|\Sigma_0\}$ или $\tilde{R} = \{\mu_1, \mu_2, \tilde{H}_R|\Sigma_0\}$, где μ_1 – нечеткая мера риска 1-го рода (неопределенность появления негативного результата – степень риска); Y – мера последствий или ущерб (цена или величина риска); μ_2 – нечеткая мера риска 2-го рода (степень опасности); Σ_0 – условия опыта или ситуация при эксплуатации системы (класс опасности или модель системы).

Проведенный обзор позволяет сделать некоторые выводы: 1) математическая формализация риска неоднозначна и не является единой для разных задач; 2) в большинстве случаев в оценку риска включены вероятность события и ущерб от него, т. е. риск является вероятностно-стоимостной оценкой опасности, что при решении задач (1.3) и (1.4) недостаточно, так как не учитывается получаемая выгода от работы при данном риске; 3) поскольку теория риска развивается на базе теории надежности, то и основные способы оценки риска используют ВАБ, который не дает адекватных результатов для маловероятных событий с высокими ущербами; 4) недостаточно разработано текущее оценивание рисков, фактически осуществляется только анализ надежности и последствий отказов и аварий на этапе проектирования; 5) разработаны оценки рисков, которые базируются на различных типах исходных данных – от результатов измерения АС до экспертных оценок.

Отметим, что при количественном оценивании риска эксплуатации угольной шахты должны использоваться методы, позволяющие объединять исходные данные различных типов.

Рассмотренные выводы не в полной мере соответствуют требованиям к методам количественного оценивания риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, которые сформулированы в начале данного раздела, так как они не обеспечивают «единства измерений», во многом ориентированы на субъективно получаемые исходные данные и не позволяют (в общем случае) выделять составляющие от разных факторов опасности и описывать составляющие конкретного фактора опасности.

Для оценивания рисков используются следующие методы, выбор которых определяется исходной информацией [181, 184, 203, 208, 228, 233, 249, 256 и др.]: если возможно получение статистических данных, то целесообразно использовать статистические, вероятност-

но-статистические, ЛВ-методы; если события единичны или связаны с активными действиями субъектов – методы теорий нечеткости и игр; если применение статистического метода невозможно из-за отсутствия необходимой информации, а экспертный метод является недостаточным, то применяется модельный метод оценки риска, который основан на построении моделей воздействия опасностей на отдельного человека, социальные и профессиональные группы, также применяются методы анализа чувствительности, анализа сценариев, качественные методы оценки на основе матрицы «вероятность – ущерб», которые являются наиболее простыми и субъективными, метод вербальных функций, основным достоинством которого является его проактивность, т. е. нацеленность на снижение риска; метод оценки рисков на основе системы Эльмери и ее модификаций и т. п.

Методы оценки риска развиваются от прямого статистического к теоретико-вероятностным и аналитическим, необходимость в которых возросла для оценки редких рисков с тяжелыми последствиями. В работе [167] указано, что для наиболее развитых в теории надежности статистических методов необходимы априорные данные с количеством реализованных событий не менее 100 за год, что невозможно для аварий на угольных шахтах, и отмечено, что наиболее распространенными методами оценки рисков являются методы: проверочного листа (Check-list); анализа видов и последствий отказов (FMEA); анализа видов, последствий и критичности отказов (FMESCA); анализа опасности и работоспособности (AOP, HAZOP); анализа «дерева отказов» (FTA); анализа «дерева событий» (ETA); количественного анализа риска. Также обсуждается использование марковских моделей (Markov), статистических методов надежности (Monte-Carlo), анализа влияния человеческого фактора (HRA) и анализа данных по эксплуатации (FRACAS) как методов, которые могут быть полезны для оценки риска на угольных шахтах. Для большинства методов оценки рисков разработаны соответствующие методики, многие из которых представлены в виде НД.

Процедуры анализа и идентификации опасностей (HAZOP, FMEA и пр.) используются при проектировании, составлении планов ликвидации аварий (ПЛА) и т. д. Результаты этих процедур могут использоваться как исходные данные для количественного оценивания риска. Так как аварии, как правило, сопровождаются комбинацией случайных событий (отказ техники, ошибка человека, нерасчетные внешние воздействия), то наибольшее распространение получили методы, построенные на анализе «дерева отказов» и «дерева событий», которые подразумевают формализацию причинно-следственных связей, приводящих к возникновению аварий и разным сценариям развития дальнейших событий, и определение характеристик базовых событий. Существующие методы оценки вероятности возникновения АС в виде диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево», «граф» (поточковый или состояний и переходов), «сеть» (стохастические структуры – К. Петри, GERT, E-net) сложны, громоздки и трудоемки из-за от-

сутствия, неточности, неопределенности исходных данных и обладают высокой степенью субъективности [181]. Параметры (свойства), влияющие на риск, имеют различную природу, отображаются на шкалах разных видов (наименований, порядка, интервалов, отношений и абсолютных значений), и это является основной проблемой их комплексной обработки [181].

Наиболее используемыми являются ЕТА, FTA из-за своих преимуществ [181]: индуктивно-дедуктивный характер выявления причинно-следственных связей; простота преобразования моделей; наглядность реакции на изменения; декомпозируемость «дерева» и процесса его получения; развитый качественный анализ исследуемых процессов; легкость дальнейшей формализации и алгоритмизации. Основные недостатки ЕТА и FTA, связанные с булевым характером условий и динамикой (последовательность возникновения событий), во многом преодолены в ЛВ-подходе [7, 63, 217, 235]. Из-за различных ограничений методов ЕТА, FTA количественная оценка риска достаточно часто подменяется простыми видами качественного анализа [181] и другими способами, в частности в работе [139] указано, что «эффективность существующих методов для прогнозирования риска взрывов МВС в горных выработках угольных шахт, физическая модель и математическое описание угрозы возникновения взрывоопасных газовых ситуаций являются неудовлетворительными. Поэтому необходимо развивать системные принципы и технологии снижения риска техногенных аварий в угольных шахтах, которые основываются на моделировании риска по аэрологическому и газовому факторам, а также моделировании газовой ситуации при появлении предвестников взрывоопасного состояния шахтного воздуха».

В работах [37, 233, 241] приведены варианты применения методов FTA и ЕТА для взрыва МВС, в [233] – вероятности для различных видов отказов. Наиболее подходящим для обсуждаемых целей (оценка аэрологического риска) является вариант комбинирования FTA и ЕТА в «галстук-бабочку» (Bow-Tie approach, Рисунок 1.9). На Рисунке 1.10 приведен вариант «дерева отказов» (обозначения по [86]) для аварии типа «взрыв», которое необходимо рассматривать как обобщенное и базовое и требующее уточнения для конкретных условий.

В «дереве отказов» и «дереве событий» многие элементы соответствуют барьерам безопасности, выбираемым так, чтобы любые события контролируемыми или управляемыми образом приводили к определенным исходам с допустимым риском. Основными барьерами безопасности в «дереве отказов» являются: соответствие ТП горно-геологическим условиям; соответствие оперативного управления условиям ведения горных работ; производственная и технологическая дисциплина; непрерывный и надежный контроль аэрологического состояния; контроль работы технологического оборудования; выполнение требований ОТ и ПБ; выполнение требований эксплуатационной документации; надежная работа средств АГЗ (ПАЗ). Основные барьеры безопасности в «дереве событий» определяются реализацией проектных решений в части защиты и уменьшения ущерба от аварии – работоспособность и соответствие проектным решениям

средств ВЗГВ, индивидуальных и коллективных средств спасения (самоспасатели, ППС, ПКСП), средств аварийного оповещения и поиска людей, застигнутых аварией, средств связи с работниками и с УВГСЧ, обслуживающей шахту. Говоря о барьерах безопасности, важно отметить, что система наблюдения за положением работников не относится к ним так как не снижает вероятность наступления аварии и даже не влияет на ущерб при условии соблюдения производственной дисциплины.

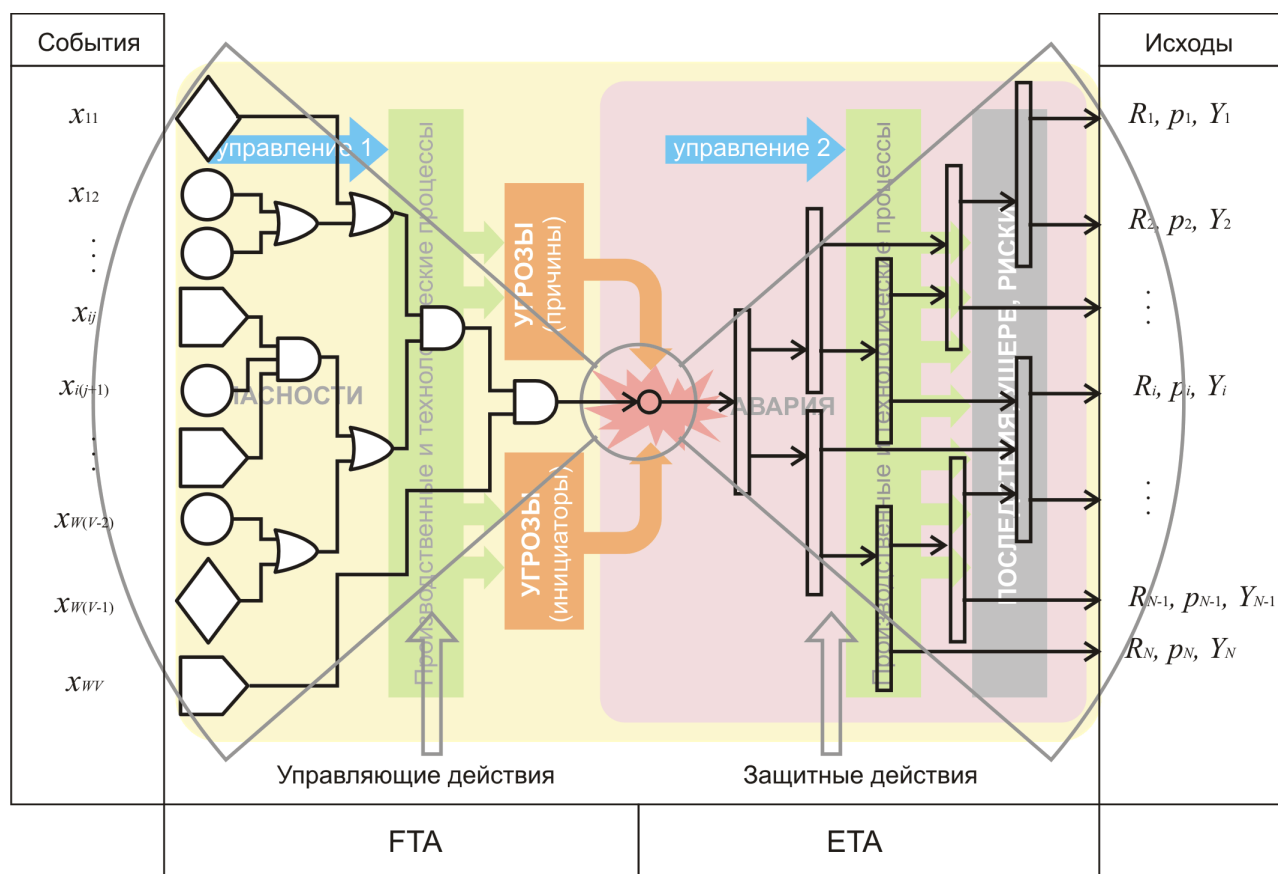


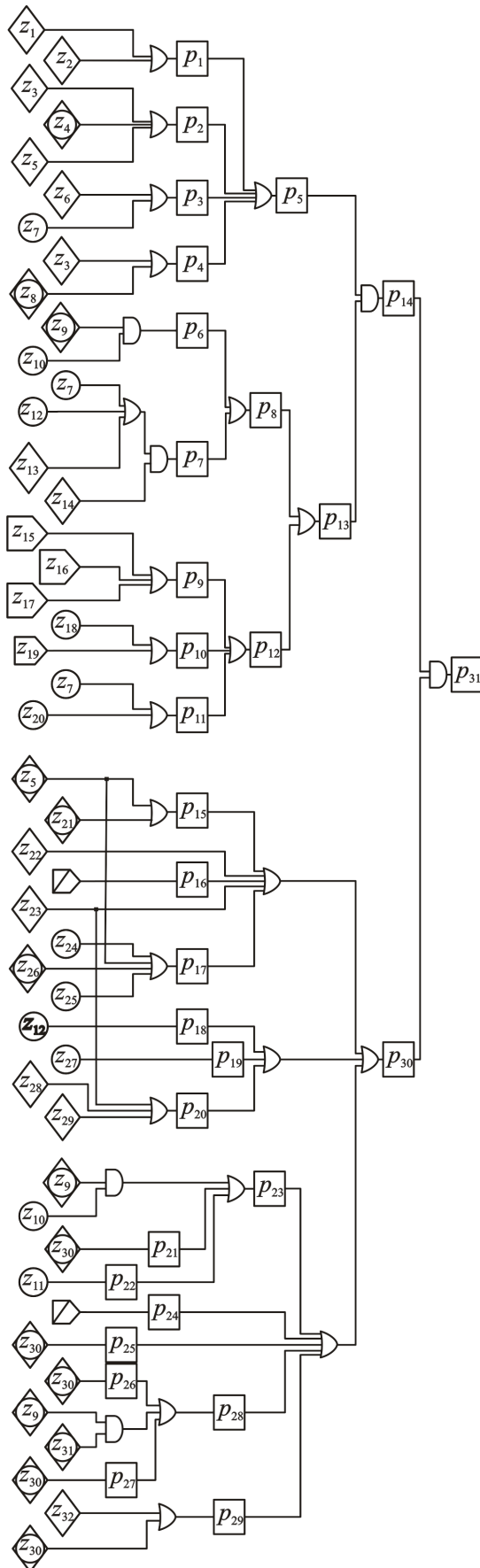
Рисунок 1.9 – Проекция диаграммы «галстук-бабочка» на схему возникновения и развития аварии

Но система наблюдения обеспечивает возможность косвенно оценивать эту производственную дисциплину путем контроля соблюдения нарядов, что важно для оценивания опасности «человеческого фактора», и проводить текущие расчеты и прогноз риска (ущерба) путем учета расположения и количества работников для анализа их поражения в вероятных аварийных ситуациях типа «взрыв», «пожар» и пр. В связи с этим уместно отметить, что, в соответствии с [211], минимально возможное количество потерпевших при подземной добыче угля в результате взрывов МВС и ПМВС и обрушения горной массы принимается равным максимальной численности рабочей смены, а соотношение между лицами, получившими вред жизни и здоровью, определяется на основе статистических данных.

Анализ причинно-следственных связей для аварии типа «взрыв» позволяет сделать некоторые выводы: а) многие узлы и связи «дерева отказов» и «дерева событий», «средства контроля эскалации» и «средства управления для восстановления и снижения последствий» поддаются автоматизированному контролю в реальном времени с помощью АСУ ТП и АСУПП (текущая производительность и положение комбайна, работа системы пылеподавления, пр.), СКАС (характеристики, описывающие состав, параметры и движение рудничной атмосферы, воздуха за перемышкой в изолированном выработанном пространстве, состояние и параметры работы устройств, установок и оборудования, влияющих на аэрологическое состояние), ВЗГВ (поток отказов срабатывания заслона и пр.), систем наблюдения (количество и местоположение персонала), оповещения об аварии и поиска застигнутых аварией людей (готовности стационарного и переносного и потоки отказов индивидуального оборудования и пр.), систем сейсмического и геодинамического контроля и прогноза (поток геодинамических событий, достоверность попадания фронта горных работ в зону с опасными геодинамическими характеристиками и пр.); б) зачастую затруднительно или невозможно определить вероятностные характеристики базовых событий, особенно связанных с оценкой не поддающихся прямому измерению параметров (вероятность отказа, качество работы и т. д.), при этом возможно только их качественное описание («очень часто», «часто», «редко», «очень редко» и т. п.); в) во многих случаях должен учитываться «человеческий фактор» (поток отказов выполнения регламентных работ, вероятности нарушения требований безопасности и злонамеренных действий и пр.), который также обычно описывается качественно, но может быть «оцифрован» на основе использования современных методов обработки данных.

Результат количественного оценивания риска в реальном времени имеет смысл, если рассматривать не его мгновенные значения, которые зависят от множества случайных факторов, а статистические характеристики плотностей распределения вероятностей (ПРВ) риска (математическое ожидание, дисперсия и т. п.) в некотором временном окне. При этом дальнейшему анализу подвергаются статистические характеристики ПРВ риска.

Систематический обзор методов оценки риска дан в [92].



z_1 и z_2 – ошибки проектирования и реализации проекта;
 z_3 – закорачивание вентиляционной струи; z_4 и z_8 – реверс и остановка вент. установки; z_5 – пожар; z_6 – нарушение технологии складирования, крепления и т. п.; z_7 – внезапный выброс; z_9 – работа ТО; z_{10} – отсутствие орошения;
 z_{11} – нарушение ПБ; z_{12} – взрыв (предшествующий);
 z_{13} – технологическое изменение режима проветривания;
 z_{14} – наличие отложенной пыли; z_{15} , z_{16} и z_{17} – выделения метана с поверхности массива угля (породы), из транспортируемого и складированного угля; z_{18} – остановка откачивания метана из выработанного пространства; z_{19} – суфлярное выделение; z_{20} – посадка кровли; z_{21} – нарушение условий эксплуатации ТО; z_{22} – статическое электричество; z_{23} – удар молнии; z_{24} – нарушения требований ПБ при выполнении сварочных работ; z_{25} – вспышка метана; z_{26} – буровзрывные работы; z_{27} – самовоспламенение пыли; z_{28} – короткое замыкание; z_{29} – наведенная ЭДС (электромагнитная индукция);
 z_{30} – нарушение условий эксплуатации электрооборудования; z_{31} – отказ АГЗ; z_{32} – несоответствие требованиям искробезопасности; p_1 – несоответствие горно-геологическим и горно-технологическим условиям; p_2 – опрокидывание вентиляционной струи; p_3 – загромождение выработки; p_4 – технологическое нарушение режима проветривания; p_5 – недостаток воздуха; p_6 – образование пылевой взвеси; p_7 – подъем отложенной пыли; p_8 – образование ПВС; p_9 – технологическое выделение метана; p_{10} – выделение метана допустимое, но выходящее за рамки технологии; p_{11} – внезапное выделение метана; p_{12} – образование МВС; p_{13} – образование МВС, ПВС, ПМВС; p_{14} – образование взрывоопасных МВС, ПВС, ПМВС; p_{15} – наличие нагретых поверхностей; p_{16} – ультразвуковые волны; p_{17} – пламена, горячие газы и частицы; p_{18} – УВВ; p_{19} – экзотермические процессы; p_{20} – блуждающие токи; p_{21} – фрикционное искрение; p_{22} – искрение при слесарных работах; p_{23} – искры, образованные механическим путем; p_{24} – ионизирующее излучение; p_{25} – электромагнитные волны; p_{26} – ослабление контактов; p_{27} – нарушение оболочки электрооборудования; p_{28} – нарушение в искроопасном оборудовании; p_{29} – нарушение в искробезопасном оборудовании; p_{30} – наличие источника энергии достаточной мощности; p_{31} – взрыв МВС, ПВС или ПМВС.

Рисунок 1.10 – Обобщенное «дерево отказов» для аварии типа «взрыв»

1.4 Выводы

1 Подтверждено, что основными опасностями на угольной шахте, следствием которых являются смертельные травмы и аварии, являются взрывы метановоздушных и пылеметановоздушных смесей, пожары и «человеческий фактор». Предотвращение взрывов и пожаров и позволяеткратно уменьшить ущерб. При этом риски, связанные с аэрологическим состоянием, являются определяющими, а объективный и надежный аэрологический контроль – важнейшей задачей и условием повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности, существующие системы и средства позволяют в 70-80 % случаев контролировать места возникновения, условия и источники инициирования взрывов, вспышек и пожаров, а средства взрывозащиты горных выработок – снизить индивидуальные риски и уменьшить ущерб от аварий.

2 Показано, что усилия в области охраны труда и промышленной безопасности целесообразно направить на предотвращение взрывов метановоздушных и пылеметановоздушных смесей, пожаров и уменьшение ущерба от них. При этом важными задачами является: оценка возможности защиты от взрывов метановоздушных и пылеметановоздушных смесей с помощью систем автоматической газовой защиты и разработка методов и способов, повышающих их надежность; разработка методов и способов, обеспечивающих высокую достоверность данных, собираемых системами контроля параметров аэрологического состояния шахты.

3 Разработана обобщенная математическая модель угольной шахты как опасного производственного объекта и процессов возникновения и развития опасных явлений и аварии, объединяющее описание природных, техногенных и технических условий, характеристик и факторов опасностей, технологических и производственных процессов, требования нормативных документов, позволяющая формулировать и решать задачи оценивания и управления риском деятельности работников и эксплуатации предприятия и его частей.

4 Показано, что для повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности и эффективного управления угольной шахтой необходимо осуществлять риск-менеджмент на основе постоянного количественного оценивания риска, для которого сформулированы требования. Выявлено, что в качестве модели количественного оценивания риска целесообразно использовать методы, в которых необходимо комплексно учитывать данные от автоматических систем, эксплуатируемых на шахтах. При этом модель количественного оценивания риска следует реализовать в рамках МФСБ, которую следует рассматривать как программно-техническую и информационно-аналитическую (ИА) систему менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты. Это делает необходимым разработку модели количественного оценивания риска, показателей (индикаторов) риска и методов комплексной обработки данных.

2 Научное обоснование концепции управления рисками с помощью многофункциональной системы безопасности

2.1 Анализ функциональной безопасности систем коллективной защиты от опасных производственных факторов

На условия работы людей в угольной шахте в настоящее время наибольшее влияние оказывает аэрологическое состояние, с которым связаны основные поражения людей: токсическое и фугасное – по этой причине далее в работе значительное внимание оказывается контролю опасностей аэрологического характера. Важнейшим средством, критически влияющим на возможность обеспечивать коллективную защиту работников от опасных факторов аэрологического характера и аэрологическую безопасность угольной шахты в целом, является система АГЗ, которая должна исключать работу технологического электрооборудования (ТО), питаемого от аппарата электроснабжения (АЭ) при его нахождении во взрывоопасных МВС, ПМВС, ПВС. Проведем анализ возможности применения АГЗ, на Рисунке 2.1 показана структура канала АГЗ, которая соответствует НД и реализована во всех эксплуатируемых системах АГК.

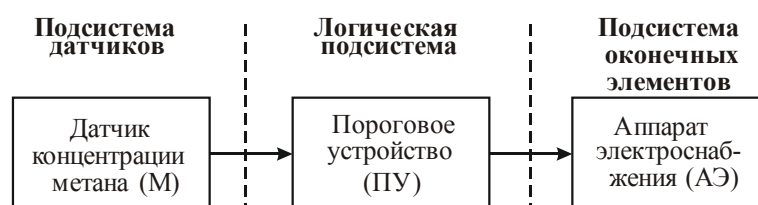


Рисунок 2.1 – Типовая структура канала АГЗ

В состав канала АГЗ входят: 1) подсистема датчиков, состоящая из метанометров (датчиков взрывоопасности МВС, ПМВС, ПВС), которые преобразуют содержание контролируемых компонентов в измерительные сигналы, передаваемые в логическую подсистему; 2) логическая подсистема, основным элементом которой являются пороговые устройства (ПУ), сравнивающие измерительные сигналы от подсистемы датчиков с нормированными пороговыми значениями и формирующие управляющие сигналы для подсистемы окончательных элементов. Логическая подсистема формирует разрешение на работу АЭ, если измеренные значения контролируемых параметров не преодолели предаварийные пороговые уровни. Нормальным (исходным) состоянием логического устройства является запрет на работу АЭ, питающего ТО. К логической подсистеме относятся линии связи между подсистемой датчиков и ПУ, так как она обеспечивает

контроль их состояния; 3) подсистема оконечных элементов (исполнительных устройств), воздействующая непосредственно на защищаемое ТО, в качестве которых используется АЭ, питающий защищаемое ТО. Подсистема оконечных элементов контролирует линии связи между логической подсистемой и АЭ. В НД [196, 201] к системе АГЗ предъявляются требования по допустимой погрешности измерения метана ($\pm 0,1\%$ об. долей или $\pm 0,2\%$ об. долей в диапазоне от 0 до 2,5 % об. долей), времени установления показаний (15 с) и погрешности и времени срабатывания ($\pm 0,1\%$ об. долей и 0,5 с соответственно), определены состав каналов АГЗ (количество и места установки метанометров и объекты воздействия) для разных горных участков (Рисунок 2.2, М1-М2 – метанометры). Несмотря на использование нескольких датчиков метана, невозможно говорить об их резервировании, так как они предназначены для парирования опасности в разных местах, а выход из строя любого из них приведет к отказу всей системы АГЗ, отсутствие резервирования ПЛК или другого логического устройства, реализующего функции ПУ, и АЭ, также приводит к отказу системы АГЗ.

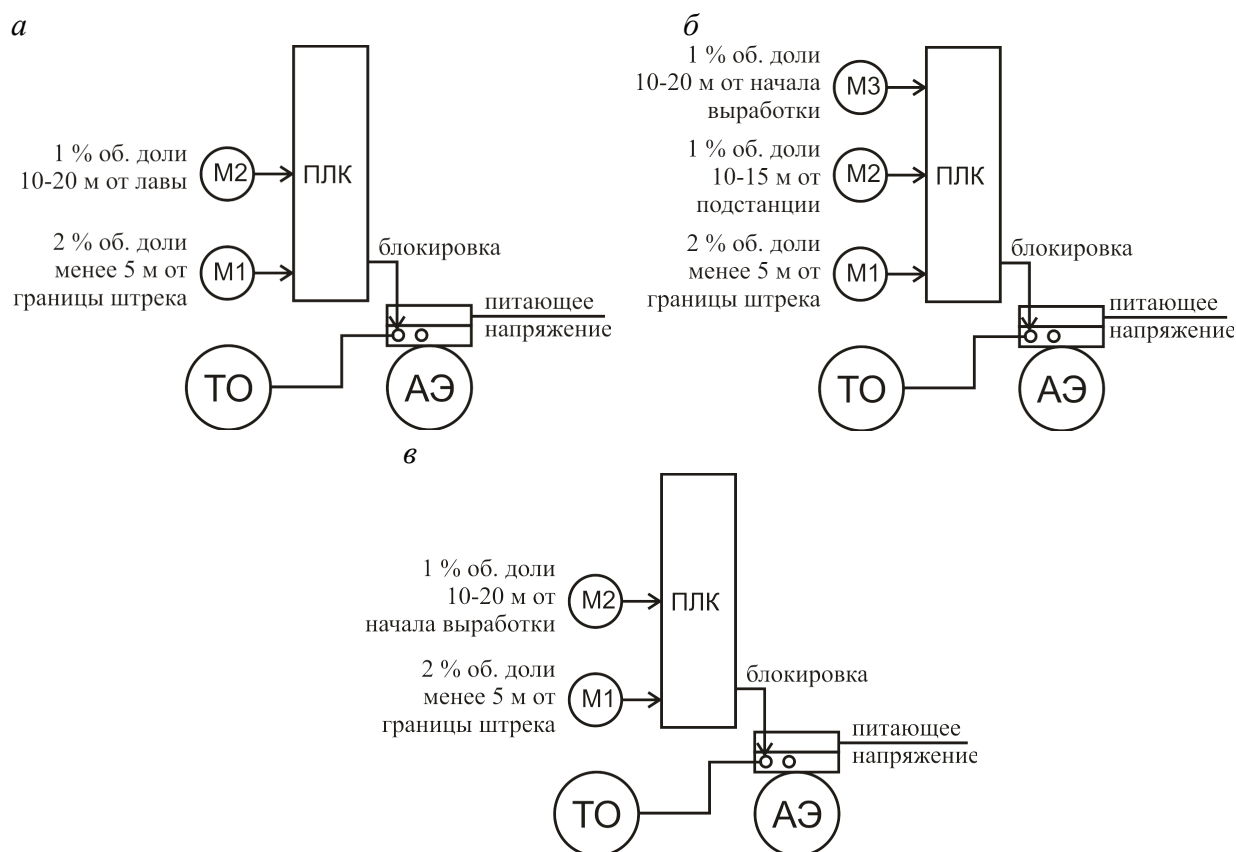


Рисунок 2.2 – Структуры системы АГЗ установки датчиков концентрации метана для откаточного штрека (а), в тупиковой выработке без резервирования ВМП (б) и с их резервированием (в)

Отметим важные особенности эксплуатации систем АГЗ: 1) основными объектами АГЗ являются проходческие и очистные забои и электрооборудование в них, которые перемещаются

в пространстве. При этом из-за постоянного перемонтажа для прокладки линий связи и питания не применяется трубная проводка, а используются небронированные кабели с одиночными токопроводящими жилами; 2) основные метанометры располагаются в забоях в непосредственной близости от защищаемого оборудования; 3) АЭ обеспечивают электроснабжение ТО забоев и могут располагаться на расстоянии до 3 км от датчиков; 4) ПУ, реализованные на ПЛК, обычно располагаются у АЭ; 5) линии связи и питания, являющиеся важной частью систем АГЗ, подвержены постоянным механическим воздействиям, в результате обрывы и короткие замыкания на них являются обычными событиями.

Анализ эксплуатируемых систем АГЗ позволяет говорить об особенностях их типовой технической реализации: 1) метанометры и ПУ являются программируемыми микропроцессорными устройствами; 2) ПУ могут быть реализованы в ПЛК, программируемом реле, датчике; 3) связь между датчиком и ПУ реализуется с помощью аналоговых и цифровых сигналов, обеспечивающих контроль целостности линии связи; 4) выходным элементом ПУ является «сухой» контакт; 5) связь ПУ и АЭ реализуется с помощью цепи управления, проходящей через «сухой» контакт ПУ, в редких случаях используется цифровой интерфейс, при этом обеспечивается контроль целостности линии связи, «нулевая» защита и защита от потери управляемости; 6) требования существующих НД и практика проектирования и эксплуатации систем АГЗ основаны на применении систем АГЗ без резервирования.

Рассмотрим возможные нарушения в работе системы АГЗ и ее подсистем: а) для метанометра – это отказы источников питания, электронной или программной частей, проявляющиеся в том, что на выход датчика поступает результат измерения, отличающийся от реальной концентрации метана на величину больше нормируемой погрешности, причиной таких нарушений рассмотрены в Разделе 5.1; б) для ПУ – обрывы, короткие замыкания и помехи на линии связи между датчиком и ПУ, отказы электронных схем, ПО, при которых на выходе ПУ не формируется сигнал, запрещающий включение или работу АЭ, неправильная настройка и эксплуатация ПУ; в) для АЭ – обрывы, короткие замыкания и помехи на линии связи между ПУ и АЭ; незамыкание контактов контактора из-за отказа электронной (электрической) схемы управления, при котором катушка контактора оказывается под напряжением при отсутствии сигнала «разрешение на включение» от ПУ; «сваривание» контактов контактора или его заклинивание, при котором контакт оказывается замкнут при отсутствии питания катушки; неправильная настройка и эксплуатация АЭ. Выделим нарушения в работе системы АГЗ, связанные с эксплуатацией и обслуживанием: неправильная калибровка датчика и настройка ПУ; изменения характеристик линии связи (их шунтирование, установка делителей и т. д.); перекрытие доступа ГС к чувствительному элементу; изменение характеристик ГС непосредственно в измерительной головке датчика метана; перенос или установка датчика в нижней части выработки и т. д. Эти наруше-

ния невозможно полностью нейтрализовать техническими средствами, для этого должны применяться различные мероприятия: организационные – динамическое тестирование – ежесменный контроль срабатывания каналов АГЗ [201], информационные, основанные на комплексной обработке информации в рамках МФСБ и пр. В настоящее время применяются разные способы противодействия нарушениям правил эксплуатации систем АГЗ: осуществляется квазирезервирование каналов АГЗ за счет их каскадирования, при этом предусматривается контроль состояния (наличия напряжения) защищаемого АЭ, сравнение контролируемого состояния с требуемым по критериям АГЗ и отключение АЭ, питающего защищаемый АЭ, если последний включен при наличии запрета; обеспечение доступа к режимам настройки через процедуру ввода персонального пароля и протоколирования действий персонала и т. п. Возможность различных нарушений должна учитываться при конструировании и проектировании системы АГЗ. Радикальное решение задачи контроля состояния и характеристик линий связи, защиты от помех и наводок на них связано только с переходом к цифровым коммуникациям, именно по этому пути развиваются ведущие производители систем АГЗ [21].

Основным НД, в соответствии с которым реализуются системы АГЗ, является НД [201], в котором сформулированы основные требования к АГК и АГЗ. При этом одним из принципов построения систем АГК является надежность технических средств, однако конкретные требования к показателям надежности по существу не сформулированы. В России действуют стандарты по функциональной безопасности [94-101], поэтому задача анализа систем АГЗ и формулирования требований к ней в терминах этих стандартов является актуальной. Проведем оценку риска, возникающего при отсутствии МФСБ и системы АГЗ [94], как ее ключевого элемента в части обеспечения аэрологической безопасности. Для этого воспользуемся концепцией ALARP [97], в соответствии с которой для определения класса риска составим таблицу, связывающую частоты опасных событий с их последствиями (Таблица 2.1).

Блокировка напряжения при превышении допустимой концентрации метана происходит на категорийных угольных шахтах ежесуточно или ежесменно, следовательно, в отсутствие системы АГЗ частота взрывов составляет более одного раза в год. Анализ статистических данных по взрывам МВС и ПМВС на российских шахтах [3, 5, 11, 14, 47, 64, 106, 151, 160, 168, 238, 251, 257] показывает, что в подавляющем большинстве случаев взрыв уносит жизни более 5 человек. Частота взрывов и тяжесть последствий относятся к классу риска I.

Поскольку важным средством снижения риска взрыва МВС и ПМВС являются системы АГЗ, необходимо определить требуемый уровень полноты безопасности, которому они должны соответствовать. Для этого воспользуемся методом графов риска [99], пояснения к которому приведены в Таблице 2.2 и на Рисунке 2.3.

Таблица 2.1 – Классификации рисков и последствий

Количество событий, не менее 1 раза в:	Последствия			
	катастрофические	критические	Граничные	незначительные
1 год	I	I	I	II
5 лет	I	I	II	III
10 лет	I	II	III	III
20 лет	II	III	IV	IV
50 лет	III	III	IV	IV
100 лет	IV	IV	IV	IV

П р и м е ч а н и е – катастрофические последствия – смерть более 5 человек, критические – смерть 1-5 человек, граничные – небольшие травмы более чем у пяти человек или серьезные травмы 1-5 человек, незначительные – травмы, не требующие квалифицированной медицинской помощи у 1-5 человек. Класс I относится к категории недопустимого риска, II и III – промежуточного риска, IV – незначительного риска.

Таблица 2.2 – Исходные данные для использования графов риска

Характеристика	Классификация	
Последствия взрыва	C _A	Небольшие травмы 1-5 человек (не требуется квалифицированная медицинская помощь)
	C _B	Небольшие травмы более чем у 5 человек, серьезные травмы 1-5 человек (требуется госпитализации)
	C _C	Серьезные травмы более чем у 5 человек, смерть 1-5 человек
	C _D	Смерть более 5 человек
Частота и продолжительность пребывания во взрывоопасной зоне	F _A	Пребывание во взрывоопасной зоне от 1 до 5 минут в сутки
	F _B	Пребывание в опасной зоне более 5 минут в сутки
Возможность избежать действия взрыва	P _A	Возможно
	P _B	Невозможно
Частота возникновения опасности взрыва	W ₁	Менее 0,1 раза в год
	W ₂	От 0,1 до 1 раза в год
	W ₃	Более одного раза в год

В соответствии с Рисунком 2.3 вышеприведенные условия соответствуют недопустимому уровню риска и предусматривают применение требований уровня полноты безопасности SIL 4 [94, 95]: а) вероятность отказа $PFH = 10^{-9}-10^{-8} \text{ ч}^{-1}$; б) уровень диагностического охвата (DC) – не менее 60 %; в) уровень отказоустойчивости: $N = 1$ при $DC \geq 90 \%$ и $N = 2$ при $DC = 60-90 \%$ и др. Эти требования являются исключительно жесткими, поэтому для их продуктивного анализа необходимо определить функции безопасности системы АГЗ и ее подсистем и классифицировать отказы системы АГЗ для определения тех, которые могут вызвать прекращение выполнения функции безопасности, и тех, которые не вызывают ее прекращения или могут быть нейтрализованы. Соответствующие определения автором даны в НД [196], там же приведена классификация отказов по степени опасности, по возможности и способам их обнаружения и нейтрализации.

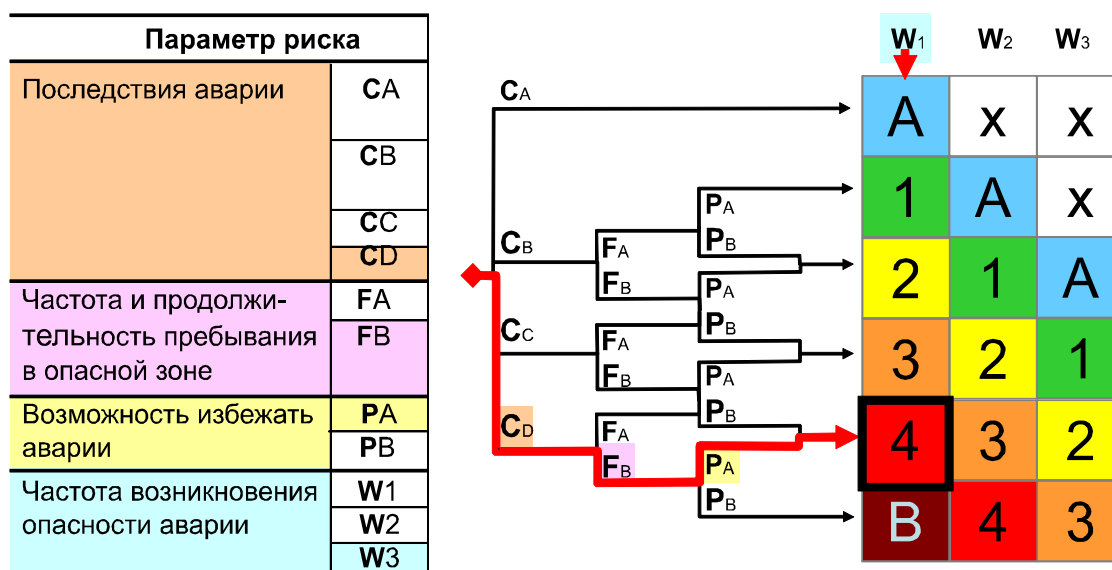


Рисунок 2.3 – Графы риска

(x – нет требований к системе АГЗ, А – нет специальных требований к системе АГЗ, 1-4 – требуемый уровень полноты безопасности SIL, В – одной системы АГЗ недостаточно)

Применим, без потери общности результатов, методы [94-101, 255] к анализу системы АГЗ на базе систем газоаналитических шахтных многофункциональных «Микон 1Р» и «Микон III» [34, 135] с целью проверки уровня полноты функциональной безопасности с учетом следующих предположений и допущений: 1) интенсивность опасных отказов оборудования не изменяется с течением времени; 2) уровень диагностического охвата определяется только требованиями Таблицы А.1 [95]; 3) учитываются только внезапные опасные отказы. Диагностический охват (для SIL 4 уровень диагностического охвата технических средств DC должен быть не менее 60 %) - это отношение вероятности обнаруженных опасных отказов ко всем возможным опасным отказам, умноженное на 100 %. Конкретный диапазон определяется в зависимости от типа подсистем: для подсистем типа А все возможные их отказы известны и последствия отказов четко определены; для подсистем типа В известны не все возможные отказы или не определены последствия каких-либо отказов. Системы АГЗ относятся к подсистемам типа А. Требования к расчету доли диагностического охвата приведены в [95, Приложение С], а пример вычисления доли диагностического охвата в [100, Приложение С]. Кроме того, в [95, Приложение А] определяются ограничения уровня диагностического охвата для уровней 60 %, 90 %, 99%. Уровень отказоустойчивости (для SIL 4 уровень отказоустойчивости подсистем должен быть: $N = 1$ при $DC = 90\%$ и выше; $N = 2$ при $DC = 60-90\%$) определяется видом архитектуры MoN (MoN – это аббревиатура, означающая, что для выполнения функции безопасности системе достаточно M каналов из N возможных, отказ $M+1$ каналов ведет к отказу системы). Кроме того, N (уровень

отказоустойчивости подсистемы), в зависимости от контекста, может означать число отказов отдельных каналов, которые может выдержать система до потери возможности выполнять свою функцию безопасности [95, Таблицы 2 и 3]. Типовые структуры системы АГЗ (Рисунок 2.1) имеют уровень отказоустойчивости $N=0$, то есть при опасном отказе любого элемента вся подсистема переходит в состояние опасного отказа. Для выполнения условия $N=1$ в подсистемах систем АГЗ следует применять архитектуры 1oo2, 1oo2D или 2oo3 (Рисунок 2.4, здесь окружность соответствует логической операции: датчики метана М подключаются параллельно к ПУ, – для срабатывания которого достаточно получить сигнал об опасном содержании метана от любого датчика; ПУ и АЭ включены последовательно, – для отключения АЭ достаточно срабатывания одного ПУ, а для снятия напряжения с защищаемого ТО – отключения одного АЭ).

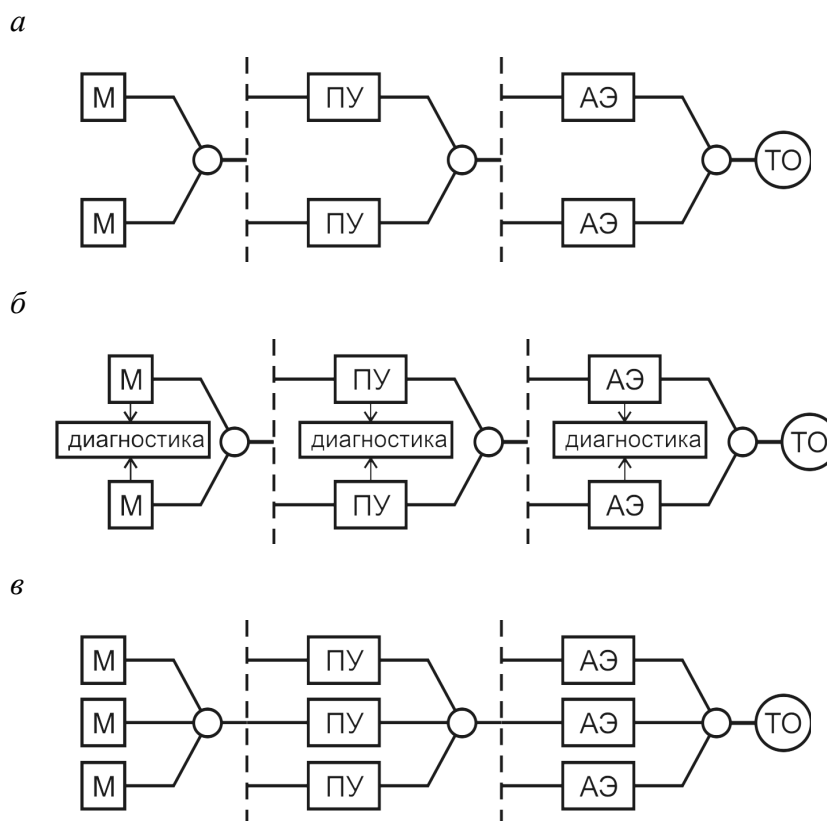


Рисунок 2.4 – Структура канала АГЗ с архитектурами 1oo2 (а), 1oo2D (б) и 2oo3 (в)

При отказе одного канала архитектуры 1oo2, подсистема сохраняет работоспособность и выполняет функцию безопасности до отказа второго канала, поэтому после первого отказа необходимо провести контролируемую диагностику подсистемы, установить причину неисправности и восстановить работоспособность отказавшего канала. Работа архитектуры 1oo2D отличается от 1oo2 возможностью точного определения отказавшего канала и оперативной замены соответствующих модулей, однако подразумевает затраты на диагностику. Архитектура

2oo3 использует голосование трех независимых каналов: если совпадают ответы хотя бы двух каналов, то такой ответ считается истинным; канал, чей ответ отличается, признается вышедшим из строя, а подсистема деградирует до 1oo2. Для достижения уровня отказоустойчивости $N=2$ следует использовать нетиповые архитектуры систем (например, 1oo3 и пр.).

В [84] приведены расчетные формулы для определения вероятности отказа систем ПАЗ стандартных архитектур, с учетом которых вероятность отказа системы АГЗ (Рисунок 2.1) с архитектурой 1oo1 ($PFH_{AG3.1oo1}$) вычисляется по формуле $PFH_{AG3.1oo1} = PFH_{M.1oo1} + PFH_{ПУ.1oo1} + PFH_{АЭ.1oo1}$, где $PFH_{M.1oo1}$, $PFH_{ПУ.1oo1}$, $PFH_{АЭ.1oo1}$ – вероятности опасных отказов метаномера, ПУ и АЭ, при этом каждый из этих узлов также имеет архитектуру 1oo1.

Далее для анализа функциональной безопасности системы АГЗ используются данные о надежности элементов систем «Микон 1Р», «Микон III» (Таблица 2.3), полученные в ходе ее эксплуатации. Важно отметить эти данные следует рассматривать как оптимистичные оценки, которые получены на недостаточном количестве угольных шахт в условиях сокрытия информации шахтными службами эксплуатации.

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчета показателей системы АГЗ влияющих на функциональную безопасность

Элемент (подсистема) канала АГЗ	Базовая интенсивность опасных необнаруженных отказов λ_{DU} , $(10^{-6}) \text{ ч}^{-1}$	Уровень диагностического охвата DC , %	Доля необнаруженных опасных отказов по общей причине β_{DU} , %	Доля обнаруженных опасных отказов по общей причине β , %	Среднее время восстановления МТТР, ч	Межповоротный интервал T_1 , ч
М	1,142	99	2	1	8	8760
ПУ	0,913	72	1	0,5		
АЭ	0,114	30	2	2		

Тем не менее можно сделать некоторые выводы: 1) датчик метана имеет наибольшую базовую интенсивность опасных отказов из всех элементов системы АГЗ; 2) в соответствии с требованиями, определенными ранее, для достижения подсистемами системы АГЗ с определенными значениями диагностического охвата уровня полноты безопасности SIL 4, необходимо, чтобы: подсистема датчиков состояла из двух метанометров, работающих параллельно; ПУ было реализовано с помощью 3 ПЛК, включенных последовательно; подсистема оконечных элементов состояла из четырех АЭ, включенных последовательно; 3) для уменьшения доли отказов по общей причине необходимо осуществлять мероприятия, направленные на максимальное повышение уровня диагностического охвата всех технических средств, а также проведение формального анализа источников общих отказов и способов противодействия им во вре-

мя проектирования и модификации системы. Для сравнения в Таблице 2.4 приведены данные для функционально аналогичного оборудования, используемого в нефтегазовой отрасли для систем с низкой частотой запросов [270]. Для возможности сравнения для систем с архитектурой 1oo1 использовано отношение $PFH_{1oo1} = \lambda_{DU}$ [100].

Таблица 2.4 – Надежность элементов для нефтегазовой отрасли

Элемент (подсистема) канала ПАЗ	Тестовый интервал τ , мес.	Интенсивность необнаруженного опасного отказа $\lambda_{DU} (10^{-6})$, ч ⁻¹	Вероятность опасного отказа выполнения функции PFD	Вероятность систематического отказа PSF
Термокаталитический датчик взрывоопасных газов	6	1,8	$3,9 \times 10^{-3}$	5×10^{-4}
Инфракрасный датчик взрывоопасных газов	6	0,7	$1,5 \times 10^{-3}$	5×10^{-4}
ПЛК, включая модули ввода/вывода	12	1,6	$(0,2 - 4,4) \times 10^{-3}$	$(0,5 - 5) \times 10^{-4}$
Автоматический выключатель (до 600 В)	24	–	$1,3 \times 10^{-3}$	–
Автоматический выключатель (от 6 до 10 КВ)	24	–	$1,9 \times 10^{-3}$	–

По перечисленным причинам эти данные используются только для сравнительного анализа архитектур системы АГЗ. В Таблице 2.5 приведены результаты расчетов надежности и уровня полноты функциональной безопасности для различных архитектур по [94-101, 253, 254].

Таблица 2.5 – Рассчитанные показатели надежности и уровня полноты функциональной безопасности для различных архитектур

Архитектура системы АГЗ	PFH , (10^{-6}) ч ⁻¹	Уровень полноты безопасности	N	Эквивалентное среднее время простоя t_{CE} , ч	PFH по общей причине, (10^{-9}) ч ⁻¹	PFH без учета отказов по общей причине, (10^{-9}) ч ⁻¹	Конечный уровень полноты безопасности	Кол-во элементов
1oo1	0,173	SIL 2	0	-	-	-	SIL 1	3
2oo2	0,346	SIL 2	0	-	-	-	SIL 1	6
1oo2	0,010	SIL 3	1	1453,4	9,8287	0,5603	SIL 2	6
1oo2D	0,010	SIL 4	1	1039,2		0,1566	SIL 2	12
2oo3	0,011	SIL 3	1	1453,4		1,6803	SIL 2	9

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

а) ни одна система АГЗ с типовой архитектурой по [94-101] не удовлетворяет требованиям спецификации к полноте безопасности даже при оптимистических оценках надежности (Таб-

лица 2.3) входящих в нее узлов (подсистем);

б) функциональная безопасность в первую очередь зависит от: базовой интенсивности опасных отказов технических средств; количества опасных отказов, которые определяются техническими средствами системы; архитектуры системы; мер, принятых против возникновения отказов по общей причине; узла (подсистемы), соответствующего наименьшему уровню полноты безопасности. Это подтверждается следующим: 1) вероятность отказа в час системы АГЗ зависит не только от количества функциональных блоков и организации их взаимодействия ($PFH_{AGZ.2002}$ возрастает в два раза по сравнению с $PFH_{AGZ.1001}$, при том, что элементов в архитектуре 2002 в два раза больше, чем в архитектуре 1001; вероятность отказа в час без учета отказов по общей причине для архитектуры 1002 в три раза меньше, чем у архитектуры 2003, несмотря на то, что в архитектуре 2003 используется в 1,5 раза больше элементов; вероятность отказа в час без учета отказов по общей причине у архитектуры 1002D в три раза меньше, чем у архитектуры 1002, несмотря на то, что в архитектуре 1002D используется только в два раза больше элементов, чем в архитектуре 1002); 2) эквивалентное среднее время простоя системы определяются организацией функционирования системы (системы с архитектурами 1002 и 2003 имеют одинаковое значение времени t_{CE} при различных количествах элементов, система с архитектурой 1002D имеет наименьшее значение t_{CE} при наибольшем количестве элементов); 3) доля отказов по общей причине не зависит от организации функционирования системы и количества элементов, входящих в нее, т. к. природа возникновения общих отказов предполагает одновременное появление отказа во всех каналах. Доля отказов по общей причине определяется только количеством мер, которые приняты для противодействия им;

в) одним из определяющих факторов при определении уровня полноты безопасности системы является наличие подсистемы с наименьшим уровнем, по этой причине необходимо строить элементы (подсистемы) так, чтобы каждый из них соответствовал минимальному уровню полноты безопасности, который требуется для конечной системы;

г) в резервированных архитектурах с низкой вероятностью отказа в час одним из определяющих факторов при расчете уровня функциональной безопасности является доля отказов по общей причине. Для повышения уровня функциональной безопасности необходимо принимать больше мер, направленных на противодействие отказам по общей причине, а также повышать уровень диагностического охвата технических средств;

д) эквивалентное среднее время простоя системы непосредственным образом зависит от значения уровня диагностического охвата элемента (DC), что подтверждает необходимость глубокого диагностирования элементов на основе анализа отказов.

Одна из частей такого анализа приведена в Приложении А с неполным перечнем возмож-

ных обнаруживаемых отказов различных подсистем системы АГЗ с аналоговыми датчиками и ПУ, реализованном на ПЛК. Подобные перечни должны разрабатываться производителями и проектантами систем АГЗ для принятия обоснованных конструкторских и проектных решений и должны поддерживаться в актуальном состоянии, например, расширяться за счет добавления отказов, которые ранее относились к необнаруживаемым и для которых разработаны методы выявления и противодействия.

Разработанные автором определения функций безопасности, отказа их выполнения и классификация отказов позволяют конкретизировать требования, предъявляемые к системе АГЗ с уровнем полноты безопасности SIL 4 [26]: а) вероятность опасного отказа $PFH_{AGZ.1001} < 10^{-9} \text{ ч}^{-1}$, добиться этого возможно, обеспечивая для элементов систем АГЗ высокое качество конструирования и изготовления, культуру эксплуатации, глубокую самодиагностику с дальнейшей нейтрализацией выявленных опасных отказов, уменьшение межпроверочного интервала до часов и резервирование; б) глубина диагностического охвата (DC) во многом определяет необходимость и кратность резервирования подсистем. Наибольший эффект будет достигаться при комбинировании самодиагностики подсистем АГЗ с их независимым внешним диагностированием, которое может осуществляться персоналом и другими подсистемами в рамках МФСБ. При этом независимо от уровня диагностического охвата должны проводиться все организационные мероприятия, связанные с обслуживанием системы АГЗ в соответствии с нормативной [201] и эксплуатационной документацией, например, динамическое тестирование [97] путем подачи на датчик метана МВС с концентрацией метана больше установленного порогового уровня; в) уровень отказоустойчивости N зависит от диагностического охвата и определяет необходимость реализации определенной канальной архитектуры $Mo0N$. В системе SIL 4: при диагностическом охвате $DC = 60-90 \%$: $N = 2$, а при $DC \geq 90 \%$: $N = 1$; кратность резервирования – не менее $(N+1)$. Анализ архитектур систем АГЗ выявил, что уровни отказоустойчивости N для АЭ, логической подсистемы (ПУ) и подсистемы датчиков равны 3, 2 и 1 соответственно, т. е. для достижения требуемого уровня полноты безопасности должны использоваться 2-кратно резервированные метанометры, 3-кратно резервированные ПУ и 4-кратно резервированные АЭ, что технически осуществимо, но фактически неприемлемо.

Полученные результаты могут быть распространены на любые системы АГЗ, так как: 1) структура и состав всех систем одинаковы и основаны на использовании одинаковых технических устройств; 2) при производстве элементов систем АГЗ применяются одинаковые технологии и схмотехнические решения; 3) приведенные результаты получены исходя из оптимистических (завышенных) параметров надежности элементов; 4) уровень полноты безопасности систем АГЗ во многом определяется характеристиками АЭ, требуемое радикальное изменение конструкции которых невозможно в рамках развития систем АГЗ и МФСБ.

Таким образом, для угольных шахт опасных по газу и пыли, которые характеризуются высокой частотой запросов² к реализации функции АГЗ, системы АГЗ должны обладать уровнем полноты безопасности SIL 4, но требования, предъявляемые к таким системам, являются для любых систем АГЗ нереализуемыми, это касается и обеспечения надежности, и возможности и кратности резервирования, и условий и качества эксплуатации и обслуживания. Однако это не исключает необходимости использования средств АГЗ, при этом актуальным является улучшение их эксплуатационных характеристик, в основном снижение вероятности опасных отказов, что требует развитой самодиагностики и диагностики, в том числе в рамках МФСБ. По этой причине должны предприниматься меры по уменьшению риска с недопустимого уровня до нежелательного (классы I и II по Таблице 2.1 соответственно) и ниже преимущественно за счет организации ТП и ПП. Только это позволит снизить требования к уровню полноты безопасности элементов системы АГЗ, обеспечив возможность технической реализации этих требований и практического применения систем АГЗ в целях предотвращения взрывов МВС и ПМВС.

Проведенный анализ показывает, что снижение уровня риска до допустимого достижимо только при использовании «эшелонированных» средств обеспечения ПБ. Это соответствует общеизвестному подходу к обеспечению безопасности [94-101]: а) на I уровне должны применяться средства, исключающие саму возможность возникновения опасных ситуаций, которые обозначаются как внешние средства снижения риска [99], т. е. снижающие уровень риска до допустимого или нежелательного. Этот уровень защиты соответствует нормальным технологическим условиям эксплуатации шахты. Все должно начинаться с проектирования, которое должно быть выполнено в соответствии с горно-геологическими условиями и предусматривать необходимые ТП и ПП. Применительно к взрывам МВС и ПМВС – это полная дегазация угольных пластов, эффективная и надежная вентиляция, введение ограничений на горные работы в зависимости от данных контроля и прогноза аэрологических и геодинамических явлений, высокоэффективные средства пылеподавления, использование безлюдных технологий и т. п.; б) II уровнем являются системы, связанные с безопасностью [99], которые используются в предаварийных и аварийных ситуациях и режимах и призваны не допускать аварий и аварийных ситуаций. Применительно к взрывам МВС и ПМВС это системы АГЗ, предназначенные для предотвращения вспышек и взрывов при существующей вероятности их возникновения из-за недостаточных мероприятий на I уровне; в) III уровню соответствует уменьшение ущерба, т. е. последствий аварий, которые неизбежны при недостаточной эффективности мероприятий, предпринимаемых на I и II уровнях. Это должны обеспечивать системы безопасности, основанные на других средствах снижения риска [99], к которым, применительно к взрывам МВС и ПМВС, относятся туманообразующие завесы, взрыволокализирующие заслоны, взрывоустойчи-

² Термин по ГОСТ Р МЭК 61508

вые перемычки и арки и т. п.

Действующие НД [201] предусматривают такую многоуровневую защиту, но не содержат спецификаций требований к функциям безопасности ее уровней, не предоставляют расчетных методик для оценки эффективности применения внешних средств снижения риска и определении требований к системам безопасности, основанных на других средствах снижения риска, что является необходимым условием обеспечения безопасной работы угольных шахт и основой для разработки технических средств систем АГК и АГЗ и проектов их внедрения.

2.2 Системы управления охраной труда и промышленной безопасностью

В соответствии [67-69, 247, 249] целью применения СУОТ являются сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, СУПБ – предотвращение и минимизация последствий аварий. В данной работе используется очевидный и обоснованный подход [48], заключающийся в том, что задачи сокращения количества несчастных случаев и аварий должны решаться комплексно на основе интеграции СУОТ и СУПБ во взаимосвязанную систему управления ОТ и ПБ и ее интеграцию с системой управления угольной шахтой. С помощью СУОТ и СУПБ осуществляются: своевременное выявление опасных и вредных факторов; прогнозирование возникновения опасностей, возможных негативных явлений, влияющих на состояние основных факторов, определяющих безопасность; информирование работников об опасностях и рисках; планирование мер, направленных на повышение уровня ОТ и ПБ, и определения приоритетов их реализации; эффективный производственный контроль, принятие мер по предупреждению аварий, инцидентов и травмирования людей; коллективная и индивидуальная защиты работников, защита сооружений, оборудования и т. п., при этом важными условиями успешного применения СУОТ и СУПБ являются ориентированность на прогнозирование и предупреждение опасных и аварийных ситуаций, непрерывность мониторинга соответствия СУОТ, СУПБ, систем контроля производства, объектов и видов деятельности для выявления рисков и их своевременное устранение и взаимодействие с контролирующими и надзорными органами [192]. Таким образом, в работе: СУОТ и СУПБ рассматриваются как средства управления рисками, для которых необходимы методическое, техническое, информационное, алгоритмическое и программное обеспечение; применительно к СУОТ рассматриваются организационно-технические мероприятия сохранения жизни и здоровья работников; реализуемые процедуры менеджмента риска в рамках СУОТ и СУПБ предусматривают функционирование в темпе ТП и ПП.

В соответствии с [207], угольные шахты должны быть оборудованы МФСБ. Там же в общем виде определены функции, назначение и состав МФСБ, совпадающие с выводами по разделу 1, а МФСБ рассматривается как «взаимосвязанный комплекс технических, технологических, инженерных и информационных систем, производственных мероприятий и персонала, которые реализуют проектные решения и обеспечивают снижение уровня риска, обусловленного горно-геологическими условиями и производственными планами шахты, до допустимого путем: противодействия условиям возникновения аварий и снижения вероятности возникновения условий для реализации аварий; снижения вероятности реализации аварии при наличии соответствующих условий; предотвращения развития аварии и уменьшения ущерба от ее реализации, за счет предоставления в нормальных, предаварийных, аварийных условиях и при ликвидации последствий аварий оперативной и достоверной информации о состоянии, тенденциях и признаках опасных ситуаций, состояний и явлений, получаемой путем прямых измерений и комплексной обработки данных от различных информационных, измерительных, управляющих и противоаварийных систем; осуществления противоаварийного управления и защиты; обеспечения постоянной готовности средств и систем защиты и спасения». Это позволяет утверждать, что МФСБ необходимо рассматривать как неотъемлемую часть СУОТ и СУПБ, обеспечивающую информационную поддержку принятия решений на основе результатов непрерывного контроля опасностей и оценки рисков и воздействие на ТП и ПП в режимных, проектных и запроектных опасных ситуациях или нормальных, предаварийных и аварийных режимах, что направлено на сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности и предотвращение и минимизация последствий аварий.

При рассмотрении функций и состава МФСБ возникает проблема ее соотнесения с эксплуатируемыми на шахтах АСУ ТП и АСУ ПП, измерительными и информационными системами. Так, в [207] указано, что в состав МФСБ входят следующие системы: контроля и управления главными вентиляционными установками (ГВУ), вентиляторами местного проветривания (ВМП) и газоотсасывающими установками (ГОУ); контроля и управления дегазационными установками (ДГУ) и подземной дегазационной сетью (ДГС); АГК; контроля запыленности воздуха; обнаружения ранних признаков пожаров и их локализации; контроля и управления пожарным водоснабжением; связи, оповещения и определения местоположения персонала; взрывозащиты горных выработок ГОУ, ДГУ и их трубопроводов. Существуют различные подходы, наиболее спорным [210] является включение в МФСБ всех АСУ и информационных систем, связанных с ТП и ПП угольной шахты на основании обоснованного утверждения об их прямом или косвенном влиянии на охрану труда, промышленную и производственную безопасность. Такой подход в силу своей комплексности и всеохватности выглядит привлекательным, но исключает саму возможность реализации МФСБ и может рассматриваться как идеализиро-

ванная цель, обоснованность и возможность достижения которой требует отдельного рассмотрения. Отметим, что не существует подобных промышленных всеобъемлющих информационных АС даже для ОПО с низким уровнем неопределенности, которые функционируют в мало изменяющейся внешней среде и являются стационарными во времени и пространстве.

Автором предложено при определении минимальных состава и функций МФСБ, что является важной проблемой технического нормирования и проектирования, в соответствии с [129], учитывать только: 1) взрывы газа и угольной пыли; 2) пожары; 3) внезапные выбросы угля и газа; 4) горные удары и обрушения; 5) прорывы воды, глины, пульпы; 6) затопления горных выработок; 7) проникновения токсичных веществ в горные выработки. Также необходимо ограничиться учетом только режимных, проектных и запроектных опасных ситуаций и явлений. При этом в обязательном порядке и в полной мере необходимо учитывать режимные и проектные опасные ситуации и явления, в том числе разумно предсказуемое неправильное использование по [131] систем и оборудования, а запроектные ситуации и явления необходимо рассматривать в границах ПЛА. Такие ограничения позволяют разделить функции МФСБ и АС и проводить обоснованный синтез МФСБ, что является актуальной научно-практической задачей. В разделе 1 проведен анализ аварий, который выявил определяющий вклад в риски эксплуатации угольных шахт первых четырех позиций представленного выше списка с подавляющим прева-лированием взрывов МВС и ПМВС и пожаров. Это позволяет определить наиболее актуальные задачи, требующие приоритетной реализации в МФСБ, остальные задачи также требуют своего решения, но их подробное рассмотрение выходит за рамки данной работы.

В качестве научно и практически обоснованной концепции построения МФСБ целесообразно использовать модель обеспечения безопасности, которая широко и успешно применяется и описана в стандартах группы ГОСТ Р МЭК 61508 [94-101]. С использованием терминологии этих стандартов для угольных шахт можно говорить, что для снижения исходного уровня риска, обусловленного горно-геологическими условиями и производственными планами шахты, до допустимого применяются проектные решения, технические, технологические и инженерные системы, обученный персонал и методы управления производством, которые принято разделять на три группы: 1) внешние средства снижения риска (внешние средства – ВС), противодействующие условиям возникновения аварий и снижающие вероятность возникновения условий для реализации аварий; 2) системы, связанные с безопасностью (системы безопасности – СБ), снижающие вероятность реализации аварии при наличии соответствующих условий; 3) другие средства снижения риска (другие средства – ДС), предотвращающие развитие аварии и уменьшающие ущерб от ее реализации.

Применительно к угольным шахтам:

а) внешним средствам соответствуют производственные и технологические системы – это

ТП, ПП и АС управления ими, обеспечивающие текущий контроль опасностей и предотвращения возникновения иницирующих условий для реализации аварий (Рисунок 1.5), противодействующие условиям возникновения аварий и снижающие вероятность возникновения условий для реализации опасных явлений и аварий, которые предназначены для использования в нормальных режимах работы шахты и предусматривают ручной, автоматизированный и автоматический режимы управления ТП и ПП;

б) к системам безопасности относятся системы АГЗ, другие системы ПАЗ, обеспечивающие снижение вероятности опасных явлений и аварий при наличии иницирующих условий для их реализации и противодействующие источникам иницирующих событий, реализующие противоаварийное управление и защиту и предназначенные для работы в предаварийных ситуациях. Отличительной чертой систем ПАЗ является их автоматическая работа и локальная реализация;

в) другим средствам соответствуют средства и системы защиты от вредного воздействия факторов аварии и спасения, предотвращающие развитие опасных явлений и аварий и уменьшающие ущерб от их реализации. Другие средства предназначены для использования в аварийных режимах работы шахты.

Очевидно, что снижение исходного уровня риска $R_{ИСХ}$ до допустимого $R_{ДОП}$ в (1.3), (1.4) и (1.12) $R_{ДОП} = R_{ИСХ} - \Delta_R^H$ – может осуществляться многими способами путем изменения соотношения вкладов АСУ ТП и АСУ ПП, ПАЗ и других средств: $\Delta_R^H = \Delta_R^{BC} + \Delta_R^{CB} + \Delta_R^{DC}$, где Δ_R^H – необходимое снижение риска; Δ_R^{BC} , Δ_R^{CB} , Δ_R^{DC} – снижение риска с помощью внешних средств, систем безопасности и других средств соответственно. Выбор наилучшего (оптимального) соотношения $\Delta_R^{BC.opt}$, $\Delta_R^{CB.opt}$, $\Delta_R^{DC.opt}$ является основной задачей оптимального проектирования-синтеза шахты как ОПО и МФСБ как части системы управления ОТ и ПБ. При выборе оптимальных проектных решений необходимо учитывать, что меры по снижению вероятности аварии на два-три порядка эффективнее мер, направленных на снижение возможных ущербов по критерию «затраты-результаты» [39], при этом выбор критерия оптимальности является определяющим. Задача проектирования МФСБ является типичной задачей оптимизации (Рисунок 2.5). Диапазон ее решения (выбора проектных решений) широк: от исключения использования любых средств снижения риска до допустимого уровня и готовности компенсировать любые ущербы, что характерно для предприятий со сверхдоходами, до использования какого-либо одного способа (снизить уровень аэрологического риска до допустимого можно только за счет ТП и ПП и АСУ управления ими, например, обеспечив полную дегазацию угольного пласта). В любом случае проектанты должны определить оптимальные для конкретных горно-геологических условий и экономических целей и условий перечень технологий, процессов,

систем и т. д., которые обеспечивают решение задачи (1.1), (1.2), собственники – обеспечить условия для реализации проектных решений, а работники – реализацию проектных решений и выявление необходимости их корректирования в процессе эксплуатации. В настоящее время для реализации такого подхода отсутствуют необходимые компоненты: целевое значение допустимого риска $R_{доп}$; методики оценивания влияния на уровень риска различных горно-геологических условий, проектных решений, технологий и пр.; методы количественного оценивания риска, которые не рассматриваются в данной работе.

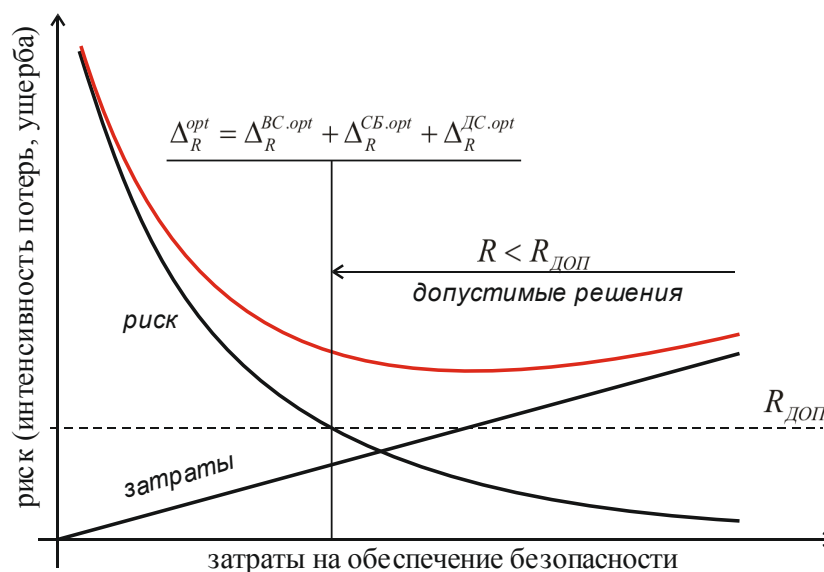


Рисунок 2.5 – Выбор проектных решений как задача оптимизации

Формализуем задачу оптимального проектирования МФСБ [22] с учетом (1.1)-(1.7) на основе подхода, изложенного в [222]. Пусть: ОПО характеризуется множествами угроз $\mathbf{T} = \{t_i\}, i = 1, \dots, N_T$ и их источников $\mathbf{S} = \{s_i\}, i = 1, \dots, N_S$, рисков $\mathbf{R} = \{R_i\}, i = 1, \dots, N_R$, уязвимостей $\mathbf{V} = \{v_i\}, i = 1, \dots, N_V$, объектов воздействия (реципиентов) $\mathbf{O} = \{o_i\}, i = 1, \dots, N_O$ и способов противодействия (подсистем МФСБ) $\mathbf{Z} = \{\langle \Phi_i, U_i \rangle\}, i = 1, \dots, N_Z$, где Φ_i, U_i – функция и ее стоимость; есть множество Π – вариантов построения МФСБ, которому соответствует множество выполняемых функций $\Phi(\pi), \pi \in \Pi$, из которого необходимо выбрать подмножество $\mathbf{Z} = \{\langle \Phi_i, U_i \rangle\}$, обеспечивающее достижения цели синтеза; есть множество \mathbf{O} , являющееся подмножеством, описывающим угольную шахту (ОПО), которая характеризуется множеством угроз \mathbf{T} и уязвимостей \mathbf{V} . Тогда оптимальный синтез МФСБ состоит в определении оператора \mathfrak{R}

$$\mathfrak{R} = \text{Arg Extr} [\Xi_{\text{МФСБ}} \{ [\mathbf{Z} \in \Phi(\pi)] \mathfrak{R} [\mathbf{V} \in \mathbf{O}] \}], \quad (2.1)$$

что позволяет сформулировать оптимизационную задачу синтеза МФСБ в виде:

$$\text{Min}_Z \text{Max}_T R_\Sigma, \quad (2.2)$$

где $R_\Sigma = \langle p_\Sigma, Y_\Sigma \rangle$ – целевая функция, в качестве которой принят интегрированный риск, который зависит от суммарного ущерба Y_Σ , вероятности аварии p_Σ и стоимости реализации варианта МФСБ Z . Пусть наиболее вероятный сценарий и суммарный ущерб по всем видам ущерба для различных сценариев аварий на множестве O определяются выражениями $p_\Sigma = \max_j p_j$ и $Y_\Sigma = \sum_{j=1}^{N_Y} Y_j$ соответственно, где $p_j = p(T, R, V, S, O, Z)$ – вероятность j -го сценария возникновения и развития аварии и $Y_j = Y(T, R, V, S, O, Z)$ – соответствующий ему ущерб. Тогда при известных T, R, V, S, O, Z задачу (2.2) можно свести к матричной антогонистической игре, решение которой находится методами линейного программирования в виде булевого вектора $\Omega = (\omega_1, \dots, \omega_N)$, $\omega_n \in \{0, 1\}$, который описывает оптимальное решение для (2.2) в измененной формулировке:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min Max } R_\Sigma ; \\ 1 \leq i \leq N_Z \quad 1 \leq i \leq N_T \\ p_j \leq p_{\max} ; Y_\Sigma \leq Y_{\max} ; \sum_{n=1}^N \Omega_n C_n \leq C_{\max}, \end{array} \right. \quad (2.3)$$

где p_{\max} , Y_{\max} – максимально допустимые риска и ущерб соответственно; C_{\max} – максимально допустимая стоимость МФСБ. При этом для вектора Ω : если $\omega_k = 1$, то применяется подсистема (функция, реализация функции) МФСБ, характеризующаяся парой $\langle C_k, C_k \rangle$, 0 – в противном случае.

Отметим, что на этапе проектирования в том или ином виде осуществляется анализ рисков, в результате которого выбираются способ обработки и оборудование технологического комплекса, определяются номинальные режимы работы и т. д., но при эксплуатации угольной шахты целенаправленное количественное оценивание риска не осуществляется, т. е. персонал во многом лишен текущей актуальной информации для оценки риска своей деятельности и принятия оперативных управленческих решений на различных уровнях. Выполняются лишь измерения, характеризующие аэрологический, геодинамический и другие факторы риска. Во многом непрерывный анализ риска на разных стадиях жизненного цикла шахты заменен на следование требованиям НД, а проектирование основано на прецедентной основе, имеющей форму объемных правил безопасности [207], в которых приведены все требования, которые

необходимо соблюдать в предположении, что это обеспечит безопасность. Однако новые технологии ведения горных работ входят в противоречия с существующими требованиями НД и с прецедентным подходом. Поэтому перспективным является сокращение обязательных требований правил безопасности с одновременной разработкой научно обоснованных методов проектирования, нацеленных на достижение требуемых экономических показателей при накладываемых ограничениях по рискам (1.1), (1.2), оценивания и управления рисками эксплуатации угольных шахт.

Обоснованные проектные решения, соответствующие текущим горно-геологическим условиям, точное следование проектам и отсутствие значительных отклонений от расчетных значений, характеризующих основные параметры ТП и ПП, вносят основной вклад в обеспечение безопасности, так как предотвращают возникновение условий для возникновения опасных явлений и реализации аварий. С учетом выявленной определяющей роли аэрологической составляющей риска эксплуатации угольной шахты важнейшим элементом МФСБ является система контроля аэрологического состояния (СКАС) горных выработок [196], при этом ее часть – система АГК – должна быть отнесена к внешним средствам снижения риска, а средства автоматической газовой защиты (АГЗ) – к системам, связанным с безопасностью.

2.3 Концептуальные основы управления рисками деятельности работников и эксплуатации угольной шахты с помощью многофункциональной системы безопасности

Поскольку уровень риска определяется как совокупность вероятности опасного события и ущерба от него, то основные усилия должны быть направлены на уменьшение вероятности возникновения опасных и аварийных ситуаций, т. е. на использование внешних средств снижения риска. Применительно к аэрологической составляющей риска этот тезис подтверждается выявленной принципиальной невозможностью обеспечения аэрологической безопасности с помощью системы АГЗ.

Внешние средства снижения риска. Фундаментальный вклад в уменьшение вероятности аварии вносят внешние средства снижения риска, основу которых составляют: 1) проектные решения, соответствующие горно-геологическим условиям и экономическим целям функционирования предприятия, которые призваны минимизировать различные виды опасностей; 2) электрические, электронные и программируемые системы (ЭЭПС), обеспечивающие измерения и оперативный контроль соблюдения проектных решений, т. е. выявляющие явные отклонения

от проектного (эталонного) состояния (поведения) горного массива, работников, ТП, ПП; 3) информационные системы, выявляющие скрытые тенденции и признаки опасных и аварийных ситуаций, состояний и явлений и прогнозирующие их; 4) технологические и производственные мероприятия, в том числе обеспечивающие непрерывную и качественную реализацию вышечисленных мер во всем их многообразии и постоянную высокую готовность систем безопасности и других средств снижения риска к функционированию в предаварийных, аварийных ситуациях и при ликвидации последствий аварий.

К внешним средствам снижения риска относятся ЭЭПС, обеспечивающие местный и дистанционный ручной, автоматизированный и автоматический контроль и управление некоторыми ТП, измерительные системы, системы сигнализации и связи, системы противопожарного, сейсмического и геофизического контроля и прогноза и пр. Внешние средства в основном предусматривают оперативные управленческие решения технологического и производственного уровня, при этом могут использоваться системы передачи данных и наземные технические и программные средства и системы. Внешние средства являются по своему назначению технологическими, что проявляется как в их структуре, которая соответствует классической структуре многоуровневой АСУ ТП или распределенной системе управления, так и в их составе.

К ЭЭПС внешних средств снижения риска относятся: 1) системы, связанные с контролем и управлением аэрологическим состоянием горных выработок: системы контроля и управления ГВУ, ВМП и ГОУ; системы контроля и управления ДГУ и контроля подземной ДГС; система АГК в том числе контроля запыленности воздуха, переносные и индивидуальные средства газоанализа; 2) системы контроля и прогноза газодинамических явлений (ГДЯ): система геофизических и сейсмических наблюдений; система регионального и локального прогноза ГДЯ; 3) системы противопожарной защиты: система обнаружения ранних признаков пожаров и определения их местоположения; система контроля и управления пожарным водоснабжением; 4) системы связи, оповещения и определения местоположения персонала: система определения местоположения персонала в горных выработках шахты (эти системы фактически следует называть системами технологического позиционирования, так как они призваны решать производственные задачи: контроль нахождения и движения работников по шахте в соответствии с выданными нарядами, табельный учет и пр., с помощью ПТК этих систем могут быть решены некоторые задачи контроля трудовой и производственной дисциплины, соблюдения техники безопасности и пр., к таким задачам относится предотвращение столкновений, выявление фактов нахождения работников в запрещенных местах и т. п.); система оперативной и громкоговорящей связи; 5) средства взрывозащиты: система контроля состояния средств ВЗГВ; система контроля состояния средств взрывозащиты в газоотсасывающих и дегазационных трубопроводах и установках. К ЭЭПС внешних средств снижения риска также необходимо отнести техно-

логические блокировки и защиты, которые останавливают горные работы при обнаружении не непосредственной угрозы, а высокой вероятности ее появления. В состав МФСБ не входят, но в МФСБ используются данные от АСУ ТП и АСУ ПП. Для всех перечисленных ЭЭПС, относящихся к внешним средствам снижения риска, и АСУ ТП и АСУ ПП, которые взаимодействуют с МФСБ, характерны следующие общие свойства: 1) наличие развитой подземной инфраструктуры, которая необходима для управления ТП и ПП в нормальных условиях, но подвержена внешним воздействиям и требует постоянного и квалифицированного технического обслуживания; 2) недостаточно высокие эксплуатационная надежность и готовность из-за наличия развитой подземной инфраструктуры и значимой вероятности ее повреждения в нормальных режимах; 3) невозможность гарантировать работу в аварийных ситуациях (по причинам, которые перечислены в пунктах 1 и 2). Очевидно, что ЭЭПС МФСБ, относящиеся к внешним средствам снижения риска, и АСУ ТП и ПП, которые взаимодействуют с МФСБ, предназначены для применения в нормальных режимах работы шахты (участков), однако при сохранении технической инфраструктуры эти системы также используются и во всех других режимах функционирования шахты (участков).

Отметим, что гарантированное выполнение предписанной функции за требуемое время в общем случае не относится к критически важным требованиям, так как ЭЭПС внешних средств снижения риска работают с данными на промежутках времени от сотен секунд до сотен дней. Однако для этих ЭЭПС, обеспечивающих контроль или измерение параметров различных видов опасности, важными являются возможность и длительность работы в аварийных ситуациях (например, системы АГК и технологического позиционирования должны работать не менее 16 часов после исчезновения сетевого питания) или возможность локального сохранения информации в ПЛК и других подземных устройствах контроля и управления при отказе линий связи между ними и наземным оборудованием, что требуется для обеспечения непрерывности контроля и при исследовании развития аварий.

Большинство АСУ ТП и ПП, кроме перечисленных выше, не являются составными частями МФСБ, но информация, получаемая от них, используется в МФСБ и СУПБ, поэтому необходима их информационная интеграция (совместимость) с МФСБ.

Несмотря на высокую насыщенность шахт различными ЭЭПС и мощный поток информации, который они продуцируют, в настоящее время в большинстве случаев отсутствуют ИА подсистемы в МФСБ, которые призваны обеспечивать не только сложный многофакторный комплексный анализ получаемых данных, но и их простую обработку, в лучшем случае собираемая информация используется для формирования простых отчетов и при расследовании аварий. Однако именно проводимое в автоматическом или автоматизированном режимах своевременное обнаружение скрытых от прямого наблюдения (непосредственных измерений) при-

знаков опасных ситуаций и выявление тенденций, увеличивающих уровень риска, является основной мерой, предотвращающей аварийные ситуации путем предоставления объективной и оперативной информации для выработки и осуществления необходимых управляющих воздействий на разных уровнях от горнорабочего до руководителя предприятия.

Одним из путей создания такого информационного, математического, алгоритмического и программного обеспечения МФСБ является разработка и использование математических моделей всех элементов шахты: геомеханические модели горного массива с горными выработками в разных масштабах; аэрогазодинамические модели для вентиляции, энерго- и массопереноса и т. п.; логические, статические и динамические модели сооружений, оборудования, ТП и инженерных систем; физиологические и социальные модели работников. Очевидно, что все эти модели должны быть взаимосвязаны в «электронную шахту», обеспечивать работу в реальном (и ускоренном) времени и соответствовать эталонным состоянию и поведению всех элементов шахты, именно такой путь развития МФСБ изложен в неявном виде в [207]. Наличие такой «электронной шахты» и ее постоянное сравнение с данными, получаемыми от АС, в том числе информационно-измерительных систем, позволило бы решать задачу определения близости шахты к безопасному (эталонному) состоянию, однако такая задача является неразрешимой из-за: значительной размерности; нелинейности и нестационарности реальных объектов; неполноты моделей; ограниченной вычислительной мощности в условиях угольных шахт; невозможности получения достоверной информации о свойствах реальных объектов и параметрах процессов, что в итоге неизбежно приведет к информационным неопределенностям. В действительности для контроля доступны параметры, характеризующие горный массив, сооружения и оборудование, ТП и ПП, аэрологические процессы в ограниченном количестве точек контроля.

Отметим, что в настоящее время эксплуатируются системы разных производителей, обеспечивающих реализацию различных функций, относящихся к внешним средствам снижения риска (системы связи, АГК, позиционирования, геосейсмического контроля и прогноза, автоматизации ТП), от компаний «ИНГОРТЕХ»³, НВИЦ «Радиус»⁴, НПФ «Гранч»⁵, «Информационная индустрия»⁶, DAVIS DERBY⁷, EMAG⁸, MST⁹, Becker¹⁰ и другие менее распространенные и известные.

³ URL: <http://www.ingortech.ru>

⁴ URL: <http://www.radius-nvic.ru>

⁵ URL: <http://www.granch.ru>

⁶ URL: <http://www.informind.ru>

⁷ URL: <http://www.davisderby.com/>

⁸ URL: <http://www.ibemag.pl/index.php?l=ang>

⁹ URL: <http://mstglobal.com>

¹⁰ URL: <http://www.becker-mining.com/en>

Важной задачей, решение которой также должна обеспечивать МФСБ, является ранжирование объектов контроля по разным видам и степени опасности для выявления первоочередных мероприятий с обязательным инструментальным контролем действенности проводимых мероприятий. С учетом того, что внешние средства вносят определяющий вклад в предотвращение аварий, то разработка соответствующих методик, математического, алгоритмического, информационного и программного обеспечения и их реализация в МФСБ является актуальной научно-практической задачей.

Системы, связанные с безопасностью. Если условия для реализации опасных явлений и аварии возникли из-за: неправильных проектных решений; неучтенных природных и техногенных факторов; нарушения ТП и ПП; неправильных монтажа, эксплуатации и обслуживания ТО и инженерных систем и пр., – что не было своевременно обнаружено с помощью внешних средств снижения риска (организационных мероприятий, АСУ, МФСБ) или было обнаружено, но необходимые мероприятия не были выполнены, то необходимо противодействовать реализации аварии. Это обеспечивают средства ПАЗ – ЭЭПС, относящиеся к системам безопасности (или ЭЭПС безопасности).

К ЭЭПС безопасности, входящих в состав МФСБ, относятся: 1) системы, связанные с контролем и управлением ТО и персоналом в функции геодинамического состояния горного массива и аэрологического состояния горных выработок – средства АГЗ и индивидуальные средства газоанализа; 2) системы пожаротушения. ЭЭПС безопасности обеспечивают прямое противоаварийное управление ТП и инженерными системами и с помощью сигнализации воздействуют на персонал. Алгоритмы функционирования ЭЭПС безопасности в явном виде сформулированы в [201, 207] и других НД в виде четких ограничений. ЭЭПС безопасности предназначены для применения в предаварийных режимах работы шахты (участков), но при сохранении технической возможности эти системы также применяются и в аварийном режиме функционирования шахты (участков), в наибольшей степени это относится к индивидуальным газоаналитическим средствам. ЭЭПС безопасности должны иметь следующие особенности и характеристики: 1) только автоматический режим работы; 2) высокая защищенность от внешних воздействий (природных, техногенных и со стороны персонала); 3) локальная реализация; 4) высокая эксплуатационная надежность, постоянная готовность; 5) полная детерминированность функционирования; 6) гарантированное быстроедействие. Говоря о системах, связанных с безопасностью, необходимо отметить, что обычно они являются частью внешних средств снижения риска с ограниченным перечнем функций, например, средства АГЗ строятся на основе систем АГК, но при этом допускают отсутствие связи с диспетчерской, так как для выполнения функции безопасности эта функция не требуется и т. п.

Проведенные в подразделе 2.1 исследования показали, с одной стороны, обоснованность

описываемого подхода к обеспечению безопасности, с другой стороны, необходимость осознания того, что для реального обеспечения безопасности необходимо предельно точно формулировать требования к системам безопасности. Они должны быть минимальными, описанными исчерпывающим образом и обязательными. Все остальные требования являются второстепенными и могут не рассматриваться и не приниматься во внимание при расчетах уровней риска и оценке безопасности.

Рассмотрим подробнее сформулированные требования на примере задач АГК и АГЗ. Известно, что стационарные средства АГЗ (ЭЭПС безопасности) применяются для защиты людей, технологических и инженерных систем и сооружений в месте эксплуатации электрооборудования, которое может оказаться во взрывоопасной (по метану, пыли) среде и является источником энергетического воздействия, достаточного для воспламенения взрывоопасной смеси [201]. Система АГЗ является основным средством коллективной защиты работников от опасных факторов аэрологического характера. Взрывоопасное электрооборудование защищается стационарными средствами АГЗ с учетом различных аварийных ситуаций и их возможного развития, кроме этого, стационарные средства обеспечивают газовый контроль, передавая данные в диспетчерскую, обеспечивая решение задач внешних средств снижения риска. При этом поведение системы АГЗ полностью детерминировано: известны состав каналов АГЗ, что и за какие временные промежутки и с какими погрешностями должно происходить при разных значениях контролируемых параметров, отказах конкретных устройств и линий связи и т. д. В настоящее время обсуждается идея использования в каналах АГЗ индивидуальных газоанализаторов с радиointерфейсом со стационарными средствами АГЗ. Однако кажущиеся преимущества такого решения: отсутствие территориальной привязки к защищаемому ТУ и применение способов связи с низкой готовностью, к которым относится радио, – делают невозможным постановку полностью детерминированной задачи АГЗ. При этом основной проблемой является диагностирование отказов линии связи между подсистемой датчиков и логической подсистемой, которая принципиально не может быть решена из-за того, что в любой момент времени неизвестно, включен ли данный переносной газоанализатор в данный канал АГЗ. Все это может приводить как к необоснованным отключениям ТУ, так и к отказу срабатывания АГЗ в нормируемых условиях. Однако средства индивидуального газового контроля (метана, кислорода, оксида и диоксида углерода) являются средствами индивидуальной защиты от опасных факторов аэрологического характера, они могут предотвратить попадание или ограничить время нахождения работника в зоне с низким содержанием кислорода или высоким содержанием токсичных газов путем своевременного его информирования, а все остальные функции являются второстепенными и не должны рассматриваться как функции безопасности. При этом непосредственная газовая защита работника невозможна, она осуществляется только путем его информирования.

Известно, что метан не является токсичным газом, но его концентрация на рабочем месте характеризует общую аэрогазовую обстановку и степень метановой опасности. В свою очередь, оксид углерода является токсичным газом, для которого необходим учет индивидуальных доз, и используемым как индикаторный газ для обнаружения признаков пожаров, что является наиболее важным. Поэтому данные индивидуального газоанализа являются актуальными не только для работника, но и для решения общешахтных задач АГК, что делает необходимым их передачу в МФСБ для использования в СУОТ и СУПБ. Решение общешахтных задач АГК, относящихся к внешним средствам снижения риска, не накладывает требований ни к периодичности, ни к задержкам передачи результатов индивидуального газоанализа. Особенно важно, что данные от индивидуальных газоанализаторов позволяют проводить необходимую взаимную диагностику со стационарными средствами АГК и АГЗ, повышая общую надежность систем безопасности и внешних средств снижения риска. Необходимость такой взаимной диагностики и нестационарность средств индивидуального газоанализа делает целесообразным использование не текущих результатов единичных измерений, а их обобщенных показателей, характеризующих аэрогазовое состояние контролируемого участка. Отметим, что одни и те же стационарные и переносные средства АГК и АГЗ одновременно реализуют функции, присущие и внешним средствам снижения риска, и системам безопасности. Так, в нормальных условиях стационарные средства АГЗ и индивидуальные газоанализаторы используются для телеизмерения (передают результаты измерений на наземный компьютерный комплекс), а в аварийных ситуациях выполняют функции ПАЗ: стационарные отключают электроснабжение, а индивидуальные осуществляют сигнализацию. На способ реализации ЭЭПС безопасности накладываются жесткие ограничения требованиями детерминированности, которые являются определяющими. Например, невыполнение функции блокирования электрооборудования при концентрации метана больше порогового уровня за 15 с или при отказе любой подсистемы АГЗ за 0,5 с является опасным отказом, равно как и ошибка измерения метана более минус 0,2 % об. долей. Перечисленные выше особенности фактически исключают возможность применения переносных метанометров и средств радиопередачи данных в контурах АГЗ, но не для решения задач АГК.

Другие средства снижения риска. Если угроза не была выявлена внешними средствами снижения риска и ее реализации в виде аварии не смогли помешать системы, связанные с безопасностью, то необходимо предотвратить распространение аварии, минимизировать наносимый ущерб, в том числе при проведении спасательных операций. Для этого используются другие средства снижения риска, которые могут быть реализованы различными способами, в том числе с помощью ЭЭПС.

В общем случае к другим средствам снижения риска необходимо отнести: 1) автоматические системы локализации взрывов и пожаров; 2) средства индивидуальной и групповой защи-

ты и спасения; 3) системы аварийного оповещения; 4) системы поиска людей, застигнутых аварией, в том числе за и под завалами; 5) аварийную подземную связь и резервированную связь с ВГСЧ. К ЭЭПС МФСБ, относящимся к другим средствам снижения риска, следует отнести: 1) индивидуальные средства газоанализа; 2) средства противопожарной защиты: системы обнаружения признаков пожаров; системы контроля и управления пожарным водоснабжением; 3) средства связи, оповещения и определения местоположения персонала: система поиска и обнаружения людей, застигнутых аварией (эту систему целесообразно назвать системой аварийного позиционирования по аналогии с системой технологического позиционирования, с которой она должна взаимодействовать, получая от последней список искомых работников и предполагаемых зон их поиска); система аварийной подземной связи; система аварийного оповещения (передача горным диспетчером сообщений в подземные выработки индивидуально каждому горнорабочему независимо от его местонахождения до, во время и после аварии); средства связи с подразделением ВГСЧ, обслуживающим шахту; 4) средства взрывозащиты: система контроля и управления средствами взрывозащиты горных выработок; система контроля и управления средствами взрывозащиты в газоотсасывающих и дегазационных трубопроводах и установках. Основным требованием к другим средствам снижения риска являются: 1) высокая защищенность от внешних воздействий, характерных для аварийных ситуаций (механических, климатических, электромагнитных и пр.); 2) гарантированная работоспособность во время и после аварии в течение заданного периода времени; 3) высокий коэффициент готовности; 4) независимость от подземной инфраструктуры, используемой внешними средствами снижения и системами, связанными с безопасностью, или отсутствие подземной инфраструктуры; 5) использование встроенных источников исчерпываемых ресурсов (энергии, кислорода и т. п.). При этом общие значимые требования к точности, быстродействию и режимам работы являются второстепенными. Так как ЭЭПС МФСБ, относящиеся к другим средствам снижения риска, предназначены для использования при авариях, то возникает значимая задача контроля их постоянной готовности к выполнению своих функций, решение которой осуществляется путем использования некоторых функций других средств снижения риска в нормальных и предаварийных режимах, создания специальных ЭЭПС поддержания готовности, организационных мероприятий.

Отметим, что в общем случае обеспечение работоспособности средств ППЗ в аварийных режимах недостижимо из-за невозможности гарантировать целостность трубопроводов для постоянной подачи воды к очагу пожара, обеспечения требуемого объема тушащих средств при использовании локальных средств пожаротушения, например, огнетушителей, для которых характерна однократность действия. Эти же ограничения присущи большинству применяемых средств взрывозащиты горных выработок (заслонам [261]), что критично для предотвращения каскадных аварий, связанных со взрывами МВС и ПМВС, которые характеризуются наиболь-

шим ущербом. Автоматические заслоны, относящиеся к таким средствам ВЗГВ, должны обладать высоким быстродействием канала управления, в который входят датчик, реагирующий на признаки взрыва (вспышка, ударная воздушная волна), и устройство, инициирующее срабатывание средств ВЗГВ, задача создания которых пока не решена. В последние годы появились новые средств ВЗГВ [260], для которых характерны многообразие действия, отсутствие ограничения на объем вещества, используемого для снижения действия факторов взрыва, и срабатывание до взрыва при получении данных о наличии взрывоопасной смеси. В таких системах предусмотрено применение метанометров из состава эксплуатируемой системы АГК, которые инициируют формирование водяной завесы до взрыва при взрывоопасной концентрации метана (50-100 % НКПВ). Важно отметить, что такие средства ВЗГВ начинают функционировать до момента аварии, что делает неактуальной задачу создания надежных быстродействующих датчиков взрыва.

Очевидно, что наиболее «тяжелым» из перечисленных выше является требование, связанное с подземной инфраструктурой, которое накладывает ограничения на способы технической реализации ЭЭПС, обеспечивающих аварийные оповещение и поиск. Аварийные оповещение и поиск должны функционировать во время и после аварии. Так как при аварии может произойти неограниченное количество отказов различных устройств и линий связи и питания на аварийном участке и вне его, и это не должно повлиять на возможность аварийного оповещения, то оповещение целесообразно осуществлять с помощью технологий беспроводной передачи данных через толщу горных пород, что реализовано в нескольких отечественных и зарубежных системах (СУБР-1П¹¹, Радиус-2¹², РЕД¹³ и др.). Также известны ЭЭПС, обеспечивающие поиск людей за и под завалами, использующие принцип беспроводной связи между индивидуальным поисковым маяком (СПАС «Микон»¹⁴, Радиус-Поиск¹⁵ и др.), встраиваемым в головной светильник, и поисковым устройством, которым оснащены спасатели. Такие ЭЭПС обеспечивают обнаружение и возможность целенаправленного и безопасного движения к работнику с индивидуальным оборудованием системы поиска при проведении спасательной операции и ликвидации последствий аварии. Подробно возможности применения различных технологий беспроводной связи для реализации аварийного оповещения, поиска и других задач, возникающих при управлении ОТ и ПБ, рассмотрены в [19, 25, 29, 30, 200, 273].

Если все перечисленные выше ЭЭПС, относящиеся к другим средствам снижения риска,

¹¹ URL: <http://uraltexis.ru/production/subr-1p>

¹² URL: <http://www.radius-nvic.ru/products/radius.html>

¹³ URL: <http://mstglobal.com/solutions/emergency-messaging/underground-coal-mining/>

¹⁴ URL: [http://www.ingortech.ru/uslugi/itemlist/tag/СПАС Микон](http://www.ingortech.ru/uslugi/itemlist/tag/СПАС%20Микон)

¹⁵ URL: <http://www.radius-nvic.ru/solutions/search.html>

серийно выпускаются или могут быть реализованы, то критически важная в аварийных ситуациях система аварийной связи, обеспечивающая оперативную голосовую связь до, во время и после аварии, в том числе через толщу горных пород. К сожалению такие системы связи до сих пор не разработаны по следующим понятным причинам: такие средства связи должны функционировать во время и после аварии; они должны сохранять работоспособность при аварийных разрушениях в выработках; ими должны быть оснащены все выработки или они должны входить в штатное оснащение каждого работника в подземных выработках; они должны быть беспроводными; они должны иметь внутренние источники энергии, обеспечивающие их продолжительное функционирование и т. д. В настоящее время в качестве систем аварийной связи применяются системы технологической связи, работоспособность которых полностью зависит от целостности подземной инфраструктуры, а опытные образцы¹⁶ соответствуют не всем требованиям и не обеспечивают возможность их повсеместного применения.

Кроме вышперечисленных других средств снижения риска (аварийного оповещения, поиска) также применяются системы компаний НПФ «Гранч», «Информационная индустрия», ЕМАГ, Becker и др., при этом эффективные средства взрывозащиты горных выработок, которые представляют собой активные автоматические заслоны многократного действия, представлены только компанией «НПП «Шахтпожсервис»¹⁷.

Общие требования к структуре и характеристикам МФСБ приведены в таблице 2.6.

Оценка применения многофункциональных систем безопасности

В настоящее время серийно выпускаются и широко применяются технические системы и комплексы, которые успешно реализуют различные функции МФСБ, обеспечивая выполнение основных требований [6, 42, 43, 53, 164, 207, 223]. Угольным шахтам предлагаются МФСБ, которые являются единой системой, или комплексом, реализующим функции МФСБ, однако объективно ни один производитель не может реализовать все требуемые функции МФСБ наилучшим образом. Это делает важной для проектных и эксплуатирующих организаций возможность комбинирования лучших систем и средств, реализующих разные функции МФСБ, в комбинациях, обеспечивающих получение оптимальных результатов в конкретных условиях, а для производителей – обеспечение совместимости производимых ими систем и средств.

¹⁶ URL: <http://www.xferra.ru/products/ferra-l1/ferra-l1.php>

¹⁷ URL: <http://shps.ru/>

Таблица 2.6 – Общие требования к структуре и характеристикам МФСБ

Входящие элементы	Задачи	Основные характеристики
Внешние средства снижения риска (предотвращение ИУС, нормальный режим)		
1) проектные решения; 2) электрические, электронные и программируемые системы (ЭЭПС) контроля реализации проектных решений; 3) информационные системы выявления и прогнозирования опасностей; 4) технологические и организационные мероприятия по поддержке функционирования п.п. 1-3 и МФСБ	1) контроль и управление аэрологией; 2) контроль газодинамики; 3) обнаружение пожаров; 4) технологическое позиционирование; 5) связь и телеметрия; 5) АСУ ТП и АСУ ПП, взаимодействие с ними; 6) средства контроля готовности систем безопасности и других средств	1) развитая подземная инфраструктура; 2) «классическая» структура АСУ ТП; 3) невысокая защищенность от внешних воздействий; 4) невысокая надежность и готовность; 5) ручной, автоматизированный, автоматический режимы работы; 6) замыкание контуров управления через диспетчерскую
Системы, связанные с безопасностью (предотвращение ИУС, предаварийный режим)		
ЭЭПС противоаварийной защиты: АГЗ, ППЗ, ВЗГВ по иницирующим условиям	1) АГЗ; 2) ППЗ; 3) ВЗГВ по иницирующим условиям; 4) связь и телеметрия	1) минимальная подземная инфраструктура; 2) высокая защищенность от внешних воздействий; 3) локальная реализация; 4) высокая эксплуатационная надежность и постоянная готовность; 5) полная детерминированность функционирования; 6) гарантированное высокое быстродействие
Другие средства снижения риска (уменьшение ущерба, аварийный режим)		
1) АГЗ, ВЗГВ по факторам взрыва; 2) средства пожаротушения; 3) средства групповой и индивидуальной защиты и спасения; 4) ЭЭПС аварийного оповещения и поиска людей; 5) ЭЭПС аварийной связи	1) АГК и АГЗ; 2) обнаружения и предотвращение пожаров; 3) ВЗГВ по факторам взрыва; 4) связь и телеметрия	1) высокая защищенность от внешних воздействий; 2) гарантированная работоспособность во время и после аварии в течение заданного периода времени; 3) высокий коэффициент готовности; 4) независимость от подземной инфраструктуры 5) наличие собственных источников исчерпываемых ресурсов

При этом критически важным является обеспечение совместимости на уровне обработки данных в наземных ПТК. Следует отметить, что обеспечение технической совместимости разнородных систем во многом противоречит требованиям к искробезопасным системам и подразумевает достаточно сложные и затратные мероприятия (сертификацию единичных образцов МФСБ, разработку стандартов по обеспечению технической совместимости и обеспечение соответствия систем, включаемых в состав МФСБ, этим требованиям и т. п.).

Все эксплуатируемые в настоящее время МФСБ соответствуют подходам, сформулиро-

ванным выше, и в них могут быть выделены: внешние средства снижения риска; системы, связанные с безопасностью; другие средства снижения риска. При этом выполняются все требования полностью или только основные, а именно: внешние средства снижения риска, системы, связанные с безопасностью, и другие средства снижения риска при технической возможности применяются во всех режимах. Так, аварийное оповещение (другие технологии) применяется в нормальной ситуации для передачи технологических сообщений, а средства технологического позиционирования (внешние средства), предназначенные для работы в нормальных условиях, – по возможности в аварийных режимах и т. п.

Для систем, связанных с безопасностью, в качестве алгоритмического обеспечения используются ограничения и запреты, сформулированные в [207] и других НД, для внешних средств снижения риска алгоритмическое обеспечение не подразумевает какого-либо комплексного анализа и в настоящее время в лучшем случае существует только в технических проектах, для других технологий алгоритмическое обеспечение (при необходимости) приведено в эксплуатационной документации.

Автором рассматривает угольную шахту как многомерный объект контроля и управления, в котором можно выделить 4 среды, взаимодействие с которыми (контроль и управление) должна обеспечивать МФСБ напрямую или опосредованно через другие системы – горные выработки с вмещающим горным массивом, шахтная атмосфера и все, что связано с энерго- и массопереносом в ней, инженерные и технологические системы и персонал. Каждой из перечисленных сред соответствуют средства сбора информации и нанесения управляющих воздействий, при этом средства сбора информации обычно относятся к системам, реализующим конкретные функции МФСБ, а средства нанесения управляющих воздействий являются общими в рамках МФСБ. Контур управления АСУ ТП и ПАЗ могут быть «малыми», которые реализуются в рамках одной технической системы, и «большими», которые могут носить межсистемный в рамках МФСБ характер. Системы, связанные с безопасностью, формируют «малые» контуры противоаварийного управления, которые функционируют локально с гарантированным быстродействием и реализуют простые алгоритмы обработки данных, основанные на требованиях НД. Внешние средства снижения риска формируют «большие» контуры управления, которые замыкаются через системы передачи данных, наземный ПТК и подземные ЭЭС одной или нескольких систем, реализующих функции МФСБ, что определяется НД и проектными решениями, например, блокирование работы очистной лавы при остановке наземной ДГУ и пр. Для «больших» контуров управления не требуется гарантированного быстродействия, и в них используются различные методы анализа данных, осуществляемые на разных временных отрезках: 1) простой анализ выполняется во временные промежутки до нескольких десятков часов в границах одной ЭЭС, реализующей определенную функцию МФСБ, например, создание

ежесменного отчета об аэрогазовом состоянии, определение метанообильности и т. п.; 2) сложный анализ выполняется во временные промежутки от десятков минут до десятков часов и/или на основе информации от нескольких ЭЭПС, реализующих разные функции МФСБ, например, обнаружение медленно развивающихся эндогенных пожаров или ранжирование объектов контроля по степени опасности.

Таким образом, эффективность внешних средств снижения риска определяется не способами проведения необходимых измерений (сенсорной частью) и коммуникационными средствами (средствами передачи данных), а методами обработки и принятия решения. Так как определяющий вклад в обеспечение безопасности вносят именно внешние средства снижения риска, то эти методы обработки и принятия решения являются основным средством менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты и основным содержанием МФСБ. С учетом приведенных обобщений и выводов можно утверждать, что МФСБ должна в основном рассматриваться как информационно-аналитическая система (ИАС). Однако в ее состав обязательно должны входить ЭЭПС систем безопасности и других средств снижения риска. ЭЭПС внешних средств снижения риска необходимо рассматривать как средства, которые информационно интегрированы в МФСБ.

Важнейшей задачей, связанной с реальным использованием МФСБ, является разработка ИАС – информационной и программной составляющей МФСБ для внешних средств снижения риска, которые призваны выявлять тенденции и признаки опасных ситуаций и явлений на основе данных, получаемых в результате прямых измерений и комплексной обработки данных от различных информационных, измерительных, управляющих и противоаварийных систем. Решение именно этой задачи способно существенным образом повлиять на риск деятельности работников и эксплуатации угольных шахт, т. е. уровень ОТ и ПБ.

2.4 Выводы

1 В результате анализа функциональной безопасности систем АГЗ с использованием статистических данных об авариях установлено, что системы АГЗ, эксплуатируемые на шахтах, опасных по газу и пыли, относятся к системам с высокой частотой запросов и должны иметь уровень полноты безопасности SIL 4 (вероятность отказа $PFH = 10^{-9}-10^{-8} \text{ час}^{-1}$, уровень диагностического охвата (DC) – не менее 60 %, уровень отказоустойчивости: $N = 1$ при $DC \geq 90 \%$ и $N = 2$ при $DC = 60-90 \%$ и др.), который не достижим в части обеспечения надежности, возможности и кратности резервирования, условий и качества эксплуатации и обслуживания.

ния. По этой причине эффективное применение систем АГЗ возможно только после снижения риска до допустимого уровня в рамках применения многоуровневой системы обеспечения безопасности, в которой: на I уровне должны применяться внешние средства снижения риска, исключающие возможность возникновения инициирующих условий, т. е. снижающие уровень риска до допустимого путем контроля соответствия проектных решений текущим условиям функционирования шахты, контроля, организации, координации и управления технологическими и производственными процессами в соответствии с проектными решениями; II уровнем являются системы, связанные с безопасностью, которые используются в предаварийных и аварийных ситуациях и режимах и призваны противодействовать инициирующим событиям – осуществлять противоаварийное управление и защиту работников, оборудования и сооружений; III уровню соответствуют другие средства уменьшения риска, которые предотвращают развитие аварий и уменьшают ущерб от нее.

2 Автором предложена классификация опасных событий и режимов, обеспечивающая возможность продуктивного технического нормирования, разработки и проектирования МФСБ за счет ограничения рассматриваемых аварий и режимов функционирования шахты.

3 Автором проведена классификация средств и систем, используемых для обеспечения охраны труда и промышленной безопасности в угольной шахте, по отношению: к целям и задачам МФСБ; условиям применения; особенностям реализации; основным техническим требованиям, что необходимо для решения задачи разработки различных видов обеспечения МФСБ.

4 Автором предложена формализованная постановка задачи оптимального синтеза-проектирования МФСБ, обеспечивающая достижение допустимого риска при минимальных затратах на реализацию за счет выбора подсистем (способов реализации функции) МФСБ, решение которой возможно методами линейного программирования.

3 Разработка модели и методов количественного оценивания риска и научное обоснование принципов построения многофункциональной системы безопасности

3.1 Модель и методы количественного оценивания риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты

Для описания риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты и разработки модели его количественного оценивания с учетом обзора, выполненного в подразделе 1.3 и задачи менеджмента риска, нами разработана модель количественного оценивания риска [18] с использованием методологии А. М. Козлитина [144-147], предусматривающей применение координатных законов поражения, и ЛВ-методов (логико-вероятностных) оценивания вероятностей случайных событий, развиваемые в работах И. А. Рябина, А. С. Можяева, Е. Д. Соложенцева [177, 217, 235], совместное применение которых позволяет связать результаты количественного оценивания текущего риска с параметрами ТП и ПП.

Опасные явления и аварии на угольных шахтах, связанные с разными типами опасностей, характеризуются параметрами, которые могут принимать значения в широких диапазонах, вызывать лавинообразное развитие опасных событий, реализовывать другие угрозы, приводить к комплексным поражениям реципиентов. Например, взрывы МВС, ПМВС, ПВС, которые являются наиболее «тяжелыми» по ущербу, могут быть дефлаграционными и детонационными, при этом скорость движения фронта УВВ (ударной воздушной волны) может быть ниже 30 м/с и выше 2300 м/с, избыточное давление изменяться в пределах от 7 до 5000 кПа, температура от 1850 °С в начале воспламенения до 2650 °С при взрывном горении [5, 158]. Взрыв может приводить: а) для людей к – фугасному поражению из-за перепада давления на фронте УВВ; кинетическому поражению из-за ударов твердых предметов или о твердые предметы; тепловому поражению от действия фронта пламени и вторичных пожаров, вызванных взрывом; токсическому поражению из-за появления токсичных и вредных газов после взрыва и вторичных пожаров или поражению из-за недостатка кислорода; блокированию перемещения из-за разрушения сооружений, оборудования и пр.; б) для сооружений и оборудования – к полному разрушению, необходимости восстановления путем проведения различных видов ремонтов; в) для запасов угля – к списанию, переподготовки к выемке и пр. Аналогичным комплексным воздействием обладают пожары, другие виды аварий и опасных явлений, предусматриваемых в [129], например, УВВ от обрушения больших объемов горной массы (с избыточным давлением более 0,002

МПa) может приводить к образованию и взрыву МВС, ПМВС и ПВС.

Все это делает необходимым рассмотрение комплексного показателя опасности – интегрированного риска $R(Y_\Sigma)$ (2.2), который определяется как математическое ожидание суммарного ущерба по всем видам ущерба для различных сценариев аварий:

$$R(Y_\Sigma) = \sum_V \sum_O \sum_D \sum_L R_{(v)dol}^{n(v)}(x) Y_{(v)dol}^{m(v)}(x), \quad (3.1)$$

где V – множество видов ущербов (рисков), $V = \{v_1, v_2, v_3\} = \{ \text{(социальный)}, \text{(материальный)}, \text{(экологический)} \}$ и соответствующие им ущербы Y_C, Y_M, Y_Σ (социальный, материальный, экологический) и риски $R(Y_C), R(Y_M)$ и $R(Y_\Sigma)$; $Y_{(v)dol}(x)$ – ущерб v -го вида, наносимый реципиенту, выраженный в стоимостном эквиваленте:

$$Y_{(C)dol}(x) = N_{(C)oj} \cdot \Pi_{CЖ} \cdot K_{(C)l} \cdot Z_{(C)g}; \quad (3.2)$$

$$Y_{(M)dol}(x) = N_{(M)oj} \cdot \Pi_{Bo} \cdot K_{(M)ol} \cdot U_{(M)lg}; \quad (3.3)$$

$$Y_{(\Sigma)dol}(x) = b_e^{\lim} K_e^{In} \Pi_e, \quad (3.4)$$

где $N_{(C)oj}$ и $N_{(M)oj}$ – количество реципиентов o -го вида (людей и материальных активов) в j -й зоне с одинаковыми условиями поражения соответственно; $\Pi_{CЖ}$ и Π_{Bo} – плата за спасение жизни и восстановление o -го материального актива соответственно; $K_{(C)l}$ и $K_{(M)ol}$ – коэффициенты, сопоставляющие l -ю степень поражения со смертельным исходом и с полным разрушением соответственно; $Z_{(C)g}$ – защищенность g -го человека; $U_{(M)l}$ – устойчивость l -го материального актива; b_e^{\lim} , K_e^{In} и Π_e – повышающий коэффициент за сверхлимитное загрязнение, коэффициент инфляции при оценке ущерба и комплекс, определяющий ставку платы за загрязнение e -й компоненты экосистемы соответственно. Далее в работе не рассматривается экологический ущерб. При количественном оценивании риска для нескольких участков одной угольной шахты выражение (3.1) должно быть дополнено суммированием по участкам. В общем случае ущербы зависят от: 1) типа опасности, в качестве которой принимается перечень опасных явлений и аварий, например, для аварий по [129]: $d \in D$, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_8\} = \{ \text{(взрыв МВС, ПМВС, ПВС)}, \text{(пожар)}, \text{(внезапный выброс угля и газа)}, \text{(горный удар)}, \text{(обрушение породы)}, \text{(прорыв воды, глины, пульпы)}, \text{(затопление)}, \text{(проникновение токсических веществ в горные выработки)} \}$; 2) вида реципиента $o \in O$,

$O = \{o_1, o_2, o_3, o_4\} = \{ \text{(человек)}, \text{(сооружения, оборудование, машины)}, \text{(запасы угля)}, \text{(окружающая среда)} \}$; 3) степени поражения реципиентов $l \in L$, которые зависят от вида реципиента: $L_{o1} = \{ \text{(смертельная травма)}, \text{(тяжелая травма)}, \text{(травма средней тяжести)}, \text{(легкая травма)} \}$ или по [68]; $L_{o2} = \{ \text{(не подлежит восстановлению)}, \text{(капитальный ремонт)}, \text{(средний ремонт)}, \text{(текущий ремонт)} \}$ и т. п.; $n(v_i), m(v_i)$ – показатели в формуле (3.1), отражающие восприятие обществом различных величин вероятностей и возможных ущербов для разных типов опасностей [130]: обычно $\forall i: n(v_i) = 1, m(v_i) = 1$, для социально значимых аварий $n(v_c) = 1, m(v_c) = 2$; x – положение реципиента относительно эпицентра аварии (расстояние до эпицентра); $R_{(v)dol}(x)$ – потенциальный риск поражения реципиента на расстоянии x от эпицентра,

$$R_{(v)dol}(x) = \sum_H p(q_h) p(x|q_h), \quad (3.5)$$

где $p(q_h)$ – вероятность выброса; $p(x|q_h)$ – вероятность поражения на расстоянии при выбросе. Потенциальный риск $R_{(v)dol}(x)$ зависит от двух групп случайных событий.

1-я группа событий в (3.5) – $p(q_h)$ характеризует выброс энергии и вещества, который определяется количеством энергии и вещества q_h и описывается:

$$p(q_h) = p_{FTA}(q_h) p_{ETA}(q_h), \quad h \in H, \quad (3.6)$$

которая определяется: вероятностью совпадения в пространстве и времени ИУС, приводящих к реализации h -й гипотезы (сценария) возникновения аварии на основе анализа «дерева отказов» (FTA)

$$p_{FTA}(q_h) = \Phi_{FTA}(\mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{w}, h), \quad (3.7)$$

где $\Phi_{FTA}(\mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{w}, h)$ – логико-вероятностная функция, вид \mathbf{B} и параметры \mathbf{C} которой определяются «деревом отказов», а аргументы \mathbf{w} – вектор переменных, которые измеряет или контролирует МФСБ, или переменные, определяемые на основании статистического анализа накопленных ранее данных о событиях (отказах) на данном или аналогичном ОПО (его части); вероятностью развития аварии по h -у сценарию на основе анализа «дерева событий» (ETA) –

$$p_{ETA}(q_h) = \Phi_{ETA}(\mathbf{D}, \mathbf{E}, \mathbf{w}, h), \quad (3.8)$$

где $\Phi_{ETA}(\mathbf{D}, \mathbf{E}, \mathbf{w}, h)$ – функция, вид \mathbf{D} и параметры \mathbf{E} которой определяются «деревом отказов».

2-я группа событий в (3.5) – $p(x|q_h)$ характеризует процесс поражения реципиента и соответствует условной вероятности поражения на расстоянии x от эпицентра выброса энергии или вещества $P(x|q_h)$, при описании которой используются координатные законы поражения от взрыва, теплового, токсического воздействия, определяемые горно-геологическими, технологическими, аэрологическими и прочими факторами и характеристиками угольной шахты. Для описания ПРВ поражения $P(x|q)$ в [145, 146] предложено использовать следующие функции, описываемые распределением Вейбулла.

Для токсического поражения, вызванного выбросом токсического вещества q (мг/л, мг/кг): ПРВ поражения (Рисунок 3.1, а): $f(q) = \gamma \sigma^{-1} [(q - PCt) / \sigma]^{\gamma-1} \exp[-((q - PCt)^\gamma \sigma^{-\gamma})]$, $q \in [PCt, LCt_{100\%}]$, где γ , σ и PCt – параметры распределения Вейбулла; PCt и $LCt_{100\%}$ – пороговая и абсолютно смертельная токсодоза соответственно, при этом вероятность поражения, например, для сильнодействующего токсического вещества примет вид (Рисунок 3.1, б):

$F(q) = \gamma \sigma^{-1} \int_0^{q-PCt} (z/\sigma)^{\gamma-1} \exp(-z^\gamma \sigma^{-\gamma}) dz$; ПРВ токсического поражения с учетом НД, содержащих информацию о соответствии зон поражений и мощностей выбросов, т. е. зависимость $x = \varphi(q)$ (Рисунок 3.1, в), описывается выражением:

$$p(x|q) = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 < x \leq x_{LCt_{100\%}}; \\ 1 - \exp(-(\Psi(x) - PCt)^\gamma \sigma^{-\gamma}), & \text{при } x_{LCt_{100\%}} < x \leq x_{PCt}, \end{cases} \quad (3.9)$$

где $\Psi(x)$ – функция, являющаяся обратной функции $\varphi(q)$, которая отражает функциональную связь между областью x в окрестности эпицентра выброса и случайной величиной поглощенной токсодозы q ; x_{PCt} и $x_{LCt_{100\%}}$ – расстояния от эпицентра, соответствующие пороговой и абсолютно смертельной токсодозе соответственно.

Основная сложность оценивания токсического поражения заключается в том, что в существующих НД нормируются зоны поражения для выбросов на открытом пространстве. Применительно к горным выработкам функции $x = \varphi(q)$ должны быть определены с учетом движения ГС, эта задача в рамках данной работы не рассматривается. Очевидно, вне зависимости от вида функции $x = \varphi(q)$ для вычислений по (3.9) необходимо контролировать содержания токсичных, вредных газов, кислорода и скорости движения ГС по горным выработкам, решать уравнения материального (газового) баланса с учетом топологии горных выработок и характе-

ристик ГС в них, что должно быть обеспечено средствами МФСБ.

Основным источником токсических газов являются пожары и взрывы МВС, ПМВС и ПВС, для которых в [239] приведены сведения о составе продуктов взрыва, которые подтверждают необходимость контроля кислорода, оксида и диоксида углерода и водорода в рамках МФСБ.

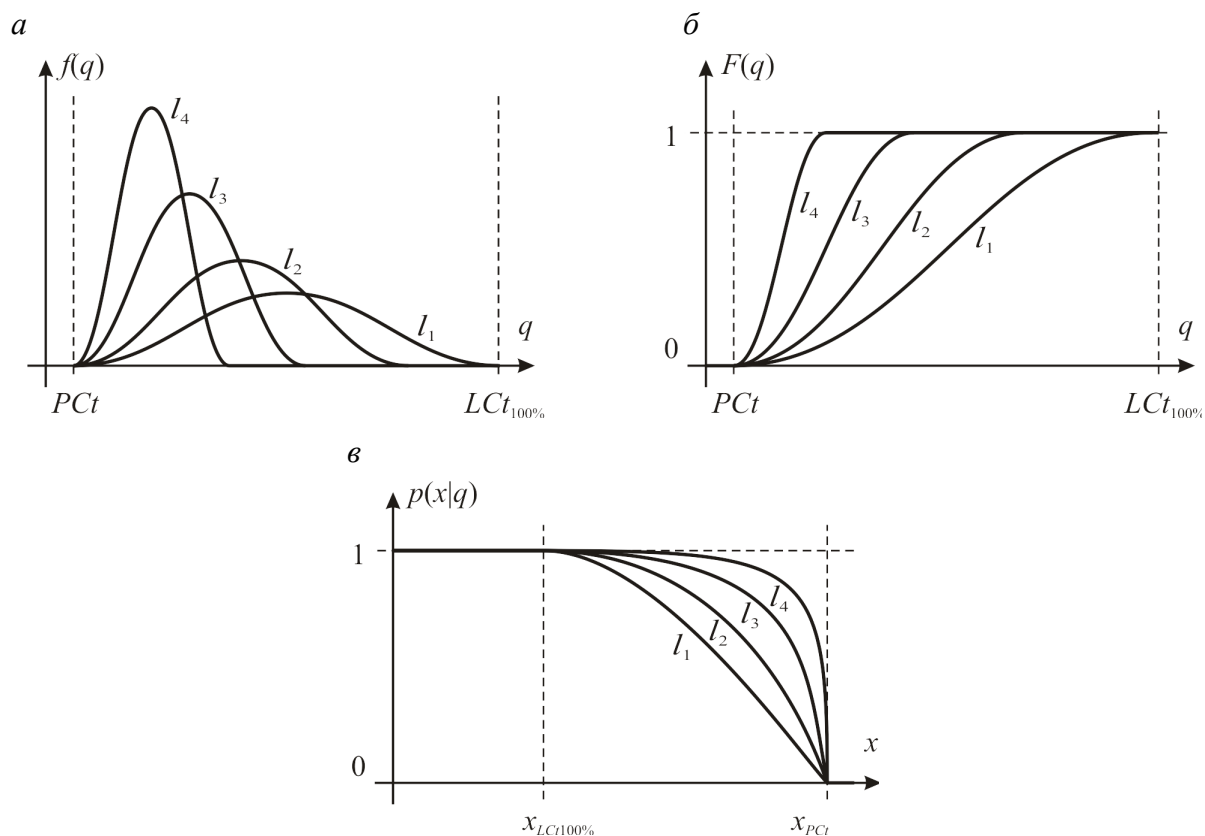


Рисунок 3.1 – Функции, описывающие токсическое поражение

Для фугасного поражения (по аналогии с токсическим) А. М. Козлитиным получены: функция распределения $F(\Delta P_\phi) = 1 - \exp(-[(\Delta P_\phi - P_{\min}) \cdot \sigma^{-1}]^\xi)$ (Рисунок 3.2, а), где ΔP_ϕ – избыточное давление во фронте УВВ, $\Delta P_{\text{нор}}$ – пороговое значение избыточного давления для поражения человека (0,006; 0,009 или 0,01 МПа в разных НД), σ , ξ , P_{\min} – параметры распределения Вейбулла, P_{\min} – избыточное давление, при котором вероятность фугасного поражения ничтожна; ПРВ фугасного поражения (Рисунок 3.2, б):

$$p(x|\Delta P_\phi) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-(\Delta P_{\max} \eta^{-1})^\xi\right], & \text{при } 0 < x \leq r_{\text{обл}}; \\ 1 - \exp\left[-((\Delta P(x) - \Delta P_{\text{нор}}) \eta^{-1})^\xi\right], & \text{при } r_{\text{обл}} < x \leq x(\Delta P_{\text{нор}}), \end{cases} \quad \text{где } \Delta P(x) \text{ – функция, об-}$$

ратная зависимости $x(\Delta P_\phi)$, которая отражает функциональную связь между областью x в окрестности эпицентра взрыва и случайной величиной фугасного воздействия от него, характеризующейся энергетической характеристикой УВВ q , в качестве которой рассматривается

избыточное давление на фронте УВВ ΔP_ϕ , зависящее от количества и энергетических свойств вещества, участвующего во взрыве, $r_{обл}$ – радиус облака вещества, участвующего во взрыве, η , ξ и $\Delta P_{нор}$ – параметры распределения Вейбулла.

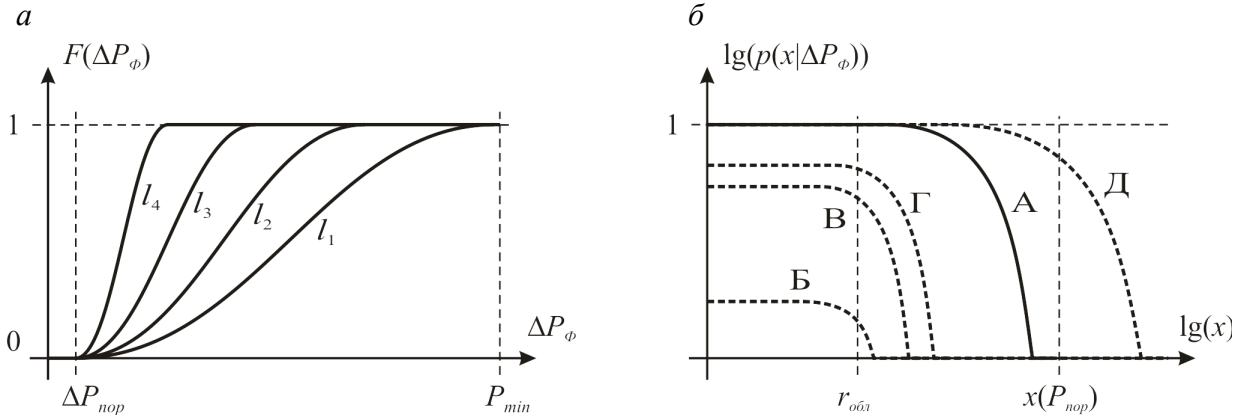


Рисунок 3.2 – Функции, описывающие фугасное поражение (линия А по (3.11); линии Б-Д соответствуют разным видам фугасного поражения)

Для фугасного воздействия на сооружения и оборудование (по А. М. Козлитину) – функция распределения вероятности получения k -й степени разрушения в зависимости от величины избыточного давления имеет вид (Рисунок 3.3, а)

$$F_k(\Delta P_\phi) = 1 - \exp\left(-(\Delta P_\phi - \Delta P_0)^{\vartheta_k} (\Delta P_{lim} - \Delta P_0)^{-\vartheta_k} (1 - k)^{-1}\right),$$

где ΔP_{lim} – пороговое значение избыточного давления для k -й степени разрушения, ΔP_0 – порог разрушения, ϑ_k и k – коэффициенты распределения Вейбулла; ПРВ фугасного воздействия (Рисунок 3.3, б и в):

$$p_k(x|\Delta P_\phi) = 1 - \exp\left(-\left[(P_{Sk}(x, \Delta P_{lim}) - \delta_k(\Delta P_{lim}))r_k(\Delta P_{lim})^{-1}\right]^{\vartheta_k}\right),$$

где $P_{Sk}(x, \Delta P_{lim}) = \Delta P_\phi(x) / \Delta P_{lim}$, $\Delta P_\phi(x)$ – зависимость текущего значения избыточного давления на расстоянии x от эпицентра, $\delta_k(\Delta P_{lim}) = \Delta P_0 / \Delta P_{lim}$. Очевидно, что распространение УВВ в горных выработках отличается от таких процессов на открытом пространстве, для которого получены результаты А. М. Козлитиним. Для шахт вычисления осуществляются по методикам, учитывающим расчетную схему сети горных выработок. Для этого используются функции, обратные функции вида $q = \varphi^{-1}(x)$ в (3.11), получаемые:

1) по методике А. М. Чеховских [240], в соответствии с которой:

$$\Delta P(x) = \Delta P_\phi \exp(-kS^{-1}Px), \quad (3.10)$$

где ΔP_ϕ – избыточное давление в начале участка движения УВВ, МПа; P и S – периметр и площадь сечения выработки, м и м²; x – путь, пройденный УВВ, м; k – коэффициент затухания, $k = \alpha(4,1 - 3,1 \exp(-0,03 \Delta P_\phi))$; α – коэффициент аэродинамического сопротивления выработки, – основными недостатками методики являются завышенные оценки давления (до 30 %) и отсутствие учета полной энергии взрыва;

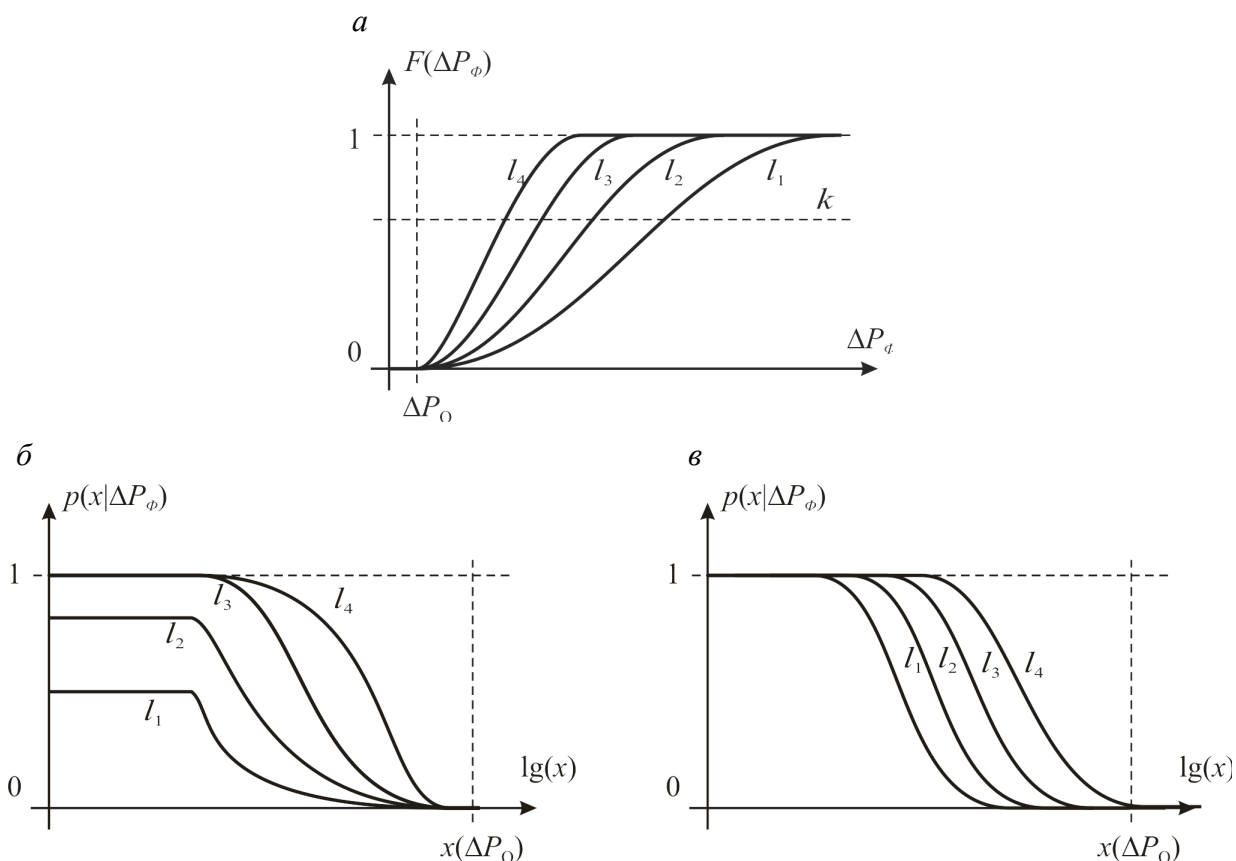


Рисунок 3.3 – Функции, описывающие фугасное воздействие

(б – для прочных монолитных сооружений, оборудования; в – для конструкций и сооружений малой прочности)

2) по методике В. М. Плотникова, в которой k в (3.10) определяется по [234], в которой исправлены некоторые недостатки методики А. М. Чеховских, но также не учитываются многие физические процессы, что приводит к завышенным оценкам ΔP_ϕ ;

3) по методике МакНИИ [8]:

$$\Delta P(x) = \Delta P_\phi \exp(-4k(\Delta P_\phi, \tilde{L})\alpha S^{-0,5}x), \quad (3.11)$$

где $k(\Delta P_\phi, \tilde{L})$ определяется при $\Delta P_\phi < 0,1$ МПа по формуле $k(\Delta P_\phi, \tilde{L}) = 1 + 9\Delta P_\phi$, иначе по

Рисунку 3.4, а; \tilde{L} – относительное расстояние распространения УВВ, $\tilde{L} = \sum_{i=1}^m L_i S_i^{-0,5}$; L_i , S_i – длина и площадь сечения i -й выработки, по которым распространяется УВВ.

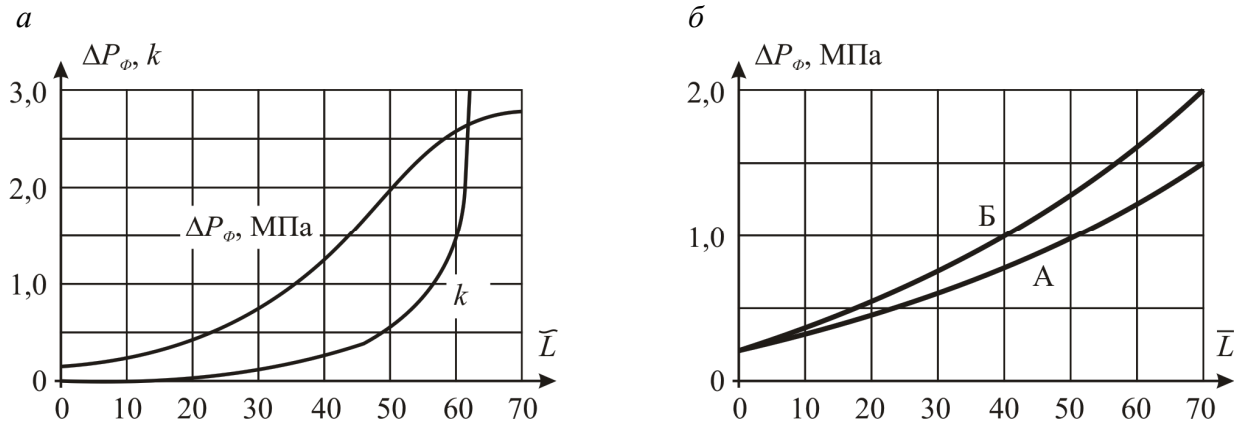


Рисунок 3.4 – Зависимость избыточного давления во фронте ударной воздушной волны от безразмерной длины выработки (А – при взрыве МВС, Б – при взрыве ПМВС)

Адекватность перечисленных методик многими специалистами обоснованно ставится под сомнение [195]. Все большее распространение приобретает газодинамический подход к расчету параметров распространения УВВ, который лишен недостатков перечисленных методик. Однако этот подход основан на численном моделировании и требует значительных вычислительных и временных ресурсов, что не позволяет использовать его при количественном оценивании риска в реальном времени, что в итоге делает неизбежным применение упрощенных методик. В [239] описаны методы вычисления коэффициентов затуханий k в (3.11).

Определение фугасного поражения и воздействия на людей во многом основано на оценке избыточного давления ΔP_ϕ . В [145, 146] предложено использовать следующие зависимости:

а) при дефлаграционных взрывах

$$\Delta P_\phi = P_{\max} \left[1 + B \left(x \left(m^3 \sqrt{Q} \right)^{-1} - 1 \right)^c \right]^{-1}, \quad (3.12)$$

где P_{\max} – максимальное давление в огневом облаке при дефлаграционном взрыве, $P_{\max} = 212,73 \alpha^2 (1 - \alpha)^{-1}$; m – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства вещества, $m = 101,73 (\kappa \sigma)^{0,33} (\mu C_{\text{НКПВ}})^{-0,33}$; Q – масса взрывающегося вещества (ВВ: ПМВС, МВС, ПВС); σ – степень расширения сгоревших газов; μ – относительная молекулярная масса вещества; $C_{\text{НКПВ}}$ – объемный НКПВ ВВ; α – относительная скорость распространения

пламени; $\alpha = \omega \cdot a_0^{-1}$; a_0 – скорость звука в воздухе; ω – скорость распространения пламени в ВВ; B, C – эмпирические коэффициенты, зависящие от класса и режима горения ВВ;

б) при детонационных взрывах

$$\Delta P_\phi = \left(A^3 \sqrt{\aleph} \cdot Q \cdot x^{-1} \right)^\beta, \quad (3.13)$$

где ΔP_ϕ – избыточное давление во фронте УВВ, $\Delta P_{\min} \leq \Delta P_\phi \leq \Delta P_{\max}$; Q – масса ВВ, т; \aleph – коэффициент, зависящий от вида и способа хранения ВВ; A, β – параметры степенной функции, характеризующие взрывоопасные свойства ВВ; $\Delta P_{\min}, \Delta P_{\max}$ – область определения ΔP_ϕ . Основным аргументом при расчете избыточного давления в (3.13) и (3.14) является масса ВВ Q , расчет которой должен осуществляться с помощью МФСБ на основе результатов измерения содержания взрывоопасных газов, запыленности, скорости движения воздуха, решения задач пылеотложения и газового баланса с учетом данных о физико-химических свойствах угля и выполняемых технологических операциях.

Для горных выработок аналогичный расчет может быть выполнен по методикам:

1) А. М. Чеховских

$$\Delta P_\phi = 0,208 \left(0,4A - 0,29 + \sqrt{(0,4A - 0,29)^2 + 2,8A} \right), \quad (3.14)$$

где ΔP_ϕ – давление во фронте УВВ после прохождения через местные сопротивления, МПа; A – параметр, определяемый по таблицам в зависимости от вида местного сопротивления с учетом угла поворота и соотношений площадей поперечного сечения каналов, МПа;

2) В. М. Плотникова

$$\Delta P_\phi = \left(12,3 \frac{V_0}{V_2} + 0,5 \right) 10^5, \quad (3.15)$$

где V_0 и V_2 – начальный объем взрывающегося вещества и объем продуктов взрыва, м³, а перепад давления, распространяющейся через местные сопротивления,

$$\Delta P_\phi = k_{затек} \Delta P_H, \quad (3.16)$$

где $k_{затек}$ – коэффициент затекания УВВ, учитывающий ее изменение после прохождения сопряжений и поворотов; ΔP_H – давление во фронте УВВ перед местным сопротивлением,

$\Delta P_H = 0,233[(1 + 7,12P_0V_2(\mu E_H)^{-1})^{0,5} - 1]$; P_0 – атмосферное давление, 10^5 Па; V_2 – объем продуктов взрыва, м^3 ; μ – коэффициент перехода энергии взрыва в интенсивность УВВ; E_H – энергия взрыва, Дж;

3) по методике, изложенной в [239], в соответствии с которой значение ΔP_ϕ может быть оценено по максимальному перепаду давления (не может быть больше), возникающему при взрыве стехиометрической МВС (содержание метана 9,5 % об. доли), равномерно распределенной по объему выработки в соответствии с Рисунком 3.4, б, (здесь $\bar{L} = \sum_{i=1}^n L_i d_{i,ПП}^{-1}$, $d_{i,ПП} = 4S_i \Pi_i^{-1}$; L_i , $d_{i,ПП}$, S_i и Π_i – длина, приведенное сечение, площадь сечения и периметр i -й выработки, входящей в участок длиной \bar{L}). Вопрос об адекватности перечисленных методик определения ΔP_ϕ также остается открытым [195].

Систематический обзор различных моделей взрывов МВС, ПМВС и ПВС, на основании которых также возможно определение $\Delta P(x)$ и ΔP_ϕ , приведен в [158]. Сведения о пороговых значениях избыточного давления и порогах разрушения для разных средств управления перераспределением энергии УВВ (водяные заслоны, взрывоустойчивые и парашютные перемычки и их комбинации, завалы и загромождения, комбинация водоналивной и взрывоустойчивой перемычки и пр.) приведены в [239]. Там же приведены сведения по величинам избыточного давления, приводящим к различным степеням разрушения для разных видов крепей, и действию избыточного давления на различные сооружения и оборудование.

Для теплового поражения А. М. Козлитиним получены: функция распределения вероятности теплового поражения от теплового потока $F(q) = 1 - \exp(-(q\tau - \gamma)^k \omega^{-k})$, где τ – длительность теплового воздействия, γ – порог последствий от ожогов, ω и k – константа распределения Вейбулла; ПРВ поражения в зоне действия опасных факторов пожара: открытого огня и теплового излучения (Рисунок 3.5)

$$p(x|q) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \leq L_p; \\ 2\pi^{-1/2} \int_{-\infty}^{Pr(x)-5} \exp(-z^2/2) dz, & \text{при } x \geq L_p, \end{cases} \quad (3.17)$$

где L_p – граница зоны открытого пламени, $Pr(x)$ – пробит-функция, $Pr(x) = A + B \cdot \ln[t_0(q(x) - J)^{4/3}]$, $t_0 = \text{const}$, t_0 – эффективное время экспозиции, при котором тепловой поток, соответствующий нижнему порогу теплового поражения $J \leq 3,5$ кВт/м² не должен превысить дозу, соответствующую ожогу первой степени; $q(x)$ – зависимость интен-

сивности теплового излучения от расстояния, A, B – параметры пробит-функции. Функция (3.17) может применяться и в условиях угольных шахт.

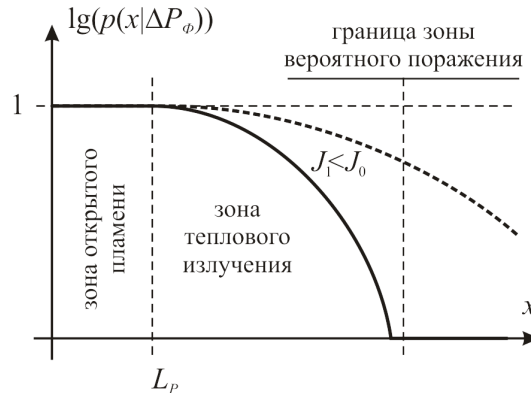


Рисунок 3.5 – Общий вид плотности распределения вероятности теплового поражения

Таким образом, рассмотренные ПРВ поражения имеют следующий обобщенный вид:

$$p_{(d)ol}(x|\mathbf{q}) = \begin{cases} p_{(d)0}(\mathbf{o}, \mathbf{q}, \mathbf{s}, x), & \text{при } 0 < x \leq x_{(d)nop}(l); \\ p_{(d)x}(\mathbf{o}, \mathbf{q}, \mathbf{s}, x), & \text{при } x_{(d)nop}(l) < x, \end{cases} \quad (3.18)$$

где $p_{(d)0}(\mathbf{o})$ – условная вероятность поражения на расстоянии меньше порогового $x_{(d)nop}(l)$; \mathbf{o} , \mathbf{q} и \mathbf{s} – параметры реципиента, выброса и условий выброса соответственно; d , o и l – виды аварии, реципиента и степень поражения соответственно. Важно отметить, что автор не ставит и не решает задачи определения адекватности приведенных функций или разработки новых, в рамках исследований решается задача научного и методического обоснования параметров и конструирования МФСБ, увеличивающей уровни ОТ и ПБ на основе процедур менеджмента риска, подразумевающих его текущее измерение.

Вернемся к рассмотрению случайных ИУС, приводящих к аварии, которые характеризуют 1-й группу случайных событий в (3.5). Для их описания используется вероятность возникновения и развития аварии $p(q_h)$, которая может быть записана в виде (3.7): $p(q_h) = p_{FTA}(q_h)p_{ETA}(q_h)$. Для расчета $p(q_h)$ предложено использовать ЛВ-методы (логико-вероятностные), развиваемые в работах И. А. Рябина, А. С. Можая, Е. Д. Соложенцева [177, 217, 235]. В соответствии с ЛВ-методологией сценарии возникновения аварий, которые оформляются в виде «дерева отказов», строятся на основе функций алгебры логики (ФАЛ): $\phi_{FTA}(\mathbf{z}) = \phi_{FTA}(z_1, \dots, z_n)$, где z_i – i -я переменная, характеризующая ИУС, являющаяся элемен-

том \mathbf{w} или вычисляемая на его основе, $z_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-е ИУС произошло;} \\ 0, & \text{если } i\text{-е ИУС не произошло,} \end{cases}$ для которых

определены вероятность опасности $p(z_i = 1) = O_i$ и безопасности $p(\bar{z}_i = 1) = B_i$ от ИУС z_i .

Функция $\phi_{FTA}(z_1, \dots, z_n)$ для h -го сценария возникновения аварии называется «кратчайшим путем опасного функционирования» [217] и представляет собой конъюнкцию ИУС, удаление любой компоненты (z_i) из которой приведет к безопасному состоянию: $\Phi_h(\mathbf{z}) = \bigwedge_{i \in K_h} z_i$, где K_h

– множество номеров переменных ИУС в функции Φ_h . С учетом этого, логическое выражение, описывающее условия возникновения аварии (1.7), в общем виде можно описать в виде

$$\phi_{FTA}(z_1, \dots, z_n) = \phi_{FTA}(\mathbf{z}) = \bigvee_{h=1}^H \Phi_h(\mathbf{z}) = \bigvee_{h=1}^H \left[\bigwedge_{i \in K_h} z_i \right], \quad (3.19)$$

где H соответствует конечному числу «кратчайших путей опасного функционирования» [217], или

$$\phi_{FTA}(z_1, \dots, z_n) = \phi_{FTA}(\mathbf{z}) = \bigwedge_{h=1}^G \overline{\Theta_h(\mathbf{z})} = \bigwedge_{h=1}^G \left[\bigvee_{j \in N_h} z_j \right], \quad (3.20)$$

где G – конечное число «минимальных сечений предотвращения опасности» [217] вида

$\Theta_h(\mathbf{z}) = \bigwedge_{j \in N_h} \bar{z}_j$, N_h – множество номеров переменных ИУС, соответствующих функции Θ_h .

Если ФАЛ записана в форме (3.19) или (3.20), что обеспечивается применением ЛВ-методов, то возможен переход к вероятностному описанию возникновения аварии $p_{FTA}(q_h)$, для этого: 1)

каждая переменная ФАЛ заменяется вероятностью ее равенства единице $z_i \rightarrow p(z_i = 1)$; 2) отрицание заменяется разностью между единицей и вероятностью ее равенства единице

$\bar{z}_i \rightarrow 1 - p(z_i = 1)$; 3) конъюнкция и дизъюнкция заменяются на арифметические умножение и сложение: $z_i \vee z_j \rightarrow p(z_i = 1) + p(z_j = 1)$ и $z_i \wedge z_j \rightarrow p(z_i = 1) \cdot p(z_j = 1)$; 4) если ФАЛ имеет вид

$\phi_k = \phi_i \wedge \phi_j$, где ϕ_i и ϕ_j – это переменная z или $\phi(\mathbf{z})$, то вероятность наступления опасного события $O_k = p(\phi_k = 1) = p((\phi_i \wedge \phi_j) = 1) = O_i \cdot O_j$, если $\phi_k = \phi_i \vee \phi_j$, то $O_k = p(\phi_k = 1) = 1 - B_i \cdot B_j$.

«Дерево отказов» для аварии $d_1 = \text{«взрыв МВС, ПМВС, ПВС»}$ (Рисунок 1.10) может быть упрощено до вида, приведенного на Рисунке 3.6. ФАЛ могут быть записаны не только для итоговых («взрыв»), но и для промежуточных событий («недостаток воздуха для проветривания», «подъем отложенной пыли» и пр. на Рисунке 1.10).

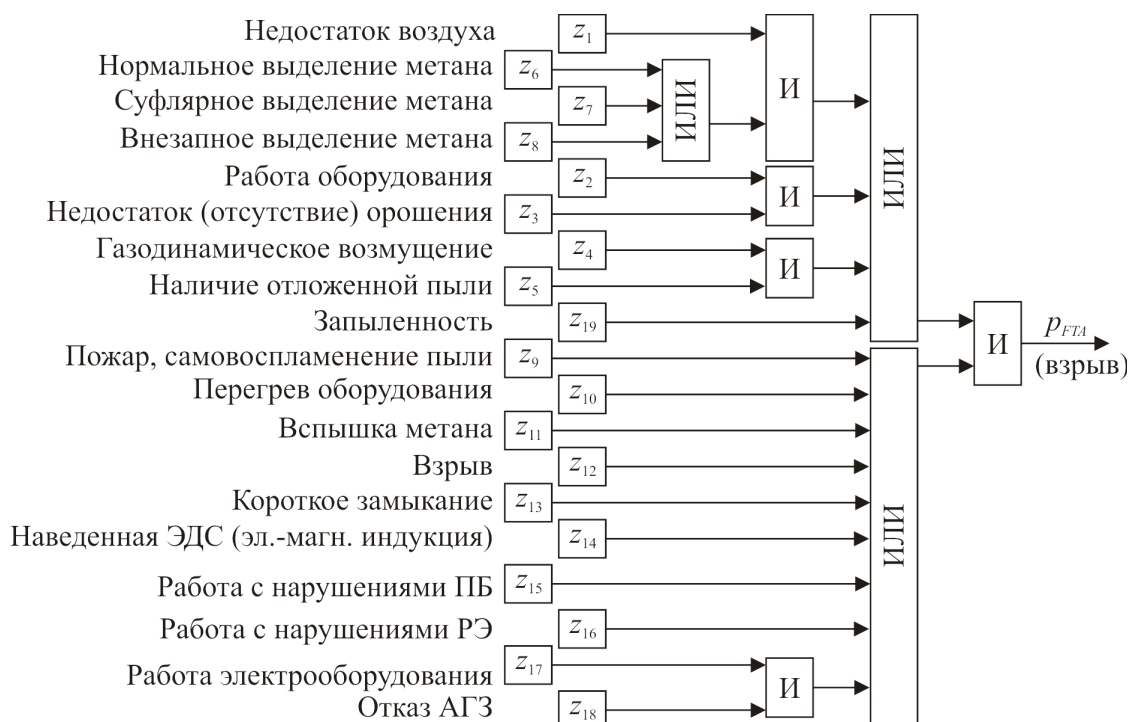


Рисунок 3.6 – Упрощенное «дерево отказов» для аварии $d_1 = \text{«взрыв МВС, ПМВС, ПВС»}$

ФАЛ для «дерева событий» на Рисунке 3.6 можно записать в матричной форме:

$$\phi_{(FTA)d_1}(z_1, \dots, z_{19}) = \begin{pmatrix} z_6 z_9 \\ z_1 z_7 z_{10} \\ z_8 z_{11} \\ z_2 z_3 z_{12} \\ z_4 z_5 z_{13} \\ z_{19} z_{14} \\ z_{15} \\ z_{16} \\ z_{17} z_{18} \end{pmatrix}, \quad (3.21)$$

тогда вероятность аварии $d_1 = \text{«взрыв МВС, ПМВС, ПВС»}$ может быть вычислена по выражению после различных преобразований (разрезания, ортогонализации, наращивания путей и пр.), входящих в ЛВ-методы:

$$O_{d_1} = p(\phi_{(FTA)d_1}(z_1, \dots, z_{19}) = 1) \quad (3.22)$$

Переменные z_i в (3.21), (3.22) могут быть разделены на группы по способу получения

информации о вероятностях соответствующих ИУС, например, для рассматриваемого примера (Рисунок 3.6) $z_1 - z_4, z_6 - z_8, z_{10}, z_{17} - z_{19}$ могут быть определены на основе множества параметров аэрологического состояния, состояния ТП и ПП: $\mathbf{w} = \{w_1 w_2 \dots w_N\}$, которые контролируются МФСБ, АСУ ТП, АСУ ПП и используются для расчета текущих значений вероятностей опасности (безопасности) для соответствующих ИУС z_i на основе зависимостей вида $O(z_i) = O_i(w_j, W_{j.ПОР})$, где $W_{j.ПОР}$ – пороговое значение для w_j , которое в большинстве случаев описывается выражением (линия А на Рисунке 3.7, а):

$$O(t) = p(z_i(t) = 1) = \begin{cases} 0, & \text{при } w_i(t) < W_{i.ПОР} ; \\ 1, & \text{при } w_i(t) \geq W_{i.ПОР} , \end{cases} \quad (3.23)$$

где использование времени t в качестве аргумента подчеркивает реализуемость (3.21) и (3.22) в реальном времени.

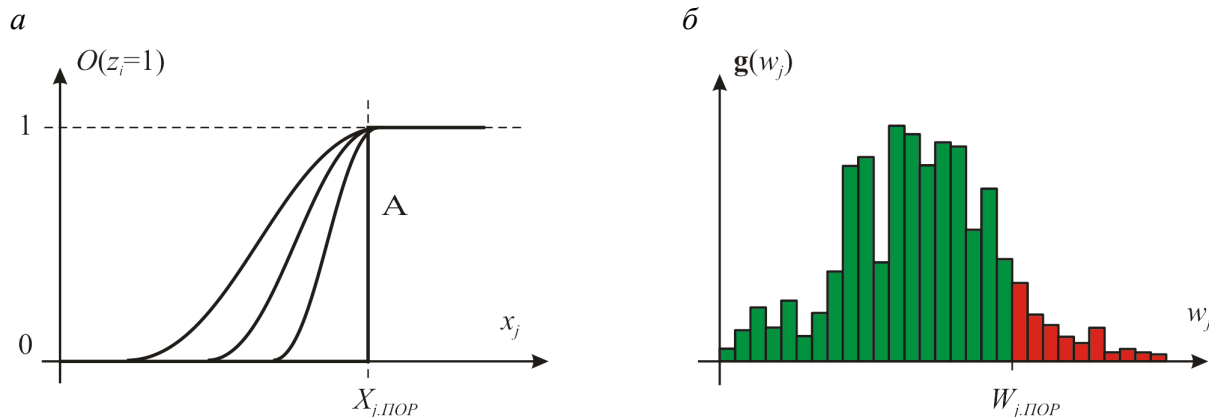


Рисунок 3.7 – К определению текущей вероятности опасности

В более сложных случаях может быть использовано выражение (1.15). Также вероятность опасности (безопасности) может быть оценена на основе анализа гистограммы контролируемой переменной w_j , рассчитываемой на k -м временном интервале (Рисунок 3.7, б):

$$O_k = p(z_i = 1) = p_k(w_j > W_{j.ПОР}) = \frac{\sum_{j=1}^n g_k(w_j > W_{j.ПОР})}{\sum_{j=1}^n g_k(w_j)} , \quad (3.24)$$

где $\mathbf{g}_k(w) = \{g_1(w_j \in [W_1, W_2]), \dots, g_i(w_j \in [W_i, W_{i+1}]), \dots, g_n(w_j \in [W_n, W_{n+1}])\}$, $g_i(w_j \in [W_j, W_{j+1}])$ – коли-

чество отсчетов x , удовлетворяющих условию $W_j \leq w_j < W_{j+1}$, W_j и W_{j+1} – границы i -го поддиапазона, где $\forall j, W_j < W_{j+1}$, n – количество поддиапазонов в диапазоне изменения x (Рисунок 3.7, б). В данном случае невозможно говорить о реальном времени, но расчеты по (3.24) могут выполняться на временных промежутках от единиц до десятков минут.

При применении (1.15), (3.22) и (3.24) возникает задача определения пороговых значений $W_{j, \text{ПОР}}$ для контролируемых переменных w_j , в качестве которых могут использоваться пороговые значения из НД и пр. Например, для рассматриваемого примера НКПВ для МВС, ПМВС, ПВС, используемые в качестве $W_{j, \text{ПОР}}$ в (3.21), могут быть рассчитаны по формулам, приведенным в [57, 193]:

$$C_{\text{CH}_4} / C_{\text{CH}_4, \text{НКПВ}} + (C_{\text{П}} / C_{\text{П, НКПВ}})^{-1/3} = 1; \quad (3.25)$$

$$C_{\text{CH}_4 + \text{УП, НКПВ}} = 53,3 \exp(-0,045V^2 - 0,69C_{\text{CH}_4}) + 1,4 \exp(-0,032V^2 - 0,69C_{\text{CH}_4}) A_C, \quad (3.26)$$

где C_{CH_4} и $C_{\text{CH}_4, \text{НКПВ}}$ – содержание и НКПВ метана, % об. долей; $C_{\text{П}}$ и $C_{\text{П, НКПВ}}$ – концентрация и НКПВ пыли, г/м³; $C_{\text{CH}_4 + \text{УП, НКПВ}}$ – НКПВ для ПМВС, г/м³; V – выход летучих, %; A_C – зольность угля, %. Условия взрывчатости для сложных ГС, ПМВС и ПВС подробно рассмотрены в [5, 158, 239].

Переменные z_1, z_5, z_9, z_{10} в (3.22) и соответствующие им вероятности опасностей O , могут быть вычислены в МФСБ на основе результатов контроля $\mathbf{x} = \{x_1 x_2 \dots x_N\}$ при моделировании аэрогазодинамических процессов, решении задач газового баланса, оценивании и прогнозировании аэрологических рисков, которые рассмотрены в разделе 4. Такие вычисления осуществимы на временных промежутках в десятки минут.

Переменные $z_5, z_{13} - z_{16}$ в (3.22) и O , которые соответствующие им, не могут быть получены автоматически и должны быть определены иным способом, например, заданы или вычислены с использованием статистической обработки данных, на основе экспертных оценок, нечеткой логики и других известных методов для рассматриваемого объекта или его аналогов. Эти переменные при расчетах можно рассматривать как постоянные величины.

Одним из важных преимуществ ЛВ-метода является возможность определения влияния ИУС на безопасность, что позволяет проводить их ранжирование, в том числе при отсутствии исходных данных о вероятностях возникновения ИУС. Для этого используются следующие характеристики для i -ых ИУС: значимость

$$B_i^3 = \frac{\partial O}{\partial O_i} = \frac{\partial p(\phi_{(FTA)}(\mathbf{z}) = 1)}{\partial p(\phi_{(FTA)}(z_i) = 1)}, \quad (3.27)$$

где O и O_i – вероятность опасности и вероятность нахождения i -го ИУС в опасном состоянии, которая в рамках МФСБ рассматривается как функция времени $B_i(t)$, а при отсутствии исходных данных о вероятностях возникновения ИУС трактуется как структурная значимость $B_i^3 = \partial O / \partial O_i \big|_{\forall i O_i=0.5}$; вклад B_i^B (приращение опасности при опасном состоянии i -го ИУС) и ущерб B_i^Y (приращение опасности при безопасном состоянии i -го ИУС) i -го ИУС

$$B_i^B = O_i \frac{\partial O}{\partial O_i} = p(\phi_{(FTA)}(z_i) = 1) \frac{\partial p(\phi_{(FTA)}(\mathbf{z}) = 1)}{\partial p(\phi_{(FTA)}(z_i) = 1)}; \quad (3.28)$$

$$B_i^Y = B_i \frac{\partial O}{\partial O_i} = p(\phi_{(FTA)}(z_i) = 0) \frac{\partial p(\phi_{(FTA)}(\mathbf{z}) = 1)}{\partial p(\phi_{(FTA)}(z_i) = 1)}. \quad (3.29)$$

Рассмотрение сомножителя $p_{ETA}(q_h)$ в (3.6), который соответствует вариантам развития аварии, производится на основе анализа «дерева событий», обобщенный вид которого представлен на Рисунке 3.8. Для «дерева событий» формируется ФАЛ вида

$$\phi_{ETA}(y_1, \dots, y_m) = \bigwedge_{j=1 \dots m} y_j, \quad (3.30)$$

где y_j – переменная, характеризующая состояние (отказ или функционирование) j -го средства предотвращения распространения аварии и минимизации наносимого ущерба по подразделу 2.3, которая может быть элементом вектора \mathbf{w} или вычисляться на его основе. Для ФАЛ (3.30) с учетом (3.8) вероятности различных исходов вычисляются по формуле

$$p_{ETA}(q_h) = \Phi_{ETA}(\mathbf{D}, \mathbf{E}, \mathbf{w}, h) = \prod_{j=1}^m O_{(h)j}, \quad (3.31)$$

где $O_{(h)j}$ – вероятность опасного состояния j -го средства предотвращения распространения аварии и минимизации наносимого ущерба для h -го сценария, которое может характеризоваться интенсивностью, коэффициентом готовности, другими параметрами надежности.

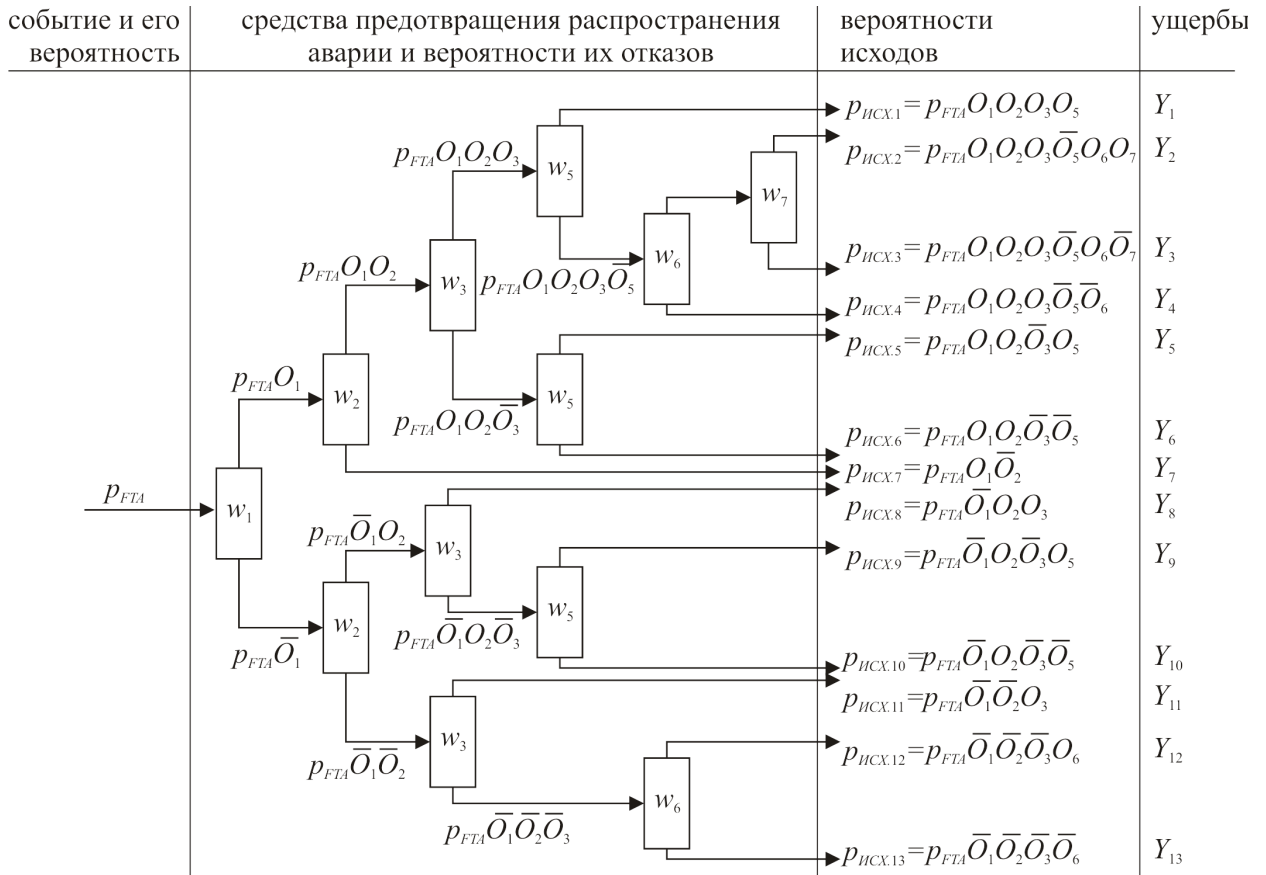


Рисунок 3.8 – Обобщенный вид «дерева событий»

В [239] приведены необходимые для расчетов справочные данные по величинам избыточного давления ΔP_ϕ , приводящим к разрушению вентиляционных, изолирующих перемычек, что позволяет оценивать вероятность их разрушения ($O_{(h)j}$ в (3.31)), например, с использованием функции (1.15) или функции вида

$$O_{(h)j} = O(w_j) = \begin{cases} 0, & \text{при } w_j < W_{j.ПОР} ; \\ 1, & \text{при } w_j \geq W_{j.ПОР} . \end{cases} \quad (3.32)$$

Также $O_{(h)j}$ может быть результатом непосредственного контроля со стороны МФСБ, АСУ ТП, такая возможность осуществима для некоторых систем ВЗГВ [260], которые срабатывают до взрыва (при обнаружении взрывоопасных МВС, ПМВС и ПВС) и обеспечивают объективный контроль своего состояния в рамках МФСБ. Это лишний раз подтверждает необходимость реализации в элементах (подсистемах) МФСБ объективного контроля текущего технического состояния путем самодиагностики, взаимной диагностики и т. д.

Важно отметить, что исходами на Рисунке 3.8 могут быть как прекращение развития аварии с конечным ущербом, так и создание новых ИУС для развития текущей аварии или возник-

новения новой: инициирование пожаров, подъем отложенной пыли, воздействие на сооружения, приводящие к формированию и взрыву ПМВС или ПВС, и пр. В общем случае существует значительное количество вариантов построения «деревьев отказов» и «деревьев событий», которые определяются границами объекта, для которого оценивается риск, видами аварий ν , типами опасности d , видами реципиентов o и пр. Количество возможных комбинаций «деревьев» с учетом размерностей ν , d , o и с учетом возможности возникновения последующих аварий велико, т. е. задача исчерпывающего анализа имеет высокую размерность и требует специальных исследований. Разработка соответствующих методик выходит за рамки настоящей работы.

«Вероятности исходов» на Рисунке 3.8 учитывают вероятность возникновения $P_{FTA}(q_h)$ и развития аварии $P_{ETA}(q_h) = \prod_{j=1}^m O_{(h)j}$ определенного вида. Очевидно, что каждому h -му исходу соответствуют ущербы $Y_{(v)dol}$, определяемые по (3.2)-(3.3), которые могут быть структурированы по видам ущерба ν , реципиентам o , типам опасностей d и степеням поражения l , которые, в свою очередь, могут быть структурированы по участкам. Совокупности различных ущербов, упорядоченных по вероятности исходов, могут быть представлены в виде спектров риска $Y_{(v)dol}(P)$ (Рисунок 3.9), которые отображают структуру риска и позволяют ранжировать участки, опасности и т. п. Спектрограммы, визуализирующие спектры во времени, позволяют оценивать динамику изменения рисков и эффективность управления ими.

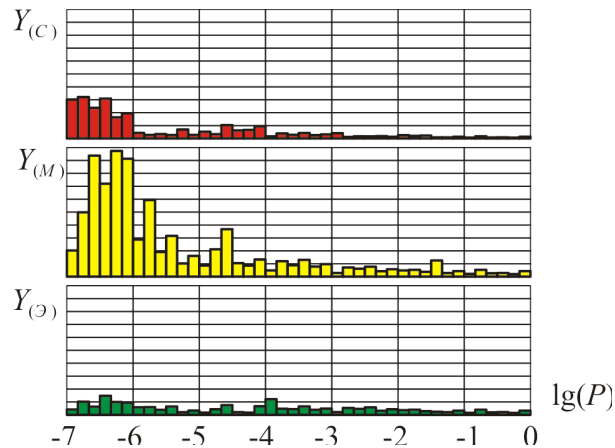


Рисунок 3.9 – Варианты отображения результатов количественного оценивания риска

Во временной области результат количественного оценивания риска может быть отображен в виде зависимостей $P_{FTA(v)dol}(t)$, $P_{ИСХ(v)dol}(t)$, $Y_{(v)dol}(t)$, $R_{(v)dol}(t)$, позволяющих оценивать динамику изменения риска и его составляющих, его структуру. Представление во временной области может быть удобно и плодотворно для совместного анализа с параметрами ТП и ПП,

контролируемыми МФСБ, АСУ ТП и АСУПП.

При эксплуатации угольной шахты результаты количественного оценивания риска по (3.1)-(3.29) и исходные данные для него должны сохраняться в БД МФСБ, на основании которой могут быть сформированы разные агрегаты для оценивания риска, объединяющие составляющие в различных комбинациях, и индикаторы риска, отображающие разные аспекты опасностей и рисков. Такая БД должна предоставлять исходную информацию для обработки данных в рамках классического статистического анализа и других подходов (data mining, data fusion, big data) для выявления функциональных и корреляционных зависимостей и связей, выявления угроз, опасных состояний, тенденций, прогнозирования рисков и т. п.

На основании предложенной модели количественной оценки риска автором разработаны:

- интегральный экономический индикатор риска, отражающий отношение выгоды к риску эксплуатации угольной шахты,

$$I_{R\Sigma} = 100 - 10 \lg(Q_V C_V / R(Y_\Sigma)), \quad (3.33)$$

где $R(Y_\Sigma)$, Q_V , C_V – соответственно средний интегрированный риск по (3.1)-(3.4), количество добытого угля и его средняя цена за расчетный период T ;

- социально-экономический индикатор риска (Рисунок 3.10, а), приближенный к показателю удельного смертельного травматизма,

$$I_{R(C)} = 100 - 10 \lg(Q_V C_V R_{(C)}^{-1}), \quad (3.34)$$

где $R_{(C)}$ – социальный риск по (3.1) и (3.2);

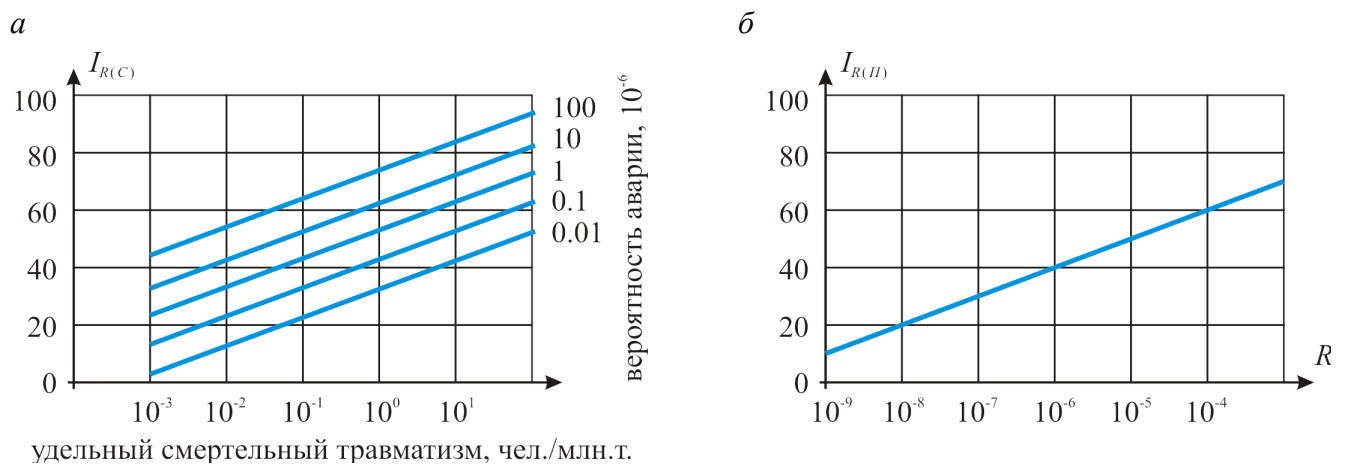


Рисунок 3.10 – Обобщенный вид зависимостей индикатора риска от различных параметров состояния промышленной безопасности угольной шахты

- интегральный индикатор потенциального риска (Рисунок 3.10, б)

$$I_{R(П)} = 100 - 10 \lg(R^{-1}), \quad (3.35)$$

где R – потенциальный риск, рассчитываемый по (3.5) для различных аварий v и типов опасности d , $R = R_{(v)dol}$. Предлагаемые индикаторы риска вида (3.33)-(3.35) и подобные им могут использоваться вместо результатов непосредственного сравнения контролируемых параметров с пороговыми значениями, определенными в НД (или совместно с ними): а) для оперативного информирования работников об текущих опасностях и рисках на их рабочих местах; б) надзорными и контролирующими органами для оценки состояния ПБ на угольной шахте.

На Рисунке 3.11 приведена обобщенная структура разработанной модели количественного оценивания риска (3.1)-(3.35), обеспечивающая необходимые расчеты в реальном времени (в темпе ведения ТП и ПП), которая основана на:

а) выявленных на этапе анализа опасностях (составления ПЛА), которые формализованы в виде «дерева отказов» и «дерева событий» ($p_{FTA}(\mathbf{q})$ и $p_{ETA}(\mathbf{q})$ соответственно), перечней опасностей, реципиентов и т. п.;

б) координатных законах поражения ($p_{(d)ol}(x|\mathbf{q})$);

в) моделях, описывающих движения УВВ и ГС по горным выработкам;

г) требованиях НД и справочных данных, содержащих информацию о предельных и пороговых значениях;

д) результатах измерения и контроля параметров АГК, ТП и ПП. Изменяющиеся во времени аргументы параметрических функций поражения $p_{(d)ol}(x|\mathbf{q})$ и вероятностей $p_{FTA}(\mathbf{q})$ и $p_{ETA}(\mathbf{q})$ должны в реальном времени контролироваться с помощью МФСБ. К таким параметрам относятся: 1) параметры шахтной атмосферы; 2) положение работников, внутришахтного транспорта и подвижного оборудования; 3) текущее техническое состояние средств АГЗ, ВЗГВ, ППЗ или оценки параметров их надежности, оценки надежности работников, как элементов производственной системы.

Задачами АГК в целях количественного оценивания риска взрыва и токсического поражения являются контроль количества и параметров взрывоопасных МВС, ПМВС и ПВС (метан, гомологи метана, водород, угольная пыль, кислород) и токсичных ГС (оксид и диоксид углерода, оксиды азота, сероводород и недостаток кислорода) в горных выработках шахты с учетом их перемещения. Применительно к АГК требования к быстродействию и точности измерения, сформулированные для решения задач оперативного управления ОТ и ПБ, известны и являются приоритетными.

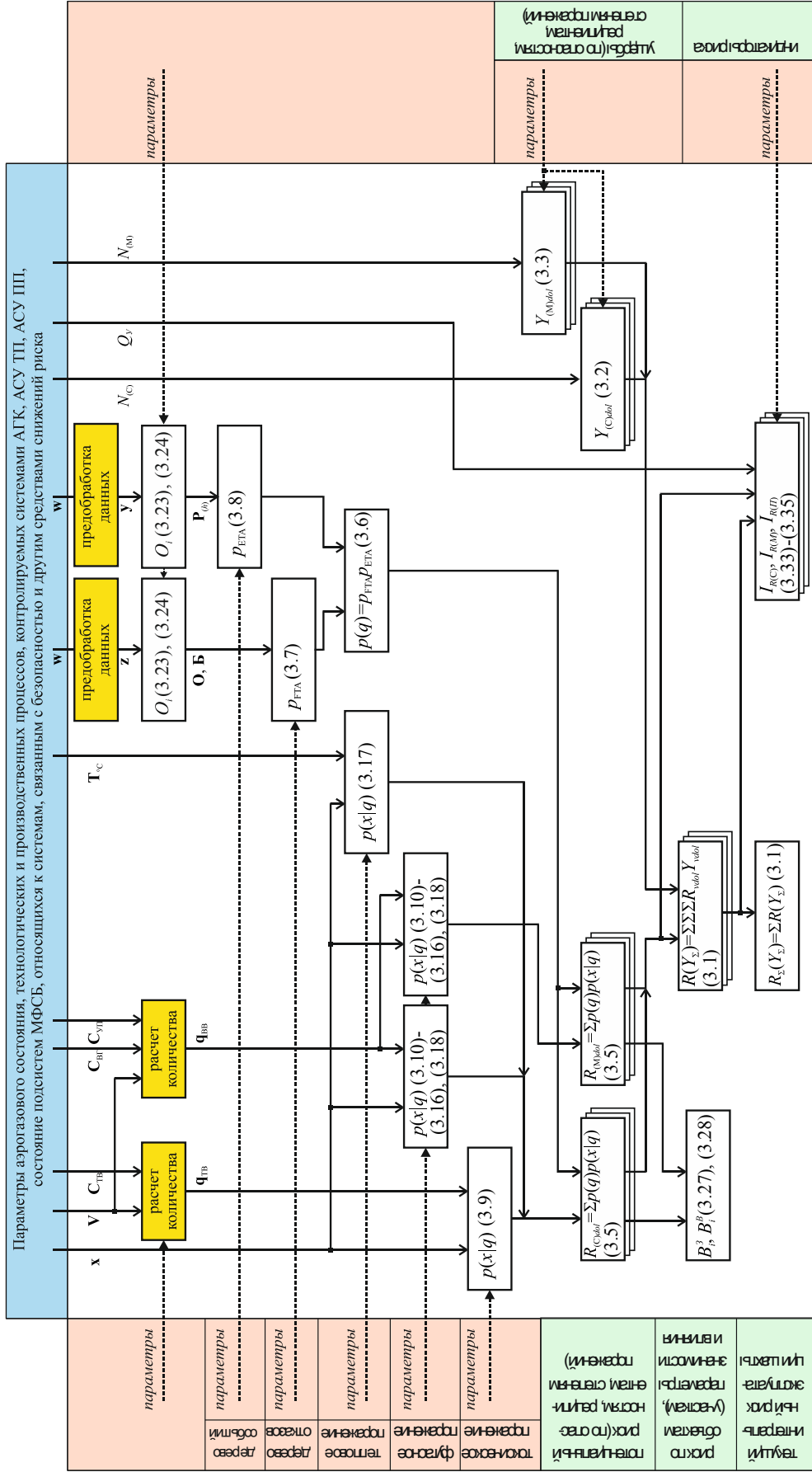


Рисунок 3.11 – Обобщенная структура модели количественного оценивания риска

Отметим, что разработанный метод количественного оценивания риска во многом базируется на координатных функциях ПРВ поражения ($x = \varphi(q)$ в (3.9)), которые описывают зоны поражения в зависимости от мощностей выбросов энергии или вещества и приводятся в соответствующей НД. В НД эти функции обычно определены для выбросов энергии или вещества на поверхности, которые не ограничены пространством горных выработок. Особенностью угольных шахт является то, что область пространства, в которой сосредоточены энергия (фронт УВВ) или вещество (токсическая ГС) после выброса, может уменьшаться незначительно по мере удаления от эпицентра, например, быть неизменной до места сопряжения с другой горной выработкой со свежим воздухом для токсического воздействия или взаимодействия со средствами ВЗГВ для взрыва. Поражение при этом возможно на значительных расстояниях от эпицентра (в том числе и из-за инициирования вторичных взрывов и пожаров). Так при расследовании аварий выявлено воздействие УВВ на выработки на расстоянии 17 км (шахта «Зыряновская», авария 02.12.1997), обнаружены токсичные газы на расстоянии 34 км (шахта «Распадская», авария 24.10.1982) от эпицентра [5, 158]. Определение адекватных координатных законов поражения $p_{(d)ol}(x|q)$ требует отдельных исследований, выходящих за рамки данной работы.

3.2 Основные принципы построения и применения многофункциональной системы безопасности

Разработанная модель количественного оценивания риска (подраздел 3.1) позволяет конкретизировать и обосновать требования к некоторым подсистемам МФСБ:

а) СН (система наблюдения), обеспечивающая определение местоположения реципиентов (персонала, транспорта и подвижного оборудования), должна обеспечивать позиционирование с точностью до зоны поражения, которая зависит от топологии горных выработок и расположения в них средств защиты от поражения (например, средств ВЗГВ для взрывов);

б) система АГК должна содержать средства контроля состава и параметров рудничной атмосферы, места расположения которых должны выбираться в том числе исходя из потребностей решения задач материального (газового) баланса;

в) системы, связанные с безопасностью (подраздел 2.3), и другие средства снижения риска (подраздел 2.3) должны обеспечивать передачу в МФСБ данных об их техническом состоянии или параметры, характеризующие их надежность.

Отметим, что существуют принципиальные отличия между перечисленными подсистемами МФСБ и задачами, решаемыми ими при количественном оценивании риска: взрывоопасные

и токсичные вещества, отказы (неготовность) систем, связанных с безопасностью, должны рассматриваться как ИУС, т. е. они относятся к «дереву отказов»; положение реципиентов, отказы (неготовность) других средств снижения риска определяют ущерб и не влияют на ее возникновение, т. е. относятся к «дереву событий». Эти соображения дают основание утверждать, что в рамках рассматриваемых задач не требуется непрерывного позиционирования, а достаточно зонального, т. е. организованного на границах потенциальных зон поражения. Существуют технологические и производственные задачи, которые также требуют определения местоположения персонала: предотвращение столкновений, контроль и учет рабочего времени, контроль доступа и пр., для которых могут быть сформулированы другие требования к «точности» позиционирования, но которые выходят за рамки задач, возложенных на МФСБ, и являются технологическими.

Остановимся подробно на принципах построения МФСБ. Цель применения МФСБ заключается в повышении экономической эффективности за счет обеспечения безопасных условий труда и безаварийности и устойчивости работы угольной шахты, достигаемых путем контроля и управления риском и повышения производительности за счет объективного, своевременного, точного контроля, выявления и прогнозирования опасностей. В этом смысле можно утверждать, что важно не снижение риска, а именно его надежный контроль, осуществляемый средствами МФСБ, что позволит эксплуатировать шахты ближе к границам опасности. Очевидно, что наиболее эффективным способом снижения уровня риска является недопущение образований иницирующих условий для реализации аварий. Требуемый уровень безопасности достижим в основном за счет организации технологических и производственных процессов в течение всего жизненного цикла предприятия от проектирования до закрытия. Проект шахты, в соответствии с которым осуществляется производственный процесс, должен учитывать выявленные опасности различных видов и за счет «конструкции» шахты, организации работ и применения инженерных систем не допускать иницирующих условий, при этом функционирование шахты в соответствии с проектом может рассматриваться как безопасное (эталонное).

В общем случае МФСБ: 1) не является единой технической системой (программно-аппаратный комплекс); 2) базируется на множестве технических систем, устройств, комплексов, в том числе эксплуатируемых, реализующих необходимые функции, которые могут быть реализованы различными способами; 3) является проектно компонованной системой и строится с учетом особенностей и возможностей конкретного предприятия; 4) постоянно изменяется с учетом новых НД, задач предприятия, накопленного опыта эксплуатации, результатов анализа инцидентов и аварий, вновь появляющегося технического, программного, методического и других видов обеспечения; 5) постоянно развивается от этапа формального внедрения, при котором способы реализации функций и обеспечения взаимодействия подсистем МФСБ

носят организационный характер, до содержательного этапа, при котором МФСБ наполняется информацией, знаниями, алгоритмами, позволяющими реализовать цели применения МФСБ; 6) базируется на объективных данных измерений и контроля ТП и ПП, технического состояния подсистем МФСБ; 7) строится так, чтобы максимальное количество контуров управления и защиты реализовывались на максимально возможных низких уровнях управления; 8) обеспечивает документирование работы подсистем, которые связаны с МФСБ, в течение их жизненного цикла; 9) создается и используется во взаимосвязи с ПЛА.

Основой МФСБ является наземный ПТК, реализующий алгоритмы контроля, оценки и прогноза различных опасностей и рисков, в качестве источников информации нижнего уровня МФСБ используются информационные, измерительные, управляющие и противоаварийные системы шахты, работники шахты, работники надзорных и контролирующих органов, НД, ПЛА, проектная и эксплуатационная документация. Получателями информации являются работники шахты в горных выработках, диспетчер по производству (горный диспетчер), специалисты шахты, лица, принимающие решения, работники надзорных и контролирующих органов. Системы, связанные с безопасностью (подраздел 2.3), и другие средства снижения риска (подраздел 2.3) могут функционировать в автоматическом режиме, получать управляющие воздействия, генерируемые автоматически ПТК или диспетчером по безопасности в автоматизированном или ручном режиме. Воздействие на внешние средства снижения риска (подраздел 2.3), ТП и ПП осуществляются через диспетчера по производству (горного диспетчера).

МФСБ имеет различные виды обеспечения: нормативно-правовое, методическое, организационное, математическое, программное, техническое, информационное и т. д., которые должны быть нормированы и стандартизованы. Объекты нормирования и стандартизации должны быть минимизированы.

Основные функции МФСБ:

а) создание для руководителей работ и лиц, принимающих решения (ЛПР), единого информационного пространства с данными:

1) создание информационного описания шахты как единого объекта контроля и управления, что может быть обеспечено за счет унификации методов и способов классификации и кодирования информации, например, на базе группы стандартов IEC/ISO 81346 Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations, при этом любой кодифицируемый объект характеризуется идентификатором, который несет информацию о местоположении, ТП, продукте, функции, объекте, параметре и т. п. и используется всеми участниками ПП. Использование стандартизированных методов кодификации особенно оправданно для типовых технологических схем и типовых расчетов (расчеты метановыделения, метанообильности, воздухораспределения, фоновых значений и т. п.), которые харак-

терны для угольных шахт;

2) «информационную привязку» к элементам структуры единого информационного описания шахты информационных структур эксплуатируемых на шахте измерительных, информационных, управляющих систем и МФСБ. Так как эксплуатируемые системы используют различные способы кодификации, то возникает задача их унификации, что является необходимым условием для реализации автоматической или автоматизированной обработки данных с использованием стандартизованных или специальных методов, составляющих основу МФСБ;

3) оперативный доступ к справочной информации и НД, проекту шахты, ПЛА, регламентам работы и пр.;

б) сбор информации от эксплуатируемых измерительных, информационных, управляющих систем, МФСБ, работников шахты, надзорных и контролирующих органов;

в) структурирование собранной информации, что является условием доступа к хранимым данным и их использования;

г) хранение собранной информации. Поскольку эксплуатируемые системы являются различными, а обработка информации от них требует использования единого хранилища данных, то основу ПТК МФСБ составляет сложная база данных, в которой нормированным образом хранится информация или ссылки на внешние источники информации со стандартизованными структурами доступа для нормированной обработки данных;

д) автоматическую или автоматизированную обработку собранной информации, которую можно разделить на внутрисистемную, осуществляемую внутри каждой системы в соответствии с требованиями НД, заказчика и стандартов и являющуюся объектом стандартизации и нормирований, и межсистемную, которая проводится в рамках МФСБ на основе методов комплексной обработки данных и целями которой являются:

1) агрегатирование, систематизация и классификация – предоставление данных в виде структурированных блоков информации применительно к событиям, явлениям, месту и времени, состоянию, объекту, степени и виду опасности и т. п.;

2) систематизация и классификация явлений, событий;

3) выявление отклонений от нормального (эталонного) функционирования – отклонения от проектных режимов и состояний; многократные (повторяющиеся) отказы оборудования, агрегатов, элементов инженерных систем; взаимная диагностика систем;

4) выявление опасных событий (явлений), их признаков и тенденций их развития, что требует разработки соответствующих методов;

5) прогнозирование рисков;

6) ранжирование рисков;

7) выработка советов по управлению. В настоящее время советы вырабатываются на ос-

нове НД, отраслевых инструкций, бассейновых методик и пр., в дальнейшем могут быть реализованы технологии формализации и хранения знаний. Каждая шахта характеризуется уникальными условиями, факторами и свойствами опасности, способами их проявления, их уникальными сочетаниями, что подразумевает, что у ЛПР, есть соответствующий опыт. Сохранение (обобщение) такого опыта (знаний) от нескольких специалистов является актуальной задачей;

е) предоставление информации работникам в горных выработках, диспетчерам по безопасности и производству, главным специалистам шахты, ЛПР;

ж) обеспечение управляющего интерфейса диспетчера по безопасности к средствам управления безопасностью;

з) документирование процессов, подразумевающее: фиксацию действий диспетчеров, главных специалистов, ЛПР с использованием принятых процедур документирования бизнес-процессов и риск-менеджмента; контроль реализации управляющих действий по обеспечению безопасности и эффективности предпринятых действий, осуществляемых автоматически или в автоматизированном режиме на основе объективных данных;

и) фиксация действий диспетчеров и состояния оборудования МФСБ и других систем, связанных с безопасностью.

Основные функции диспетчера по безопасности:

а) наблюдать за ПП и ТП с помощью соответствующих АСУ, информационных и измерительных систем, собирать и систематизировать информацию, связанную с ОТ и ПБ, поступающую от шахтных служб, МФСБ и из других источников;

б) с использованием информации (о неисправностях, отказах, отклонениях от нормальных режимов функционирования, об обнаруженных опасностях и их признаках, величинах рисков), получаемой от шахтных служб и работников надзорных и контролирующих органов и других организаций: 1) вводить информацию в МФСБ; 2) формировать предложения по принятию необходимых мер, обеспечивающих нормальный режим работы шахты; 3) при необходимости доводить информацию до специалистов и ЛПР, фиксировать данные о принятых решениях и предпринимаемых мерах; 4) контролировать осуществление мер, направленных на нормализацию условий деятельности работников и режимов функционирования шахты;

в) с использованием информации от МФСБ: 1) контролировать появление сигналов опасности от систем, связанных с безопасностью, и срабатывание систем ПАЗ, а при выявлении отказов формировать для горного диспетчера предложения по принятию противоаварийных мер и контролировать их осуществление; 2) контролировать техническое состояние МФСБ, при обнаружении отказов информировать ответственных лиц и контролировать процесс нормализации их технического состояния и проведения регламентных работ; 3) контролировать автоматическое выполнение МФСБ необходимых расчетов, осуществлять их в ручном или автомати-

зированной режимом и анализировать их результаты; 4) проводить ранжирование объектов контроля по уровню риска; 5) информировать горного диспетчера, соответствующих специалистов и ЛПР о появлении (изменении) различных видов опасностей и соответствующих прогнозов с ранжированием по уровню риска. Контролировать принятие решений и осуществление мер, направленных на нейтрализацию выявленных опасностей и снижение уровней рисков;

в) взаимодействовать с горным диспетчером, специалистами и ЛПР: 1) информировать их о техническом состоянии, готовности и отказах подсистем МФСБ, выявленных опасностях и рисках и прогнозах их развития; 2) подготавливать предложения по принятию мер производственного и технологического характера, направленных на нейтрализацию выявленных опасностей и снижение уровней рисков; 3) контролировать реализацию мер, направленных на нейтрализацию выявленных опасностей и снижение уровней рисков;

д) осуществлять взаимодействие с контролирующими и надзорными органами;

е) подготавливать отчетные и итоговые документы по оценке технического состояния подсистем МФСБ, текущей оценке и прогнозам развития контролируемых опасностей и рисков;

ж) документировать свои действия, действия горного диспетчера, специалистов, ЛПР по обеспечению ОТ и ПБ в рамках МФСБ;

з) формировать предложения по внесению изменений в проектные решения;

и) формировать предложения по совершенствованию методов и способов контроля и прогноза различных опасностей.

Проектирование МФСБ – состав, структура и содержание проекта МФСБ разрабатываются с учетом горно-геологических и горно-технологических условий, планов развития, технического и финансового состояния угольной шахты. Проект базируется на имеющихся проектах эксплуатируемых систем, реализующих различные функции МФСБ, решает вопросы их объединения в МФСБ и предусматривает поэтапное внедрение и постепенное развитие МФСБ. Проект МФСБ разрабатывается во взаимосвязи с ПЛА. Проект МФСБ содержит следующие разделы: 1) описание (анализ) шахты как ОПО; 2) анализ ПЛА и способов взаимодействия МФСБ с ним; 3) описание эксплуатируемых систем, которые относятся к МФСБ, и проектов, по которым они реализованы; 4) описание систем, которые относятся к МФСБ и для которых разрабатываются или должны быть разработаны проекты; 5) анализ соответствия эксплуатируемых, внедряемых и разрабатываемых систем требованиям НД в части ОТ и ПБ; 6) анализ наличия положительных заключений экспертизы промышленной безопасности для эксплуатируемых систем, которые относятся к МФСБ, и наличия разрешительных документов для внедряемых систем; 7) описание требуемого взаимодействия между эксплуатируемыми, внедряемыми и разрабатываемыми системами и способов его реализации; 8) технические задания на доработку проектов эксплуатируемых, внедряемых, разрабатываемых систем и на разработку систем,

обеспечивающих выполнение нереализованных требований НД в части ОТ и ПБ; 9) регламент использования МФСБ при вводе в действие ПЛА; 10) регламент взаимодействия служб предприятия в рамках МФСБ.

Нормирование и стандартизация МФСБ требует учитывать следующее: а) для внешних средств снижения риска (подраздел 2.3) необходимо разрабатывать стандарты на их техническую совместимость. Формулирование требований к совместимости технологических систем должно осуществляться на уровне технических заданий, корпоративных стандартов, и во многом сводится к построению искробезопасных систем [93]. Другим обязательным требованием к внешним средствам снижения риска является обеспечение их информационной совместимости с программным и информационным обеспечением МФСБ; б) для систем, связанных с безопасностью (подраздел 2.3), и других средств снижения риска (подраздел 2.3) должна быть осуществлена стандартизация по их техническим характеристикам и информационной совместимости в рамках МФСБ.

К объектам нормирования (Ростехнадзором) необходимо отнести: 1) концепцию, назначение и функции МФСБ; 2) терминологию, систематизацию и классификацию явлений и событий, связанных с различными видами опасностей; 3) требования к жизненному циклу МФСБ и документированию; 4) методики и методы обработки данных в целях повышения уровня ОТ и ПБ.

К объектам стандартизации (Росстандартом) должны быть отнесены: 1) определения, термины, требования и методы испытаний, относящиеся к информационному обеспечению МФСБ (кодификация данных и информационная совместимость); 2) определения, термины, требования и методы испытаний систем, связанных с безопасностью (АГЗ, ППЗ), и других средств снижения риска (СОА, СП, ВЗГВ).

Актуальные и перспективные задачи развития МФСБ заключаются к переходу от формального к содержательному уровню применения МФСБ, что требует фундаментальных исследований и различных НИОКР, которые должны привести к разработке НД, содержащих: 1) требования к средствам и способам количественного оценивания этого риска в ходе эксплуатации; 2) расчетные методы оценки уровней риска и методов аварий и инцидентов снижения при использовании различных технологий (добычи, проветривания, управления, защиты и пр.); 3) описание эталонного поведения (свойств и характеристик) объектов контроля и управления и систем обеспечения безопасности. Для выявления признаков и опасных тенденций, опасных совокупностей признаков и тенденций необходимо разработать методы обработки данных, которые в том числе должны содержать: 1) модели (статические, динамические и иные) объектов контроля и управления – модель массо- и теплопереноса для горного участка, модель дегазационной сети, модель системы водоснабжения, модель напряженного горного массива и т. д.; 2) методы подстройки моделей к реальному объекту на основе контролируемых параметров; 3)

методы оценки близости контролируемого объекта к эталонной модели; 4) методы выявления тенденций и взаимосвязей.

Перспективы построения и развития МФСБ связаны с разработкой и внедрением многокомпонентных программных (информационных) комплексов, обеспечивающих: 1) интеграцию данных от различных систем в едином информационном поле; 2) использование развитых методов обработки и предоставления информации для эффективного управления на различных уровнях; 3) структурную, информационную, организационную и территориальную компонентность и масштабируемость; 4) углубленную компонентную обработку данных на основе использования математических моделей, баз данных и баз знаний для выявления взаимосвязей, признаков, тенденций и т. п.; 5) применение логических структур и спецификаций информационного взаимодействия с произвольными программными компонентами; 6) интерфейсы с различными информационными системами (ситуационными центрами разного уровня). Реальная интеграция и комплексное использование информации от различных подсистем МФСБ должны обеспечиваться единой программной средой, в которой взаимосвязанно и комплексно решаются задачи: геодинамического моделирования и прогнозирования (в том числе оценка типовых сценариев ведения горных работ и развития угроз); расчета и моделирования вентиляционных режимов (в реальном и ускоренном времени); количественной оценки текущего риска (подраздел 3.1); выработки упреждающих воздействий, оценки типовых сценариев развития угроз и т. д.

3.3 Концептуальная модель многофункциональной системы безопасности как системы коллективной защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов и системы менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты

На основе результатов подразделов 2.1 и 2.2, обобщенного описания процесса риск-менеджмента, модели количественного оценивания риска (подраздел 3.1) разработана концептуальная модель МФСБ как системы менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты (Рисунок 3.12). Основу концептуальной модели МФСБ составляет известная структура риска-менеджмента, соответствующая структурам СУОТ и СУПБ, которая фактически является ИА (информационно-аналитическим) ядром МФСБ, которая дополнена ЭЭПС МФСБ, обеспечивающими взаимодействие с ОПО, и имеет информационные связи с шахтными АСУ ТП и АСУ ПП. Отметим, что если сигналы в ЭЭПС, взаимодействующие с ОПО, непосредственно связаны с реальными физическими процессами, происходящими в гор-

ном массиве, с аэрологией шахты, ТП и персоналом, то сигналы в ИА части МФСБ не имеют однозначной связи с ОПО, а соответствуют моделям количественного оценивания риска, которые формируются на этапе проектирования. Таким образом, в процессе эксплуатации известны опасности, угрозы, способы идентификации, анализа и оценивания риска и варианты выработки управляющих воздействий в разных режимах при различных опасных ситуациях.

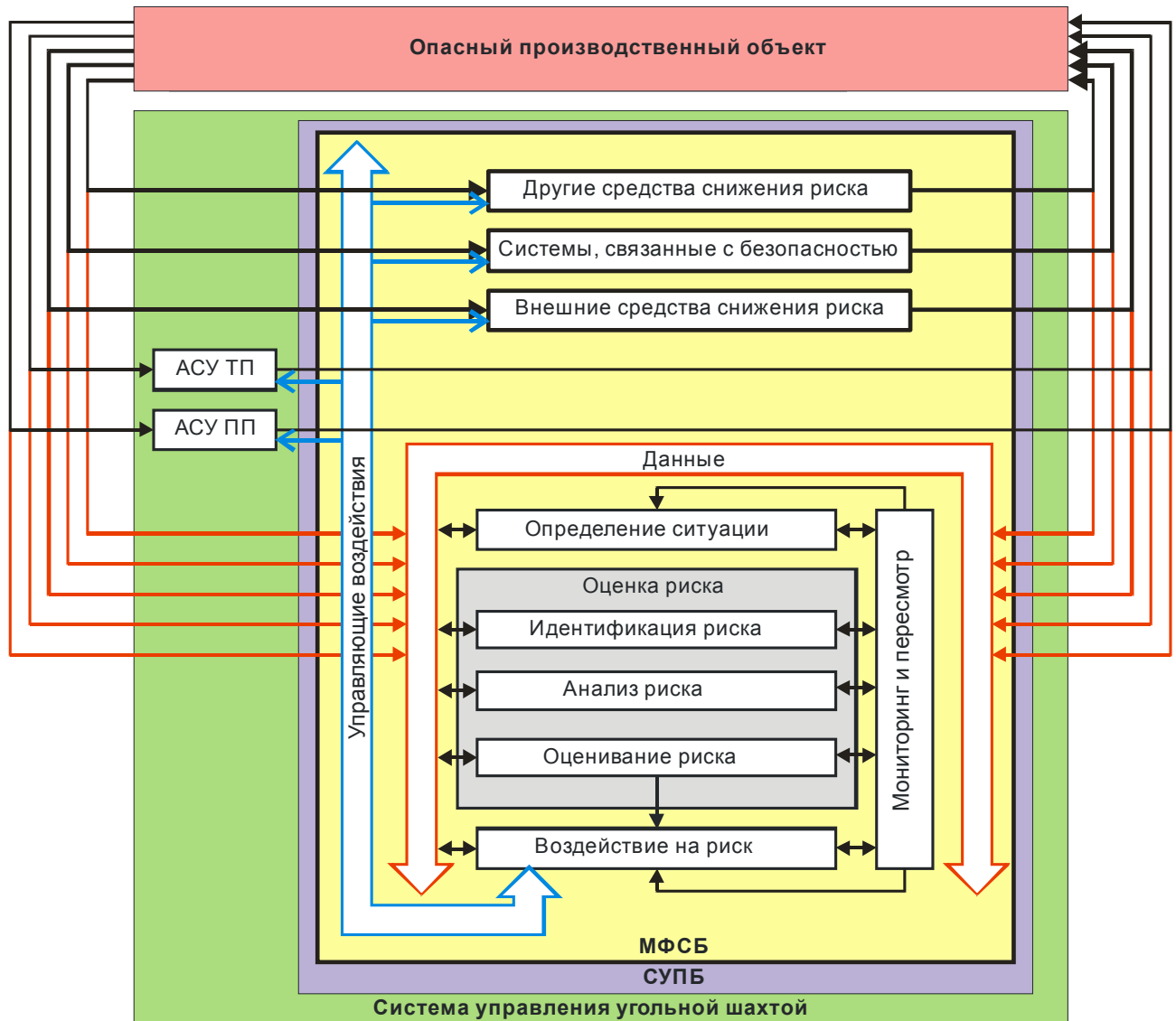


Рисунок 3.12 – Концептуальная модель многофункциональной системы безопасности

Разработанная концептуальная модель предусматривает: а) получение информации о состоянии ОПО и функционировании АСУ ТП, АСУ ПП и ЭЭПС МФСБ. «Шина данных» обеспечивает возможность обмена информацией с внешними информационными системами (взаимодействие с государственными органами и научными центрами) и специалистами; б) воздействие на ОПО через ЭЭПС МФСБ и АСУ ТП, АСУ ПП и возможность воздействия на ЭЭПС МФСБ (изменение уставок и пр.); г) определение ситуации на основе моделей элементов ОПО,

ЭЭПС МФСБ, АСУ ТП и АСУ ПП и данных об их входных и выходных сигналах; д) идентификацию, т. е. определение источников и уровней угроз, опасных тенденций, ситуаций и событий, их причин и потенциальных последствий; е) анализ риска (на этапе эксплуатации сводящийся к количественному оцениванию риска); ж) оценивание риска, т. е. его сравнение с целевыми показателями для выработки управляющих воздействий, которые могут осуществляться в ручном, автоматизированном и автоматическом режимах через «шину управления»; з) возможность мониторинга и пересмотра, что подразумевает адаптацию процедур «определения ситуации», «идентификации риска», «анализа риска» и «оценивания риска» к текущему состоянию угольной шахты. При этом управляющие воздействия могут быть реализованы на любом уровне, например, предусматривать изменение проекта угольной шахты.

Разработанная концептуальная модель МФСБ также предусматривает возможность прогнозирования опасных ситуаций и режимов с оцениванием риска, выработкой воздействий на риск, проигрыванием сценариев угроз и возможных действий по их парированию, что требует создания полноценных моделей элементов ОПО, ЭЭПС МФСБ, АСУ ТП и АСУ ПП и их взаимодействий друг с другом. Место МФСБ в системе управления угольной шахтой и ее взаимосвязь с режимами работы, ТП и ПП показаны в Таблице 3.1.

Важным элементом МФСБ являются устройства, входящие в индивидуальное оснащение работника и обеспечивающие ОТ и технику безопасности, к ним относятся: головной светильник, самоспасатель, газоаналитические устройства, устройства коммуникации со стационарными средствами МФСБ и АСУ ТП и средства голосовой связи. К ЭЭПС, являющимся элементами МФСБ или взаимодействующим со стационарными средствами МФСБ и АСУ ТП, относятся: индивидуальные газоанализаторы; устройства коммуникации со стационарными средствами МФСБ (системами технологического и аварийного позиционирования) и АСУ ТП; средства голосовой связи. Для перечисленных ЭЭПС характерны следующие свойства: 1) постоянное наличие с работником и высокий коэффициент готовности; 2) использование автономных источников электрической энергии, обеспечивающих для разных ЭЭПС 10 часов и более (до 72) непрерывной работы; 3) малые размер и вес. Приведенный список может быть дополнен средствами: контроля жизненных показателей работника (комплекса параметров активности физиологических систем человека, характеризующих уровень жизнедеятельности его организма); терморегуляции (обеспечение работоспособности в течение короткого времени при повышенных температурах и т. п.). Разработана концептуальная модель такого головного светильника, (Рисунок 3.13), которая реализована в серийно выпускаемых изделиях (подраздел 5.3).

Таблица 3.1 – Многофункциональная система безопасности, цели и задачи ее функционирования

Опасная ситуация	Режимная	Проектная	Запроектная	Гипотетическая
Описание ситуации	Инцидент, отклонения от номинальных технологических режимов	Инцидент, отклонения от нормированных режимов	Авария	
Режим	Нормальный	Предаварийный	Аварийный	
Последствия	Предсказуемые	Предсказуемые и приемлемые	Необратимые повреждения ответственных элементов, высокий ущерб, человеческие жертвы	Максимально возможные ущербы и человеческие жертвы
Уровень защищенности	Высокий	Устойчивый	Недостаточный	Низкий
Восстановление	Не требуется		Требуется	Не подлежит
Класс опасной ситуации	Локальная, местная		Локальная, местная, территориальная	Местная, территориальная, региональная
Уровень управления	Проект	Технологические и производственные процессы		
Цель МФСБ	Выявление опасностей	Предотвращение инициирующих условий аварии	Предотвращение инициирующих событий	Уменьшение ущерба (предотвращение развития аварии, спасение)
Требования к МФСБ	Нормируются			Не нормируются
Цель обработки информации	Прогнозирование опасностей	Контроль соответствия: - проектных решений условиям эксплуатации; - текущего состояния технологических и производственных процессов проектным решениям	Контроль соответствия текущего состояния технологических и производственных процессов проектным решениям	Предоставление информации при аварии и ликвидации ее последствий. Прогнозирование сценариев развития аварии.
Объект управления	Предприятие, производственные процессы, персонал	Предприятие, производственные и технологические процессы, персонал	Предприятие, производственные и технологические процессы, персонал	Персонал
Способ воздействия	Долгосрочное и среднесрочное управление	Среднесрочное, оперативное и противоваварийное управление	Противоваварийная защита	Спасение
Тип управления	Организационное, автоматическое, автоматизированное, ручное	Автоматическое	Организационное, автоматическое, автоматизированное, ручное	
Технологический режим	Нормальный	Допустимый нормальный	Предаварийный	Аварийный
Сигнализация	Нет	Предупредительная	Предаварийная	Аварийная

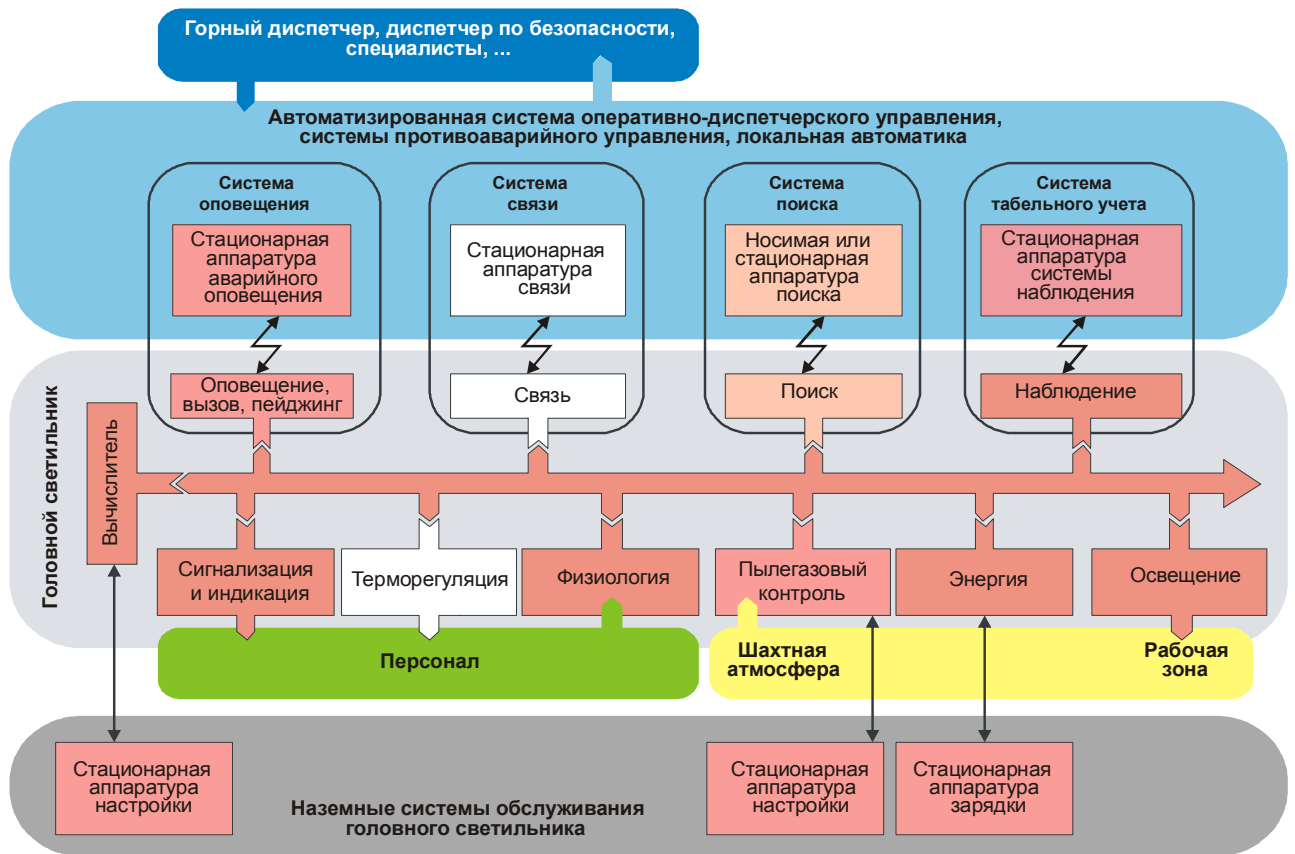


Рисунок 3.13 – Концептуальная модель головного светильника как элемента многофункциональной системы безопасности (белым фоном выделены элементы, которые в настоящее время не реализованы в серийных устройствах)

Решение задачи разработки и эксплуатации индивидуального оборудования работников, являющихся важнейшим средством индивидуальной защиты, решение которой осложнено требованием снижения стоимости владения, что с неизбежностью приводит к встраиванию всевозможных ЭЭПС в головной светильник, который должен отвечать требованиям НД: имеет автономный источник энергии, постоянно находится с работником и имеет небольшие габариты и вес. Отметим, что подавляющее большинство серийно выпускаемых головных светильников соответствуют приведенной концептуальной модели и имеют исполнения, предусматривающие встраивание в них всех ЭЭПС кроме голосовой связи и терморегуляции.

3.4 Выводы

1 Разработана обобщенная модель количественного оценивания текущего риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, предусматривающая использование:

а) координатных законов поражения; б) требований нормативных документов и справочных данных; в) моделей движения ударной воздушной волны и газовых смесей по горным выработкам; г) логико-вероятностных методов оценивания случайных инициирующих условий и событий, приводящих к различным сценариям возникновения и развития опасных явлений и аварий; д) результатов измерения и контроля параметров аэрогазового состояния, технологических и производственных процессов, технических средств подсистем МФСБ, основными из которых являются параметры шахтной атмосферы (состав и скорость движения ГС по горным выработкам), технического состояния средств АГЗ, ВЗГВ, ППЗ или оценки параметров их надежности, положение работников, внутришахтного транспорта и подвижного оборудования; е) данных о физико-химических свойствах углей и условиях взрываемости сложных пылегазовоздушных смесей; ж) статистической обработки данных и других методов для определения вероятностей возникновения инициирующих условий и событий.

2 Для анализа результатов количественного оценивания риска предложено использовать:

а) показатели значимости, вклада и ущерба, формируемые в рамках логико-вероятностного анализа случайных инициирующих условий и событий, приводящих к различным сценариям возникновения и развития опасных явлений и аварий, позволяющие определять влияние на риск разных составляющих и выявлять наиболее значимые для их уменьшений; б) спектры и спектрограммы риска, отображающие зависимость математического ожидания различных видов ущерба от вероятности их возникновения для различных видов аварий, реципиентов и степеней поражений и их изменение во времени; в) интегральные экономический и социально-экономический индикаторы и индикатор потенциального риска – для: оперативной оценки риска деятельности работников и эксплуатации шахты; оперативного информирования работников в горных выработках; предоставления информации надзорными и контролирующими органами, что которые позволяют увеличить уровень ОТ и ПБ, развить и совершенствовать методологию государственного и общественного контроля за соблюдением требований ОТ и ПБ.

3 На основе разработанной модели количественного оценивания риска: а) сформулированы принципы построения и эксплуатации МФСБ; б) разработана концептуальная модель МФСБ, основанная на ее рассмотрении как части СУОТ и СУПБ, обеспечивающей менеджмент риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты; в) концептуальная модель головного светильника – основного индивидуального оборудования и элемента МФСБ, являющегося важным элементом средств индивидуальной защиты от опасных и вредных факторов производства.

4 Разработка новых и совершенствование существующих методов контроля, прогноза и управления рисками деятельности работников и эксплуатации угольной шахты

4.1 Возможности совершенствования методов контроля рисков

В ходе деятельности работников и эксплуатации угольной шахты должны выполняться различные расчеты и исследования, в том числе в рамках менеджмента риска (Раздел 3.1), целью которых является повышение уровня ОТ и ПБ путем выявления несоответствия или обеспечение соответствия проектных решений, ТП и ПП текущим горно-геологическим условиям и производственным задачам, соответствия условий работы требованиям ОТ и ПБ, обеспечение коллективной и индивидуальной защиты, исправности и готовности МФСБ, подготовка данных для количественного оценивания риска и т. п.

Применительно к аэрологическому состоянию, которое вносит определяющий вклад в риски деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, в соответствии с НД [128], должны осуществляться перерасчеты режимов проветривания выемочного участка, обособленно проветриваемых конвейерных выработок, выработанного пространства, изолированных отводов и т. д. Перерасчет должен производиться: 1) ежемесячно на основе данных о фактической метанообильности за предшествующий месяц; 2) при превышении фактической метанообильности выемочного участка над проектной более чем на 10 % в течение суток – на основе данных за предшествующие сутки; 3) при трехкратном в течение смены превышении концентрации метана относительно установленных норм – на основе данных за предшествующую смену; 4) после посадки основной кровли – на основе данных за предшествующие трое суток. Перечисленные задачи так или иначе связаны с уравнениями газового баланса, при решении которых используются данные о значениях содержаний газовых составляющих рудничной атмосферы, скоростей движения воздуха, токовой нагрузки привода рабочего органа очистного комбайна и т. д., получаемые от системы АГК и АСУ ТП.

Существуют следующие подходы к решению уравнений газового баланса: а) *традиционный*, который базируется на использовании средних значений контролируемых параметров, вычисляемых за длительные промежутки времени (единицы и десятки часов) [128]; б) *численно-вероятностный* (ЧВ), предусматривающий применение методов ЧВ-анализа [63, 110-113, 199], которые базируются на использовании статистических характеристик контролируемых параметров за конечные промежутки времени; в) *оперативный*, использующий

мгновенные или усредненные за короткие промежутки времени (единицы и десятки минут) значения контролируемых параметров. В рамках первых двух подходов уравнения газового баланса рассматриваются без учета аэрогазодинамических процессов (перемешивания и переноса ГС). Результатом вычислений в рамках традиционного подхода (а) является единственное значение рассчитываемого параметра, например, $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ для метанообильности. Основные недостатки этого подхода заключаются в следующем: 1) среднее фактическое абсолютное метановыделение $I_{нл.ф.}$, $\text{м}^3/\text{мин}$, рассчитывается на основе данных системы АГК по формулам [128]: $I_{нл.ф.} = n^{-1} \sum_{i=1}^n I_{нл.ф.i}$; $I_{нл.ф.n} = 0,01 n_e^{-1} n_m^{-1} \sum_{k=1}^{n_e} Q_k \sum_{j=1}^{n_m} C_{m.j}$, где $I_{нл.ф.i}$ – фактическое абсолютное метановыделение из разрабатываемого пласта за i -й месяц, $\text{м}^3/\text{мин}$; $C_{m.j}$ – среднесуточная концентрация метана, % об. долей; Q_k – расход воздуха в пункте измерения, $\text{м}^3/\text{мин}$; n_e и n_m – соответственно число определений расхода воздуха и среднесуточной концентрации метана. В НД предусматривают вычисление средних значений на основе измерений, проводимых через 1 час. Однако современные системы АГК реализуют измерения параметров аэрологического состояния асинхронно и через произвольные промежутки времени при условии, что обеспечиваются требования [196, 201] к погрешности измерений; 2) в расчетах не в полной мере учитывается случайный характер процессов метановыделения и подачи воздуха на разбавление. Вид функций ПРВ метановыделения далек от нормальных и сильно зависят от режимов работы шахты (участка), а параметры функции ПРВ необходимо учитывать в вентиляционном расчете. Косвенный учет случайного характера процессов метановыделения обеспечивается с помощью коэффициента неравномерности и проведении внеочередных вентиляционных расчетов при загазировании.

Этих недостатков лишен ЧВ подход: в его рамках определяются статистические характеристики рассчитываемых параметров, – строится гистограмма значений метановыделения на основе гистограмм измеряемых параметров. Это позволяет численно оценивать вероятность нахождения контролируемого объекта в опасном (по метану) аэрологическом состоянии, что важно для решения задач количественного оценивания соответствующего риска. Чем больше временной интервал, на котором строятся гистограммы, тем они ближе к реальным ПРВ, и тем меньше необходимость учета процессов перемешивания и переноса ГС. В подразделах 4.2 и 4.3 рассмотрены решения различных задач в рамках ЧВ подхода.

Известны различные подходы к расчету вентиляционных и аэрогазодинамических процессов в угольной шахте [1, 28, 34, 135-138, 189, 190, 209, 216, 231, 242, 263, 264 и др.]. Общим недостатком традиционного и ЧВ подходов, которые не учитывают аэрогазодинамические процессы, является невозможность получения результатов расчетов в темпе ТП, что

необходимо для решения некоторых задач, например, выявления ранних признаков пожаров по индикаторным газам на 10-минутном временном интервале. Это требует перехода от статических уравнений газового баланса к динамическим, что обеспечивается в рамках оперативного подхода, который предусматривает использование различных моделей аэрогазодинамики. Известны методы аэрогазодинамических расчетов, которые в том числе основаны на уравнениях фильтрационно-диффузионного переноса в горном массиве и вентиляционных струях, которые записываются в частных производных, обеспечивают получение точных решений и позволяют учитывать «тонкие» процессы, влияющие на аэрогазодинамику [247, 204]. Однако, использование этих методов в инженерной практике затруднено из-за вычислительной сложности их решения [210] и необходимости задания множества параметров, определение которых в реальных условиях в большинстве случаев затруднительно или невозможно, что делает задачу упрощения аэрогазодинамических моделей актуальной, что, в свою очередь, предопределяет актуальность задачи построения упрощенных аэрогазодинамических моделей для решения частных задач на ограниченных пространственно-временных интервалах. Метод построения таких моделей рассмотрен в подразделе 4.4, а их использование для решения актуальных задач – в подразделе 4.2.

4.2 Метод обнаружения пожаров на основе уравнений газового баланса и упрощенных аэрогазодинамических моделей

Одной из актуальных проблем обеспечения ОТ и ПБ на угольных шахтах в рамках оценки рисков теплового поражения является обнаружение признаков пожаров на ранних стадиях, что должны обеспечивать МФСБ [207], в состав которых по [201] входят системы АГК. В [201] регламентировано несколько критериев обнаружения признаков экзогенных и эндогенных пожаров на ранних стадиях, которые предусматривают использование данных о содержании оксида углерода: нарушение газового баланса по оксиду углерода (другим индикаторным газам); устойчивый рост его содержания. Кроме обнаружения признаков пожаров необходимо обеспечить определение зоны (горная выработка, ее часть или группа выработок), в которой обнаружен источник этих признаков. Автором разработаны методы обнаружения и определения местоположения пожаров, которые основаны на решении уравнений газового баланса и статистической обработки данных, собираемых и хранимых МФСБ. Рассмотрим простую зону контроля (Рисунок 4.1, *a*) – горную выработку с постоянной площадью сечения S , m^2 , и длиной L , m , в шахте, которая не является опасной по метану.

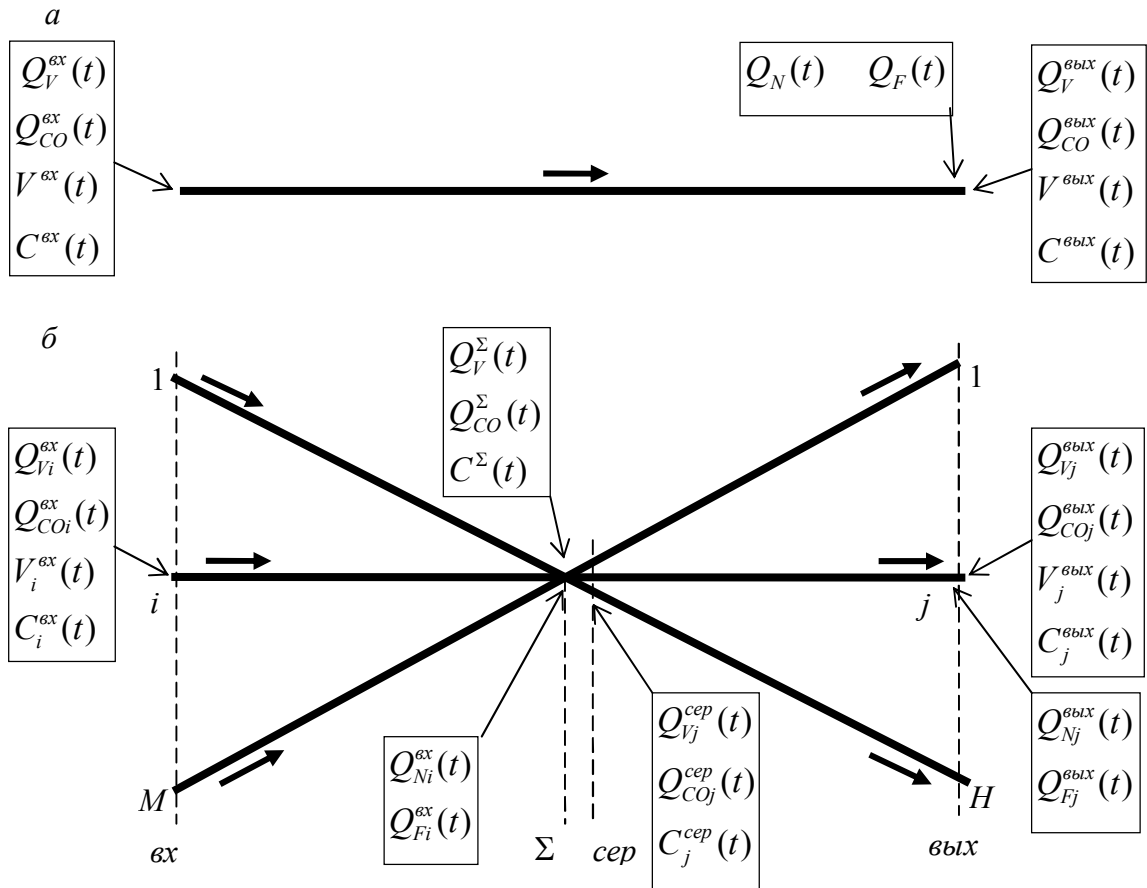


Рисунок 4.1 – Зоны контроля

На Рисунке 4.1 жирными стрелками показано движение воздуха, тонкими стрелками указаны места, для которых определены следующие переменные: $Q_V^{6x}(t)$, $Q_V^{6blx}(t)$, $Q_{CO}^{6x}(t)$, $Q_{CO}^{6blx}(t)$ – объемные расходы воздуха и оксида углерода на входах и выходах соответственно, $\text{м}^3/\text{мин}$; $Q_N(t)$ и $Q_F(t)$ – фоновое и «пожарное» (вызванное наличием очагов пожаров, самонагреваний) выделения (объемные расходы) оксида углерода; $V^{6x}(t)$, $V^{6blx}(t)$, $C^{6x}(t)$ и $C^{6blx}(t)$ – скорости движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$, и содержания оксида углерода, млн^{-1} , на входе и выходе соответственно. Поскольку выделения $Q_N(t)$ и $Q_F(t)$ могут происходить в любом месте выработки, то для простоты они отнесены к ее выходу. Приближенно опишем рассматриваемую зону контроля без учета утечек воздуха и аэромеханических процессов при движении воздуха:

$$Q_V^{6x}(t) = 60 S k_V^{6x} V^{6x}(t), \quad Q_V^{6blx}(t) = 60 S k_V^{6blx} V^{6blx}(t); \quad (4.1)$$

$$Q_{CO}^{6x}(t) = Q_V^{6x}(t) C^{6x}(t) / 10^6, \quad Q_{CO}^{6blx}(t) = Q_V^{6blx}(t) C^{6blx}(t) / 10^6; \quad (4.2)$$

$$Q_V^{gblx}(t) = Q_V^{gx}(t - \tau(t)) + Q_F(t) + Q_N(t); \quad (4.3)$$

$$\tau(t) = \int_L V^{gx}(t)^{-1} dl, \quad (4.4)$$

где $\tau(t)$ – время движения воздуха по выработке, с; k_V^{gx} и k_V^{gblx} – коэффициенты, учитывающие положение измерительной головки датчика скорости движения воздуха в сечении выработки. Отметим, что в горной выработке могут выделяться различные газы, однако в данном случае для простоты полагаем их постоянными и пренебрегаем ими из-за малости их объемных расходов. В общем случае (4.3) должно быть приведено к виду, в котором учитываются объемные расходы всех g -х газовых составляющих рудничной атмосферы: $Q_V^{gblx}(t) = \sum Q_g^{gx}(t - \tau(t)) + \sum Q_{N.g}(t) + \sum Q_{F.g}(t)$, где $\sum Q_g^{gx}(t - \tau(t))$ – газовые составляющие на входе зоны контроля, фоновые – $\sum Q_{N.g}(t)$ и выделяемые в зоне – $\sum Q_{F.g}(t)$.

Поскольку МФСБ обеспечивает измерение $V^{gx}(t)$, $V^{gblx}(t)$, $C^{gx}(t)$ и $C^{gblx}(t)$, то обнаружение пожара, в том числе и на ранних стадиях, может быть реализовано следующим образом. Определяется средняя фоновая составляющая оксида углерода $Q_N(t)$, которая в дальнейшем принимается постоянной, так как скорость ее изменения на порядки меньше скорости изменения «пожарной» составляющей. Для этого при отсутствии признаков пожара ($Q_F(t) = 0$), контролируемых независимыми методами, в установившемся вентиляционном режиме в течение времени T_N , сут, определяется фоновый расход оксида углерода с учетом (4.1)-(4.3):

$$\begin{aligned} Q_N &= T_N^{-1} \int_{T_N} (Q_V^{gblx}(t) - Q_V^{gx}(t - \tau(t))) dt = \\ &= 60 \times 10^{-6} S T_N^{-1} \int_{T_N} (k_V^{gblx} V^{gblx}(t) C^{gblx}(t) - k_V^{gx} V^{gx}(t - \tau(t)) C^{gx}(t - \tau(t))) dt, \end{aligned} \quad (4.5)$$

далее по (4.1)-(4.5) – «пожарная» составляющая оксида углерода:

$$\begin{aligned} Q_F(t) &= Q_V^{gblx}(t) - Q_V^{gx}(t - \tau(t)) - Q_N = \\ &= 60 \times 10^{-6} S (k_V^{gblx} V^{gblx}(t) C^{gblx}(t) - k_V^{gx} V^{gx}(t - \tau(t)) C^{gx}(t - \tau(t)) - Q_N) \end{aligned} \quad (4.6)$$

и содержание оксида углерода на выходе зоны контроля: $C_F(t) = \frac{10^6 Q_F(t)}{60 S k_V^{gblx} V^{gblx}(t) C^{gblx}(t)}$.

В соответствии с [201] к полученным значениям $Q_F(t)$ и $C_F(t)$ применяются следующие критерии выявления на ранних стадиях:

а) эндогенных пожаров:

1) выполнение условия

$$\Delta Q_F(t) > \Delta Q_{\text{пож}} = 0,01 \text{ м}^3/\text{мин}; \quad (4.7)$$

2) устойчивое увеличение $C_F(t)$ на 17 млн^{-1} и более в течение суток;

3) устойчивый рост $C_F(t)$ в течение нескольких суток;

б) экзогенных пожаров (в том числе загораний в выработках с ленточным конвейером) – устойчивое увеличение $C_F(t)$ на 17 млн^{-1} и более в течение 10 мин. Перечисленные критерии разделяются на on-line, реализация которых должна обеспечиваться в темпе ТП – это (4.6) и подпункт б) данного перечисления, и остальные (off-line), реализация которых подразумевает обработку информации, собираемой МФСБ за сутки и более.

Далее рассматривается on-line метод обнаружения пожаров применительно к обобщенной зоне контроля (Рисунок 4.1, б) шахты, не опасной по метану. При этом используются следующие условия и соглашения: 1) ГС является несжимаемой; 2) движение ГС в протяженной горной выработке сопровождается транспортированием, которое характеризуется временной задержкой, и перемешиванием, которое описывается уравнением сглаживания, при этом усредняются расходы ГС и содержание ее составляющих; 3) в узле соединения воздушных потоков производится их мгновенное смешивание; 4) потери воздуха через утечки и подсосы не учитываются; 5) при использовании в качестве источника информации о расходе ГС данных реального датчика скорости воздуха режим проветривания считается установившимся, если вычисленный расход ГС отличается от заданного расчетного значения не более, чем на δ , где δ – задаваемая константа – настроечный параметр, соответствующий допустимому отклонению в % от расчетного значения; 6) через каждый период усреднения (T^F) значения контролируемых параметров от системы МФСБ усредняются за последние T^F секунд и удерживаются неизменными следующие T^F секунд; 7) в течение одного 10-минутного интервала в зоне контроля может возникнуть не более 1 пожара. Отметим, что используя зоны контроля с разным количеством входов и выходов, последовательно и параллельно их соединяя путем объединения их входов и выходов, можно описать любой объект контроля. Обобщенная зона контроля имеет M входных и N выходных горных выработок, которые характеризуются постоянными площадью сечения и длиной S_i^{ex} , L_i^{ex} , $S_j^{вых}$, $L_j^{вых}$; объемными расходами воздуха $Q_{Vi}^{ex}(t)$, $Q_{Vj}^{вых}(t)$ и оксида углерода $Q_{CO_i}^{ex}(t)$, $Q_{CO_j}^{вых}(t)$;

постоянными фоновыми Q_{Ni}^{6x} , Q_{Nj}^{6bix} и искомыми «пожарными» составляющими оксида углерода $Q_{Fi}^{6x}(t)$, $Q_{Fj}^{6bix}(t)$; скоростями движения воздуха $V_i^{6x}(t)$, $V_j^{6bix}(t)$ и содержаниями оксида углерода $C_i^{6x}(t)$, $C_j^{6bix}(t)$, где $i=1...M$ и $j=1...H$ – номера входов («вх») и выходов («вых») соответственно. Место объединения входных воздушных потоков характеризуется суммарными объемными расходами воздуха $Q_V^\Sigma(t)$ и оксида углерода $Q_{CO}^\Sigma(t)$ и содержанием оксида углерода $C^\Sigma(t)$. На Рисунке 4.1, δ пунктирными линиями условно показаны сечения с их обозначениями «вх», «вых», « Σ » и «сер», которые используются как верхние индексы соответствующих переменных. С учетом (4.1)-(4.4) составим приближенное описание обобщенной зоны контроля без учета утечек воздуха и аэрогазодинамических процессов:

$$Q_{Vi}^{6x}(t) = 60k_{Vi}^{6x} S_i^{6x} V_i^{6x}(t); \quad Q_{Vj}^{6bix}(t) = 60k_{Vj}^{6bix} S_j^{6bix} V_j^{6bix}(t); \quad (4.8)$$

$$Q_{COi}^{6x}(t) = Q_{Vi}^{6x}(t) C_i^{6x}(t) / 10^6; \quad Q_{COj}^{6bix}(t) = Q_{Vj}^{6bix}(t) C_j^{6bix}(t) / 10^6; \quad (4.9)$$

$$Q_V^\Sigma(t) = \sum_{i=1}^M (Q_{Vi}^{6x}(t - \tau_i^{6x}(t)) + Q_{Ni}^{6x}(t) + Q_{Fi}^{6x}(t)); \quad (4.10)$$

$$Q_{CO}^\Sigma(t) = \sum_{i=1}^M (Q_{COi}^{6x}(t - \tau_i^{6x}(t)) + Q_{Ni}^{6x}(t) + Q_{Fi}^{6x}(t)); \quad (4.11)$$

$$C^\Sigma(t) = 10^6 Q_{CO}^\Sigma(t) / Q_V^\Sigma(t); \quad (4.12)$$

$$C_j^{cep}(t) = C^\Sigma(t), j = 1...H; \quad (4.13)$$

$$Q_V^\Sigma(t) = \sum_{j=1}^H Q_{Vj}^{cep}(t); \quad Q_{CO}^\Sigma(t) = \sum_{j=1}^H Q_{COj}^{cep}(t);$$

$$Q_V^\Sigma(t - \tau_{\max}^{6bix}(t)) = \sum_{j=1}^H (Q_{Vj}^{6bix}(t - (\tau_{\max}^{6bix}(t) - \tau_j^{6bix}(t))) + Q_{Nj}^{6bix}(t - (\tau_{\max}^{6bix}(t) - \tau_j^{6bix}(t))) + Q_{Fj}^{6bix}(t - (\tau_{\max}^{6bix}(t) - \tau_j^{6bix}(t)))); \quad (4.14)$$

$$Q_{CO}^\Sigma(t - \tau_{\max}^{6bix}(t)) = \sum_{j=1}^H (Q_{COj}^{6bix}(t - (\tau_{\max}^{6bix}(t) - \tau_j^{6bix}(t))) - Q_{Nj}^{6bix}(t - (\tau_{\max}^{6bix}(t) - \tau_j^{6bix}(t))) - Q_{Fj}^{6bix}(t - (\tau_{\max}^{6bix}(t) - \tau_j^{6bix}(t)))); \quad (4.15)$$

$$C_j^{6blx}(t) = 10^6 Q_{COj}^{6blx}(t) / Q_{Ij}^{6blx}(t), \quad j = 1 \dots H, \quad (4.16)$$

где $\tau_{\max}^{6blx} = \text{Max}(\tau_1^{6blx}(t), \dots, \tau_H^{6blx}(t))$. Для объединения в одном выражении входных и выходных переменных, что необходимо для решения уравнения газового баланса и вычисления «пожарных» составляющих, левые части выражений (4.11) и (4.15) необходимо привести к одной точке контроля и рассматривать в едином времени:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^M Q_{COi}^{6ex}(t - (\tau_{\max}^{6blx}(t) + \tau_i^{6ex}(t))) + \sum_{i=1}^M Q_N^{\Sigma}(t - \tau_{\max}^{6blx}(t)) + \sum_{i=1}^M Q_F^{\Sigma}(t - \tau_{\max}^{6blx}(t)) = \\ & = \sum_{j=1}^H Q_{COj}^{6blx}(t - (\tau_{\max}^{6blx}(t) - \tau_j^{6blx}(t))) - \sum_{j=1}^H Q_{Nj}^{6blx}(t - (\tau_{\max}^{6blx}(t) - \tau_j^{6blx}(t))) - \\ & - \sum_{j=1}^H Q_{Fj}^{6blx}(t - (\tau_{\max}^{6blx}(t) - \tau_j^{6blx}(t))). \end{aligned} \quad (4.17)$$

Для упрощения используем обозначения $Q_N^{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^M Q_{Ni}^{6ex}(t)$, $Q_F^{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^M Q_{Fi}^{6ex}(t)$,

$Q_N^{\Sigma} = Q_N^{\Sigma}(t)$, $Q_N^{6blx} = \sum_{j=1}^H Q_{Nj}^{6blx}(t - (\tau_{\max}^{6blx}(t) - \tau_j^{6blx}(t)))$, $\tau = \tau(t)$ и не будем указывать зависимость

переменных от времени, с учетом чего (4.17) примет вид:

$$Q_F^{\Sigma} + \sum_{j=1}^H Q_{Fj}^{6blx} = \sum_{j=1}^H Q_{COj}^{6blx} - \sum_{j=1}^H Q_{Nj}^{6blx} - \sum_{i=1}^M Q_{COi}^{6ex} + Q_N^{\Sigma}, \quad (4.18)$$

в правой части которого находятся переменные, вычисляемые на основе данных, получаемых от МФСБ, что делает возможным решение первой задачи – обнаружения пожаров в зонах и на объектах контроля.

Рассмотрим возможности решения второй задачи – определение местоположения пожаров. Для этого на основе (4.18) выразим «пожарную» составляющую для j -го выхода:

$$Q_{Fj}^{6blx} + d_j Q_F^{\Sigma} = Q_{COj}^{6blx} - Q_{Nj}^{6blx} - d_j (Q_N^{\Sigma} + Q_{COi}^{6ex}), \quad (4.19)$$

где d_j – параметр, при вычислении которого фоновыми и «пожарными» объемными расходами оксида углерода и других газов во входных и выходных выработках пренебрегаем,

$d_j = d_j(t - (\tau_{\max}^{6blx} - \tau_j^{6blx})) = \frac{k_j^{6blx} S_j^{6blx} V_j^{6blx} (t - (\tau_{\max}^{6blx} - \tau_j^{6blx}))}{\sum_{k=1}^H k_k^{6blx} S_k^{6blx} V_k^{6blx} (t - (\tau_{\max}^{6blx} - \tau_k^{6blx}))}$. Для уменьшения неопределенностей,

связанных с погрешностями измерений в МФСБ, невозможностью учета утечек воздуха, нестационарностью фоновых составляющих различных газов, аэродинамическими процессами и прочими факторами, целесообразно (4.18) и (4.19) упростить, записав в приращениях контролируемых и вычисляемых переменных:

$$\Delta Q_F^\Sigma + \sum_{j=1}^H \Delta Q_{Fj}^{6byx} = \sum_{j=1}^H \Delta Q_{COj}^{6byx} - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{COi}^{6ex} ; \quad (4.20)$$

$$\Delta Q_{Fj}^{6byx} + d_j \Delta Q_F^\Sigma = \Delta Q_{COj}^{6byx} - d_j \sum_{i=1}^M \Delta Q_{COi}^{6ex} . \quad (4.21)$$

Отметим, что относительно очагов пожаров неизвестны место их возникновения и другие характеристики, например, изменения объемов выделения оксида углерода во времени. Развитие одного или возникновение и развитие нескольких очагов пожаров в общем случае неразличимы, но развитие пожара на ранних стадиях сопровождается увеличением объема выделения оксида углерода. Этот параметр может быть использован для определения показателей пожарной опасности, с помощью которых возможно обнаруживать признаки пожаров на ранних стадиях, оценивать текущую пожарную опасность и определять местоположения пожаров. Очевидно, что система из H уравнений вида (4.19) или (4.21), записанных для всех выходных выработок, содержит $(H + 1)$ неизвестных $Q_{Fj}^{6byx}(t), j=1...H, Q_F^\Sigma(t)$, т. е. является недоопределенной, что не позволяет решать задачу определения местоположения пожаров. С учетом (4.7) выражения (4.20) и (4.21) могут быть записаны в виде «пожарных» условий (признаков), выполнение которых соответствует наличию значимой «пожарной» составляющей оксида углерода – пожару на ранней стадии развития, для зоны контроля $\sum_{j=1}^H \Delta Q_{COj}^{6byx} - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{COi}^{6ex} - \Delta Q_{пож} > \Delta_Q$ или для одной выработки $\Delta Q_{COj}^{6byx} - d_j \sum_{i=1}^M \Delta Q_{COi}^{6ex} - \Delta Q_{пож} > \Delta_Q$, где Δ_Q – параметр, характеризующий методическую погрешность определения «пожарной» составляющей. Определим показатели пожарной опасности:

а) для зоны контроля при рассмотрении гипотезы о наличии очага пожара:

$$D_\Sigma = \left(\sum_{j=1}^H \Delta Q_{COj}^{6byx} - \sum_{i=1}^M \Delta Q_{COi}^{6ex} \right) \Delta Q_{пож}^{-1} ; \quad (4.22)$$

б) для j -й выходной выработки при рассмотрении гипотезы об очаге пожара во входной выработке:

$$D_j^{gx} = \left(\Delta Q_{COj}^{6bx} - d_j \sum_{i=1}^M \Delta Q_{COi}^{gx} \right) d_j^{-1} \Delta Q_{пож}^{-1}; \quad (4.23)$$

в) для j -й выходной выработки при рассмотрении гипотезы об очаге пожара в выходной выработке:

$$D_j^{6bx} = \left(\Delta Q_{COj}^{6bx} - d_j \sum_{i=1}^M \Delta Q_{COi}^{gx} \right) \Delta Q_{пож}^{-1} \quad (4.24)$$

и следующие дополнительные условия оценки содержания оксида углерода:

$$\Delta C_j^{6bx} - \Delta C_k^{6bx} > \Delta_C, \quad j \neq k, \quad j = 1 \dots H, \quad k = 1 \dots H; \quad (4.25)$$

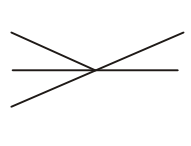
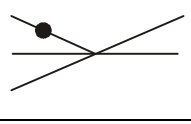
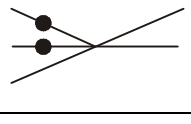
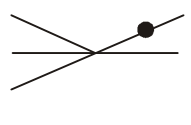
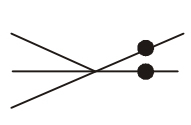
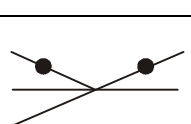
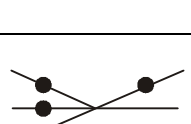
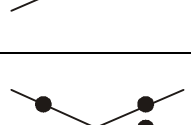
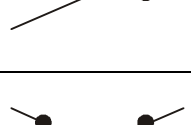
$$\Delta C_j^{6bx} > \Delta_{C1}, \quad j = 1 \dots H, \quad (4.26)$$

где Δ_C – параметр, характеризующий методическую погрешность определения содержания оксида углерода. Определение местоположения очага пожара осуществляется с помощью вычисляемой $5 \times H$ -битной сигнатуры вида

$$\Phi = \{ \phi_1(D_\Sigma), \phi_2(D_j^{gx}), \phi_3(D_l^{6bx}), \phi_4((\Delta C_j^{6bx} > \Delta_{C1}) = 1), \phi_5((\Delta C_j^{6bx} - \Delta C_l^{6bx} > \Delta_C, j \neq l) = 1) \}. \quad (4.27)$$

Пример применения условий на основе (4.22), (4.23), показателя (4.24) и условий (4.25), (4.26) для определения местоположения очага пожара на ранней стадии в зоне контроля с тремя входными и двумя выходными выработками приведен в Таблице 4.1. Относительно наличия очагов пожара могут быть сформулированы следующие гипотезы: 1 – очагов нет; 2 – один очаг во входной выработке; 3 – несколько очагов в разных входных выработках; 4 – один очаг в выходной выработке; 5 – несколько очагов в разных выходных выработках; 6 – один очаг во входной выработке и один очаг в выходной выработке; 7 – несколько очагов в разных входных выработках и один очаг в выходной выработке; 8 – один очаг во входной выработке и несколько очагов в разных выходных выработках; 9 – несколько очагов в разных входных выработках и несколько очагов в разных выходных выработках. Приведенный пример показывает, что разным гипотезам о наличии очага пожара на ранней стадии развития (столбец 1) соответствуют различные сигнатуры (4.27) (столбец 10), что позволяет определить местоположения очагов пожаров на ранних стадиях с точностью до горной выработки. Исключениями являются пары гипотез 2 и 3, 6 и 7, 8 и 9, отличительной чертой которых является количество очагов пожара во входных выработках с неизвестными характеристиками.

Таблица 4.1 – Признаки для определения местоположения пожаров

№ гипотезы	Местоположение очагов пожара ¹⁾	$j^{2)}$	Выполнение условия $D_{\Sigma} \geq 1$	Выполнение условия $D_j^{ex} \geq 1$	Диапазон значений для (4.24)	Выполнение условия (4.25)	Выполнение условия (4.26)	Сигнатура выработки ³⁾	Сигнатура зоны ⁴⁾
1		1	Нет	Нет	$D_j^{ex} = 0$	Нет	Нет	A	AA
		2	Нет	Нет	$D_j^{ex} = 0$	Нет	Нет	A	
2		1	Да	Да	$0 < D_j^{ex} < 1$	Нет	Да	B	BB
		2	Да	Да	$0 < D_j^{ex} < 1$	Нет	Да	B	
3		1	Да	Да	$0 < D_j^{ex} < 1$	Нет	Да	B	BB
		2	Да	Да	$0 < D_j^{ex} < 1$	Нет	Да	B	
4		1	Да	Да	$D_j^{ex} \approx 1$	Да	Да	C	CD
		2	Да	Нет	$D_j^{ex} = 0$	Да	Нет	D	
5		1	Да	Да	$D_j^{ex} \approx 1$	X ⁵⁾	Да	C	CC
		2	Да	Да	$D_j^{ex} \approx 1$	X	Да	C	
6		1	Да	Да	$D_j^{ex} > 1$	Да	Да	E	EG
		2	Да	Да	$0 < D_j^{ex} < 1$	Да	Да	G	
7		1	Да	Да	$D_j^{ex} > 1$	Да	Да	E	EG
		2	Да	Да	$0 < D_j^{ex} < 1$	Да	Да	G	
8		1	Да	Да	$D_j^{ex} > 1$	X	Да	E	EE
		2	Да	Да	$D_j^{ex} > 1$	X	Да	E	
9		1	Да	Да	$D_j^{ex} > 1$	X	Да	E	EE
		2	Да	Да	$D_j^{ex} > 1$	X	Да	E	

Примечание: 1) линиями изображены горные выработки, жирными точками – очаги пожаров; 2) номер выходной выработки; 3) рассматривается сочетание признаков, приведенных в столбцах от 4 до 8; 4) совокупность признаков, идентифицирующая ситуацию и состоящая из сигнатур всех выходных выработок; 5) любые значения.

Описанный подход к определению местоположения очагов пожаров применим для зон контроля с различным количеством входных и выходных выработок, при этом размерность

сигнатуры определяется количеством выходных выработок. Из-за неопределенности динамики развития очагов пожаров использование приведенной методики определения местоположения возможно именно на ранних стадиях пожаров. При развитии пожара во многих случаях становится затруднительным или невозможным локализовать множественные и развитые очаги, что парируется выполнением требований [207] и [201] об обеспечении непрерывного функционирования подсистемы обнаружения и определения местоположения пожаров на ранних стадиях в составе МФСБ.

С учетом (4.8)-(4.26) автором разработан метод обнаружения пожаров на ранних стадиях и определения их местоположения [23], который основан на использовании математической модели, объединяющей уравнения газового баланса с упрощенным описанием движения воздуха в горных выработках, и сравнении результатов численного моделирования содержания оксида углерода с соответствующими значениями, измеренными МФСБ. В разработанном методе используется упрощенная аэрогазодинамическая модель движения ГС в горной выработке на основе динамического звена с передаточной функцией вида

$$G(s) = \frac{1}{(Ts + 1)^n} e^{-\tau(t)s}, \quad (4.28)$$

где s – оператор Лапласа; T и n – параметры, характеризующие перемешивание газовой смеси и аэродинамические процессы в выработке. Поскольку техническое, информационное и программное обеспечение, реализующее разработанный метод, базируется на соответствующих компонентах МФСБ, то важной является задача определения параметров модели движения воздуха (4.28), для решения которой предложено периодически осуществлять экспериментальное снятие переходной характеристики горной выработки относительно движения по ней ограниченного объема газовой смеси (подраздел 4.4). Для определения параметров (4.28) T и n по зависимостям от времени сигналов (расходов оксида углерода) на входах и выходах исследуемой зоны контроля могут быть применены различные численные методы [35, 109, 267].

Разработанный алгоритм обнаружения пожаров по ранним признакам предусматривает следующую последовательность расчетов: 1) проверка наличия установившегося режима проветривания; 2) сбор и обработка результатов измерений; 3) вычисление содержания и расхода оксида углерода в зонах контроля на основе модели движения воздуха; 4) расчет «пожарных» составляющих оксида углерода; 5) выявление признаков пожара; 6) определение местоположения пожара; 7) оценка адекватности используемой модели движения воздуха.

Для определения неустановившегося режима проветривания на каждом шаге расчета

осуществляется проверка выполнения неравенства: $\Delta Q_V > \delta$ или $\Delta V > \delta$, где ΔQ_V , ΔV – вычисленное рассогласование результатов расчета расхода газовой смеси или скорости ее движения и реальных измерений, $\Delta Q_V = Q_V(t) - Q_V^{ИЗМ}(t)$ или $\Delta V = V(t) - V^{ИЗМ}(t)$; $Q_V(t)$, $Q_V^{ИЗМ}(t)$ – расчетный и измеренный расход газовой смеси; $V(t)$, $V^{ИЗМ}(t)$ – расчетная и измеренная скорость движения газовой смеси; δ (задаваемая константа) – допустимое рассогласование результатов расчета и реальных измерений, задаваемое для конкретного объекта контроля, для которого осуществляется выявление ранних признаков экзогенных пожаров. Если в течение времени больше периода недостоверности T_0 неравенство $\Delta Q_V > \delta$ (или $\Delta V > \delta$) непрерывно выполняется, то идентифицируется неустановившийся режим проветривания. Расчет содержания оксида углерода и скорости движения воздуха выполняется на основе математической модели объекта контроля с использованием передаточного оператора:

$$[y_w(t), a_w(t)] = G_w(x_w(t), m_w(t), P_w), \quad (4.29)$$

где $x_w(t)$ – вектор входных переменных, $x_w(t) = [C_1^{ex}(t), V_1^{ex}(t), \dots, C_M^{ex}(t), V_M^{ex}(t)]$; $m_w(t)$ – вектор измеренных значений контролируемых переменных, получаемых от датчиков системы АГК (МФСБ), $m_w(t) = [c_1^{ex}(t), v_1^{ex}(t), \dots, c_M^{ex}(t), v_M^{ex}(t), c_1^{6blx}(t), v_1^{6blx}(t), \dots, c_H^{6blx}(t), v_H^{6blx}(t)]$; P_w – вектор параметров зоны контроля, определяемых при проектировании подсистемы обнаружения и определения местоположения пожаров на ранних стадиях и ее настройке в условиях эксплуатации, $P_w = [L_w, S_w, K_w, C_{w,N}, Q_{w,V}^P, W_w]$, L_w , S_w , K_w – длина, площади сечения выработок и коэффициенты установок датчиков скорости движения воздушного потока, $L_w = [L_1^{ex}, \dots, L_M^{ex}, L_1^{6blx}, \dots, L_H^{6blx}]$, $S_w = [S_1^{ex}, \dots, S_M^{ex}, S_1^{6blx}, \dots, S_H^{6blx}]$ и $K_w = [k_{y1}^{ex}, \dots, k_{yM}^{ex}, k_{y1}^{6blx}, \dots, k_{yH}^{6blx}]$, C_w – фоновое содержание оксида углерода, $C_w = [C_{N1}^{ex}, \dots, C_{NM}^{ex}, C_{N1}^{6blx}, \dots, C_{NH}^{6blx}]$, $Q_{w,VP}$ – расчетное (проектное) значение расхода воздуха, $Q_{w,VP} = [Q_{VP1}^{ex} \dots Q_{VPM}^{ex}, Q_{VP1}^{6blx} \dots Q_{VPH}^{6blx}]$; H_w – параметр передаточной функции (4.28), $H_w = [T_1^{ex}, n_1^{ex}, \dots, T_M^{ex}, n_M^{ex}, T_1^{6blx}, n_1^{6blx}, \dots, T_H^{6blx}, n_H^{6blx}]$; $y_w(t)$ – параметры выходных расчетных переменных содержания оксида углерода и скорости движения воздуха, $y_w = [C_1^{6blx}(t), V_1^{6blx}(t), \dots, C_H^{6blx}(t), V_H^{6blx}(t)]$; $a_w(t)$ – вектор выходных расчетных переменных, характеризующих пожароопасность зоны контроля, вычисляемых по (4.8)-(4.29), и разностей между вычисленными и измеренными расходами воздуха в выходных выработках,

$$a_w(t) = \left[Q_{CO1}^{6blx}(t), d_1(t), C_1^{6blx}(t), \dots, Q_{COH}^{6blx}(t), d_H(t), C_H^{6blx}(t), \sum_{i=1}^M Q_{COi}^{6blx}, \Delta Q_{V1}^{6blx}(t), \dots, \Delta Q_{VH}^{6blx}(t) \right];$$

$\Delta Q_{Vj}^{6blx}(t) = 60 S_j^{6blx} k_{yj}^{6blx} (V_j^{6blx} - v_j^{6blx})$; G_w – передаточный оператор, связывающий векторы вы-

ходных переменных $\mathbf{a}_w(t)$ и $\mathbf{y}_w(t)$ и вектор входных переменных $\mathbf{x}_w(t)$ и учитывающий упрощенную аэрогазодинамическую модель (4.29); \mathbf{W} – номера точек контроля, которыми ограничена зона контроля. В качестве примера приведена схема добычного участка (Рисунок 4.2, а) и соответствующая ей схема модели (Рисунок 4.2, б) на основе операторов (4.29). Для передаточных операторов \mathbf{G}_w в качестве входных переменных $\mathbf{x}_w(t)$ могут использоваться: а) результаты измерений, проводимых МФСБ, например, на блок $\mathbf{G}_{1,2,3}$ поступает вектор $\mathbf{X}_1(t) = \mathbf{m}_1(t) = [c_1(t), v_1(t)]$ с данными от МФСБ (здесь нижний индекс соответствует номеру точки контроля); б) выходные переменные предыдущих зон $\mathbf{y}_w(t)$, например, на первый вход $\mathbf{G}_{2,6,7}$ поступает $\mathbf{X}_6(t)$ с выхода $\mathbf{G}_{5,6}$; в) расчетные (проектные) значения, например, на второй вход $\mathbf{G}_{2,6,7}$ поступает вектор $\mathbf{X}_2(t) = [c_2(t), Q_{V2}]$, где $c_2(t)$ – результат измерений от МФСБ; Q_{V2} – расчетное (проектное) значение расхода воздуха. Если на функциональный блок \mathbf{G}_w поступают данные от МФСБ – $\mathbf{m}_w(t)$, то в блоке рассчитываются значения $\Delta Q_{Vj}^{бых}(t)$, которые позволяют оценивать адекватность применяемой модели, а для формирования выходного вектора используются данные, получаемые от МФСБ, например, на выходе $\mathbf{G}_{2,6,7}$ формируется вектор $\mathbf{Y}_7(t) = \mathbf{m}_7(t) = [c_7(t), v_7(t)]$.

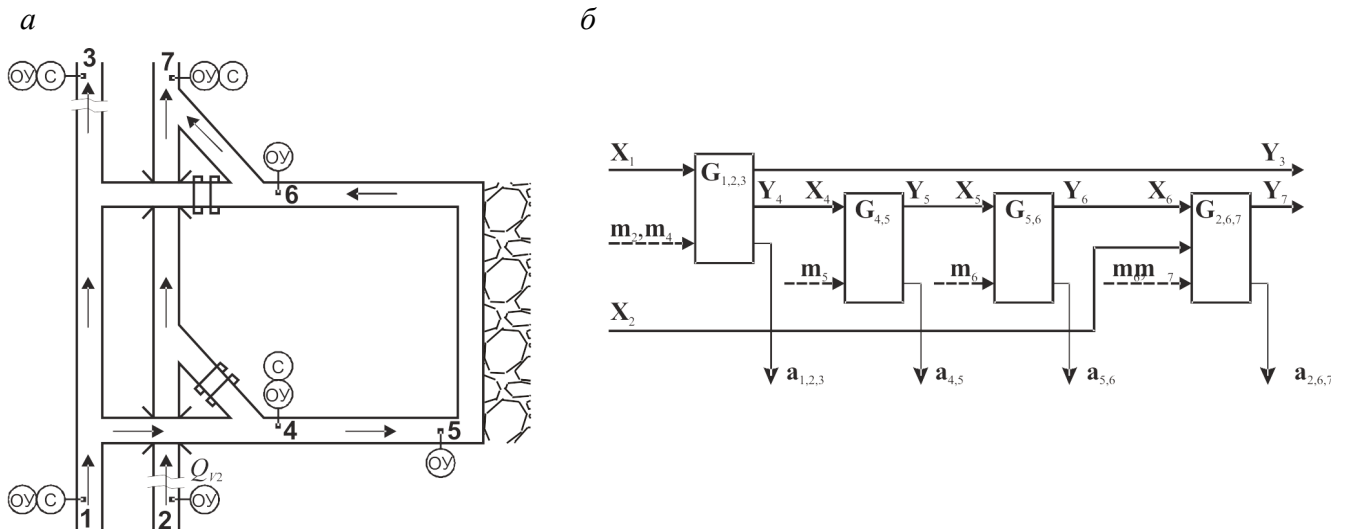


Рисунок 4.2 – Схема добычного участка и соответствующая структурная схема модели (ОУ – датчик оксида углерода; С – датчик скорости движения воздуха)

Отметим, что без потери общности рассмотренная модель может быть распространена на любые газовые шахты за счет учета в ней содержания остальных газов в рудничной атмосфере: метана, диоксида углерода, оксида и диоксида азота и т. д. в зависимости от кате-

гории газовой опасности, к которой отнесена шахта.

Важно отметить, что описанный подход также позволяет осуществлять самодиагностику МФСБ на основе анализа невязок, которые рассчитываются для различных газов.

Для реализации требования [201] об использовании устойчивого увеличения концентрации оксида углерод на 17 млн^{-1} за 10 минут (600 с) как пожарного признака, автором предложен способ выявления пожаров на ранних стадиях, в котором используются следующие соглашения и условия: а) для каждой m -й зоны контроля используется переменная, характеризующая наличие «пожарного» признака – F_m с соответствующим статусом f_m : в начале функционирования алгоритма обнаружения пожаров: $F_m = 0$, $f_m =$ «неизвестное состояние»; если $F_m = 0$, то ранние признаки экзогенного пожара не обнаружены; если $F_m = 0,5$, то ранние признаки пожара обнаружены, но не подтверждены (ранние признаки пожара 1-го типа); если $F_m = 1,0$, то ранние признаки пожара обнаружены и подтверждены (ранние признаки пожара 2-го типа); б) период выявления тренда $T_{600} = 5T_{120} = 600$ с; в) данные, поступающие от функциональных блоков (4.28), нормированы и фиксированы на 10-секундных интервалах. Последовательность выявления пожарных признаков следующая: а) для промежутков T_{120} вычисляются для измеряемых (вычисляемых) содержаний оксида углерода: среднее (взвешенное по времени) приращение $\Delta C_{MEAN}^N = \sum_{T_{120}} C(t_i)(t_{i+1} - t_i) / T_{120}$, где t_i – моменты времени внутри интервала T_{120} , для которых получены отсчеты оксида углерода, $T_{120} = \sum_{T_{120}} t_i$; медианное (взвешенное по времени) приращение – ΔC_{MED}^N ; максимальное приращение – ΔC_{MAX}^N , где N – номер промежутка. Вычисленные значения присваиваются моментам времени (t_i), которые соответствуют серединам интервалов T_{120} ; б) через каждые T_{120} проводятся следующие вычисления для последних T_{600} (для 5 промежутков T_{120}): 1) вычисляют коэффициенты для линейных регрессионных моделей вида:

$$\Delta C_{xxx}^N(t_i) = a_{xxx}^N \times t_i + b_{xxx}^N, \quad (4.30)$$

где a_{xxx}^N, b_{xxx}^N – коэффициенты, которые вычисляются на массиве исходных данных $\Delta C_{xxx}^N(t_1), \dots, \Delta C_{xxx}^N(t_5)$, $xxx \in \{MEAN, MED, MAX\}$ – индекс среднего, медианного и максимального значений соответственно для индексируемой переменной; 2) рост есть, если для одной зоны контроля не менее, чем для любых двух рассчитанных регрессионных моделей

(*MEAN, MED, MAX*) выполняется условие:

$$a_{xxx}^N > k_1 = 17/T_{600}, \quad (4.31)$$

где k_1 – постоянный «коэффициент роста», общий для всех зон контроля, $k_1 = 0.28 \text{ млн}^{-1} \text{ с}^{-1}$; 17 – ПДК оксида углерода, млн^{-1} ; в) далее вычисляются суммы «пожарных» невязок, рассчитываемые на периодах T^F в функциональных блоках за последний T_{600} :

$C_{\Sigma 600} = \sum_{y=1 \dots 60} \Delta C(y)$, и определяется справедливость следующих условий:

$$C_{\Sigma 600} > k_2; \quad (4.32)$$

$$C_{\Sigma 600} > 2k_2, \quad (4.33)$$

где k_2 – постоянный «коэффициент значения», общий для всех зон контроля, $k_2 = 17T_{600}/2$; г) если выполняется условие (4.31) (рост выявлен) на h -м периоде расчета (в момент времени hT_{120}), то: 1) если выполняется условие (4.32), то $F(h)=0,5$ (выявлены «ранние признаки пожара типа 1») и $f(h)$ = «предупредительное высокое состояние»; 2) если выполняется условие (4.33), то $F(h)=1,0$ (выявлены «ранние признаки пожара типа 2») и $f(h)$ = «предаварийное высокое состояние»; д) если не выполняется условие (4.31) (рост не выявлен) на z -м периоде расчета и выполняются условия (4.32) или (4.33), то: 1) если $F(h-1)=0$, то $F(h)=0,5$ (выявлены «ранние признаки пожара типа 1») и $f(h)$ = «предупредительное высокое состояние»; 2) если $F(h-1)=0,5$, то $F(h)=1,0$ (выявлены «ранние признаки пожара типа 2») и $f(h)$ = «предаварийное высокое состояние», если не выполняются условия (4.32) или (4.33); 3) если $F(h-1)=1,0$, то $F(h)=0,5$ (остаются «ранние признаки пожара типа 1») и $f(h)$ = «предупредительное высокое состояние»; 4) если $F(h-1)=0,5$, то $F(h)=0$ (отсутствуют ранние признаки пожара) и $f(h)$ = «нормальное состояние»; 5) если $F(h-1)=0$, то $F(h)=0$ (отсутствуют ранние признаки пожара) и $f(h)$ = «нормальное состояние»; е) описанные вычисления проводятся для всех зон контроля.

Вычисленную оценку $F(h)$ необходимо использовать при количественной оценке риска пожара в выражении (3.5)

$$P_{(v)(d2)oi}(N) = F(\phi_1(N), \dots, \phi_5(N), \phi_1(N-1), \dots, \phi_5(N-1)), \quad (4.34)$$

где $\phi_{1.N} = \phi_1(a_{Mean}^N > C_{ПОР} / 600)$, $\phi_{2.N} = \phi_2(a_{Med}^N > C_{ПОР} / 600)$, $\phi_{3.N} = \phi_3(a_{Max}^N > C_{ПОР} / 600)$,
 $\phi_{4.N} = \phi_4(C_{\Sigma 600}^N > 300C_{ПОР})$, $\phi_{5.N} = \phi_5(C_{\Sigma 600}^N > 600C_{ПОР})$, $C_{\Sigma 600}^N = \Sigma \Delta C^N$.

Таким образом, автором разработан метод обнаружения пожаров на ранних стадиях, основанный на решении уравнений газового баланса по индикаторному газу, в качестве которого используется оксид углерода, с учетом аэрогазодинамических процессов, обеспечивающий определение местоположения очага пожара и формирование индикаторов, характеризующих пожарную составляющую риска, которые могут использоваться для оперативного информирования работников о «пожарном» риске в месте и во время их нахождения в горных выработках и при количественном оценивании риска.

4.3 Методы прогнозирования и управления аэрологическим риском

Как показано в разделе 1, наибольшее количество инцидентов и аварий, связанных с аэрологией, происходит в подготовительных и очистных забоях. По этой причине оперативное и среднесрочное управление аэрологическим риском во многом связано с управлением ТП проходки, очистки и газоправления (вентиляции, дегазации, газоотсоса). Необходимость снижения себестоимости подземной добычи угля, непосредственно связанная с использованием высокопроизводительных добычных комплексов, обостряет проблему обеспечения и повышения безопасности горных работ. Резкий рост добычи приводит к росту газообильности выработок, повышению газоопасности шахт и увеличению числа загазирования, причиной которых является несоответствие между объемом выделяемого метана и возможностями его разжижения до допустимых норм. Эффективное использование высокопроизводительной очистной техники лимитируется газовым фактором, так как большинство простоев связано именно с загазированиями. Управление текущей производительностью добычного комплекса в зависимости от газовой обстановки приводит к повышению суммарной добычи за счет сокращений периодов простоя путем предотвращения загазирования, что делает актуальным разработку систем управления добычным комплексом по газовому фактору. В [245] описаны условия определения загазирования.

Схема очистного забоя с газоправлением как объекта управления представлена на Рисунке 4.3, здесь: q – текущая относительная метанообильность (ОМ) отработываемой части угольного пласта, которая зависит от природной метанообильности, дегазации, НДС и т. п., $\text{м}^3/\text{т}$; $Q_{П}^Г$ и $C_{П}^М$, $Q_{И}^Г$ и $C_{И}^М$, $Q_{Д}^Г$ и $C_{Д}^М$ – расходы газовых смесей и содержания метана в поступающей, исходящей струях и на дегазацию соответственно, $\text{м}^3/\text{мин}$ и % об.;

$Q_3^M = Q_3^M(Q_K, q)$ – количество метана, выделившегося в лаве, м³/мин; Q_B^M – количество метана, выделившееся в выработанном пространстве, м³/мин; $Q_K = Q_K(U_K)$ – текущая производительность комплекса, т/мин; U_K – управление добычным комплексом. К управляющим воздействиям относятся U_K и проектные (номинальные) $Q_{II}^Г$ и $Q_{Д}^Г$, которые рассчитываются на основе оценки q и Q_K . К возмущающим воздействиям относятся C_{II}^M , Q_3^M , Q_B^M и отклонения от номинальных значений $Q_{II}^Г$ и $Q_{Д}^Г$. Мониторинг $Q_{II}^Г$, $Q_{II}^Г$, $Q_{Д}^Г$, C_{II}^M , C_{II}^M , $C_{Д}^M$ и Q_K обеспечивает МФСБ (система АГК).

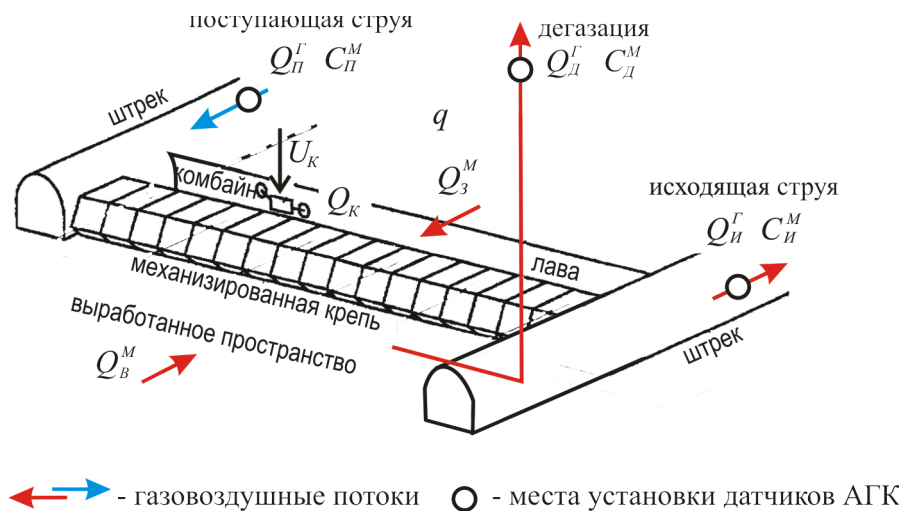


Рисунок 4.3 – Схема очистного забоя

Все параметры, характеризующие функционирование объекта в установившемся режиме, связаны системой уравнений газового баланса:

$$\begin{cases} Q_{II}^Г = Q_{II}^Г(Q_{II}^Г, C_{II}^M, Q_3^M, Q_B^M, Q_{Д}^Г); \\ C_{II}^M = C_{II}^M(Q_{II}^Г, C_{II}^M, Q_3^M, Q_B^M, Q_{Д}^Г, C_{Д}^M); \\ \dots \end{cases} \quad (4.35)$$

при решении которых во временной области существует необходимость учета процессов транспортирования и перемешивания газовых смесей. Учет этих аэрогазодинамических процессов затруднен из-за постоянных движений фронта горных работ, неконтролируемого изменения геометрии и аэродинамического сопротивления путей перемещения ГС и т. д. При этом одновременное решение задач адаптации модели (4.35) к изменившимся условиям ведения горных работ и идентификации ее параметров является нереализуемым.

На уровень аэрологической безопасности объекта (Рисунок 4.3) и параметры ОТ и ПБ,

связанные с ней, определяющее влияние оказывает содержание метана, для которого различают три вида выделений: обычное, суфлярное и внезапное. При вентиляционном расчете не учитывается внезапное выделение, а производственными и технологическими решениями обеспечиваются расчетные значения Q_{II}^F и Q_D^F . С опасными аэрологическими состояниями, возникающими при внезапных выделениях метана, невозможно бороться с помощью вентиляции, их парирование обеспечивается АГЗ. Используемые средства обеспечения аэрологической безопасности являются многоуровневыми и предусматривают контроль правильности проектных решений, соответствия параметров работы системы вентиляции проектным решениям и АГЗ при несоответствии текущего аэрологического состояния объекта НД и проектным решениям. Применительно к МФСБ, являющейся основой обеспечения аэрологической безопасности, можно говорить о реализации на ее основе «пассивной» безопасности – текущих оценке ОМ и контроле параметров, характеризующих аэрологическое состояние объекта и «активной» безопасности – осуществлению АГЗ. Однако автором в подразделе 2.1 показано, что средства АГЗ принципиально не могут гарантировать безопасную работу очистного участка, поэтому пассивную безопасность необходимо рассматривать как определяющую. Это делает важной задачу правильной текущей оценки ОМ.

Для расчета Q_{II}^F и Q_D^F используется усредненная в пространстве (по пласту) и во времени оценка ОМ q_{cp} , которая в качестве $q_{проект}$ используется в проектах. Однако фактическая ОМ (q), которая определяет количество метана (Q_3^M), выделившегося в лаву и требующего разбавления (Q_{II}^F), зависит от многих факторов (НДС угольного пласта, наличия геологических нарушений, свойств угля и пр.) и может отличаться от q_{cp} ($q_{проект}$). Именно маловероятные, но высокие значения q приводят к опасным аэрологическим ситуациям (загазированиям), поэтому текущую ОМ необходимо рассматривать как случайную величину с определенной ПРВ. Рассмотрим возможные ПРВ относительной метанообильности $f(q)$ с одинаковой q_{cp} (Рисунок 4.3, а), по которой производится расчет подаваемого на разбавление воздуха: а) голубая и зеленая линии характеризуются тем, что наиболее вероятное значение q равно или близко к q_{cp} , т. е. традиционные вентиляционные расчеты могут успешно применяться, но и в этом случае, очевидно, что наличие маловероятных значений $q > q_{cp}$ является причиной редких загазирований; б) красная линия соответствует ситуации, когда угольный пласт содержит два типа участков: с низкой и высокой ОМ. При отработке участков с низкой ОМ количество воздуха на разбавление будет избыточным и концентрация метана будет значительно ниже нормативных порогов C_{III}^M [201], при отработке участков в

высокой ОМ неизбежно будут возникать загазирования. Все это делает необходимым разработку метода оценки вероятности возникновения загазирования, непосредственно связанную с аэрологическим риском и ПРВ количеством метана, выделившегося в выработанном пространстве, воздуха, поступающего на разбавление, и т. д. Основная проблема практической реализации этого подхода связана с необходимостью получения характеристик ПРВ, используемых в расчетах параметров, что невозможно осуществить на коротких временных интервалах.

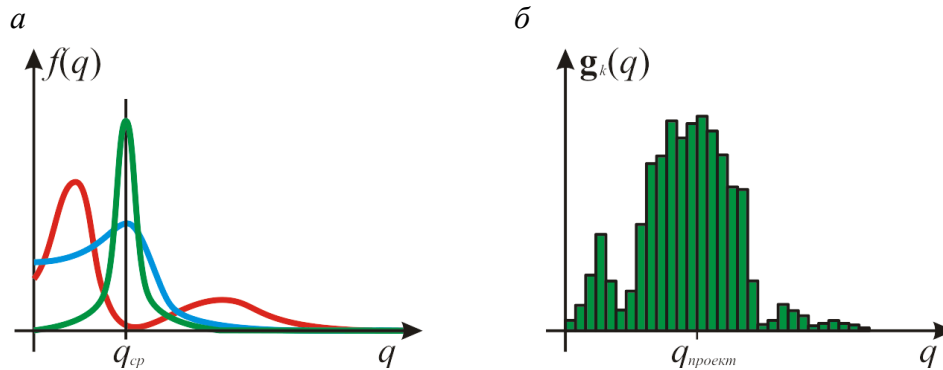


Рисунок 4.4 – Плотности распределения вероятности ОМ (а), расчетные для k -го временного интервала статистические оценки относительной метанообильности (б)

Нами предложено при выполнении вентиляционных расчетов учитывать случайный характер ОМ (q), – это возможно без определения ПРВ ОМ, а путем использования в расчетах гистограмм ОМ $g_k(q)$ (Рисунок 4.4, б), которые могут быть построены на основе текущих данных, собираемых МФСБ для k -го временного интервала. Такой подход в равной степени применим к другим газовым составляющим.

Рассмотрим задачу оценки текущего значения относительной метанообильности. Положим, что уравнение газового баланса без учета аэрогазодинамики для рассматриваемого объекта имеет вид $Q_{II}^{\Gamma} \times C_{II}^M + Q_3^M + Q_B^M = Q_D^{\Gamma} \times C_D^M + Q_{II}^{\Gamma} \times C_{II}^M$, тогда ОМ может быть вычислена по формуле:

$$q = \frac{Q_3^M}{Q_K} = \frac{Q_D^{\Gamma} C_D^M + Q_{II}^{\Gamma} C_{II}^M - Q_{II}^{\Gamma} C_{II}^M - Q_B^M}{Q_K}. \quad (4.36)$$

Все переменные в (4.36) рассматриваются как случайные, при этом Q_{II}^{Γ} , C_{II}^M , Q_D^{Γ} , Q_3^M и Q_B^M являются независимыми, что является необходимым условием при применении ЧВ анализа [63, 111], с использованием которого выражение (4.36) принимает вид:

$$\mathbf{g}_k(q) = \frac{\mathbf{g}_k(Q_D^r)\mathbf{g}_k(C_D^M) + \mathbf{g}_k(Q_H^r)\mathbf{g}_k(C_H^M) - \mathbf{g}_k(Q_H^r)\mathbf{g}_k(C_H^M) - \mathbf{g}_k(Q_B^M)}{\mathbf{g}_k(Q_K)}, \quad (4.37)$$

где $\mathbf{g}_k(x)$ – гистограмма параметра x на k -м временном интервале, $\mathbf{g}_k(x) = \{g_1(x \in [X_1, X_2]), \dots, g_i(x \in [X_i, X_{i+1}]), \dots, g_n(x \in [X_n, X_{n+1}])\}$, $g_i(x \in [X_i, X_{i+1}])$ – количество отсчетов x , удовлетворяющих условию $X_i \leq x < X_{i+1}$, X_i и X_{i+1} – границы i -го поддиапазона, где $\forall i, X_i < X_{i+1}$, n – количество поддиапазонов в диапазоне изменения x . Так как в правой части (4.37) все переменные доступны прямому измерению МФСБ, то их гистограммы $\mathbf{g}_k(x)$ могут быть получены, следовательно, гистограмма $\mathbf{g}_k(q)$ может быть вычислена.

Использование гистограмм $\mathbf{g}_k(q)$ позволяет выявлять ошибки, связанные с отсутствием маловероятных, но опасных значений в исходных данных для вентиляционных расчетов, что является важнейшим условием обеспечения «пассивной» аэрологической безопасности. Построение и вычисление гистограмм проводится в скользящем временном окне (k -м интервале) на временных интервалах длительностью в десятки минут. Методы ЧВ анализа обеспечивают решение систем алгебраических линейных и нелинейных уравнений [63, 110-113, 199]. При этом анализ объектов, характеризующихся переменными, представленными в виде гистограмм, имеет в основном статистический характер и позволяет не учитывать в расчетах аэрогазодинамические процессы или использовать упрощенные уравнения аэрогазодинамики, например, сведенные к процессу транспортирования газовых смесей, так как аэрогазодинамические постоянные времени меньше длительностей временных интервалов на порядок и более, или применять разностную форму уравнения (4.37), позволяющую учитывать за счет использования в одном уравнении гистограмм, вычисленных для различных временных интервалов.

Воспользуемся аналогичным подходом для оценки текущего значения метановыделения, которое является важной характеристикой, оказывающей решающее влияние на аэрологическую безопасность, ОТ и ПБ. Для количества метана, выделяющегося в забое, гистограмма может быть получена по формуле

$$\mathbf{g}_k(Q_3^M) = \mathbf{g}_k(Q_H^M) + \mathbf{g}_k(Q_D^M) - \mathbf{g}_r(Q_B^M) - \mathbf{g}_k(Q_H^M), \quad (4.38)$$

где $\mathbf{g}_k(Q_H^M)$, $\mathbf{g}_k(Q_D^M)$, $\mathbf{g}_k(Q_H^M)$ – гистограммы, которые строятся на основе измерений; $\mathbf{g}_r(Q_B^M)$ – гистограмма, которая строится на основе анализа данных о метановыделении в

выработанном пространстве за длительные промежутки времени для определенного технологического режима очистного забоя. Тогда для $g_k(Q_3^M)$, вычисленной по (4.38), и $g_k(Q_{II}^I)$ на основе измерений, может быть получена гистограмма содержания метана в забое по формуле

$$g_k(C_3^M) = \frac{g_k(Q_3^M)}{g_k(Q_{II}^I)} \quad (\text{Рисунок 4.5}).$$

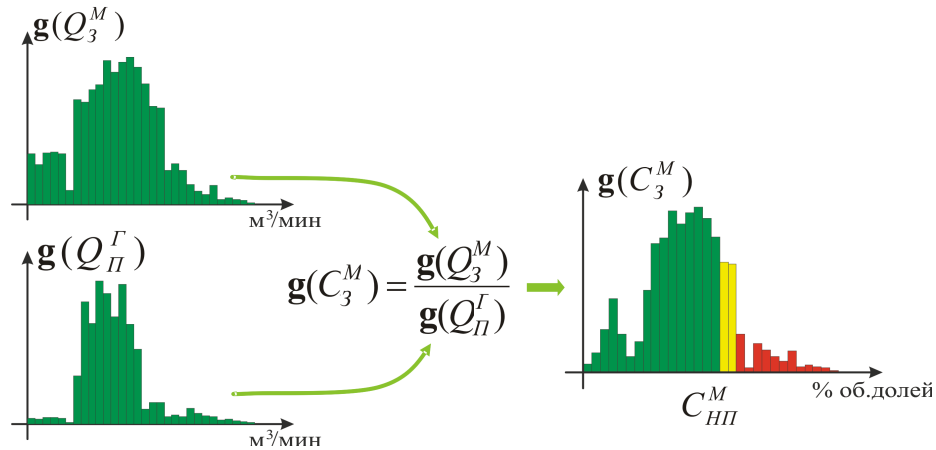


Рисунок 4.5 – Плотности распределения вероятности содержания метана в забое

Наличие такой статистической оценки позволяет оценить для k -го временного интервала вероятность опасного аэрогазового (по метану) состояния (на Рисунке 4.5 красные столбцы) на основе анализа гистограммы содержания метана $g(C_m^M) = \{g_{m.1}^M, \dots, g_{m.j}^M, \dots, g_{m.n}^M\}$, где $g_{m.j}^M$ – значение j -го столбца (из n) гистограммы для m -й точки контроля, определяемой по формуле

$$p((C_m^M > C_{m.НП}^M) = 1) = \frac{\sum_{j=1}^n g_{m.j}^M (C_m^M > C_{m.НП}^M)}{\sum_{j=1}^n g_{m.j}^M (0 \leq C_m^M \leq 100)} \quad (4.39)$$

или спрогнозировать общую длительность превышения метаном нормативного порогового уровня $C_3^M > C_{3.НП}^M$. Аналогично для других точек контроля, в которых невозможно, затруднительно или нецелесообразно прямое измерение метана (других параметров аэрологического состояния), построение гистограмм производится на основе соответствующих расчетов, проводимых с гистограммами переменных, которые могут быть измерены. Возможность получения на k -ом временном интервале гистограмм содержания метана в m -х точках контроля $g_k(C_m^M)$ позволяет формализовать процесс количественного оценивания аэрологиче-

ского риска на основе выражения (4.38) и рассмотреть возможности прогнозирования аэрологического риска на основе обработки временных рядов характеристик соответствующих ПРВ (Рисунок 4.6).

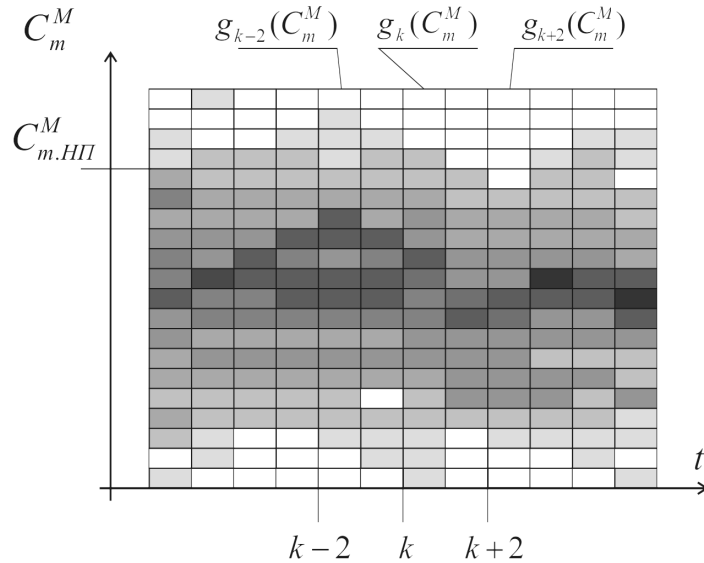


Рисунок 4.6 – Изменение гистограмм выделения метана в забое во времени

Действительно, в обсуждаемой задаче отсутствует необходимость прогноза мгновенного значения содержания метана, но важна оценка вероятности появления взрывоопасной МВС, что может быть достигнуто путем обработки временных рядов гистограмм. Для гистограмм $g_k(C_m^M)$ могут быть определены различные характеристики (Рисунок 4.7): среднее значение $g_{cp}(k)$ (или медиана); границы диапазона значений, включающие $W\%$ всех значений $g_{+W}(k)$, $g_{-W}(k)$ (или верхняя или нижняя квартиль), при этом могут одновременно рассчитываться границы для нескольких значений W ; максимум и минимум $g_{min}(k)$, $g_{max}(k)$ и другие. Изменение во времени этих характеристик показано на Рисунке 4.7 в виде диаграммы, которая по форме представления характеристик ПРВ соответствует диаграмме размахов [132]. Также на основе выражения

$$p((C_m^M > C_{m.HП}^M) = 1) = \frac{\sum_{j=1}^n g_{m,j}^M(C_m^M > C_{m.Hj}^M)}{\sum_{j=1}^n g_{m,j}^M(0 \leq C_m^M \leq 100)}, \quad (4.40)$$

где $C_{m.Hj}^M$ – задаваемый пороговый уровень, который может отличаться от нормативного

$C_{m.HП}^M$, может быть построен временной ряд для вероятности превышения содержания метана различных пороговых уровней, где $C_{m.HП2}^M > C_{m.HП1}^M$.

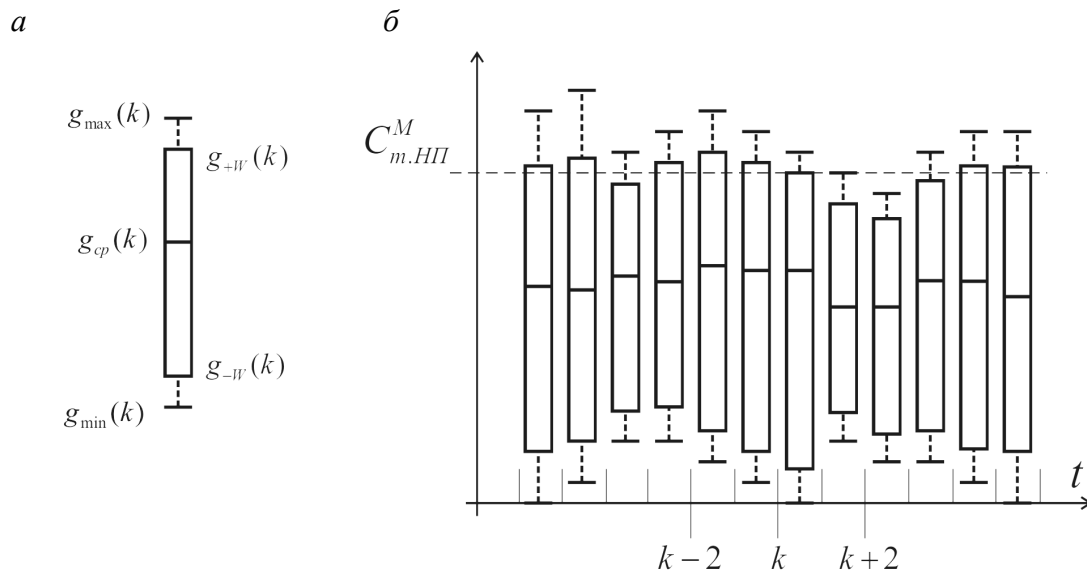


Рисунок 4.7 – Структура диаграммы размахов (а) и изменение во времени диаграммы размахов выделения метана в забое графика гистограмм на Рисунке 4.6 (б)

Сравнительная оценка риска может быть проведена по отношению к допустимой вероятности образования взрывоопасной МВС $p_{m.HП}^M$, которая может определяться при проектировании или при работе системы менеджмента риска эксплуатации угольной шахты (участка). Временные ряды $g_{cp}(k)$, $g_{+W}(k)$, $g_{-W}(k)$, $g_{min}(k)$, $g_{max}(k)$, $p_{C_{m.HП}^M}^M(k)$ могут быть подвергнуты анализу с целью прогнозирования соответствующих гистограмм на $(k+1)$, $(k+2)$, ... временных интервалах, что дает возможность на основе (4.40) прогнозировать вероятности возникновения взрывоопасной МВС и, следовательно, аэрологического риска. При решении такой задачи может быть применен богатый арсенал различных методов, которые описаны в работах [10, 12, 15, 45, 46, 58, 107, 116, 134, 143, 162, 186, 275-278, 280], а обеспечить возможность их реализации должно методическое, информационное и программное обеспечение МФСБ.

Полученные оценки вероятности возникновения взрывоопасной МВС должны использоваться в качестве характеристик инициирующих условий при количественном оценивании риска в (3.22).

Отметим, что обоснованный выбор пороговых уровней $C_{m.HП}^M$, которые должны определяться не только НД, но также содержанием и свойствами угольной пыли в месте ведения горных работ, состоянием средств пылеподавления, и допустимой вероятностью образования

взрывоопасной МВС $p_{m.П}^M$, представляет собой отдельную важную и актуальную задачу, но не является предметом рассмотрения в настоящей работе.

В [32, 33] рассмотрены возможности управления аэрологическим риском, как составной частью менеджмента риска, в очистном забое.

4.4 Метод построения упрощенных аэрогазодинамических моделей

В подразделах 3.1 и 4.2 показано, что методы контроля и прогноза рисков предусматривают использование аэрогазодинамических моделей. Современная точная математическая модель аэрогазодинамических процессов в вентиляционной сети выработок шахты [55, 56, 65, 137, 140, 163, 165, 188] основывается на предположениях об одномерном движении газа в прямолинейных выработках, полном и мгновенном перемешивании потоков в узлах сопряжения прямолинейных выработок. В моделях учитываются эффекты турбулентной вязкости, теплопроводности, естественной конвекции неизотермического газа при его движении в наклонных выработках, изменение температуры стенок при теплообмене, неоднородное распределение легких примесей в рудничной атмосфере и т. д. Процессы вентиляции определяются пространственной топологией выработок, расстановкой и режимами работы вентиляционного оборудования. Однако при рассмотрении методов аэрогазодинамических расчетов необходимо также учитывать, что при наличии МФСБ существует возможность значительно упростить аэрогазодинамические модели за счет того, что моделировать необходимо только участки горных выработок между датчиками аэрологического состояния: скорости движения воздушного потока, метана, оксида углерода, абсолютного давления и пр. При этом из-за того, что аэрогазодинамические процессы контролируются в местах ведения горных работ, которые оборудованы средствами АГК, то протяженность типовых групп горных выработок, моделирование которых необходимо, не превышает 1-3 км в зависимости от их типа. С учетом этого нами разработаны [225]: математическое описание горных выработок и их типовых соединений в виде систем интегро-дифференциальных (разностных) и алгебраических уравнений; методика построения динамических уравнений газового баланса для группы горных выработок, на входах и выходах которых контролируются расходы воздуха и содержания газов. В рамках разработанной аэрогазодинамической модели используются следующие условия, соглашения и допущения: 1) воздух является несжимаемым; 2) площадь сечения выработки является неизменной для участка горной выработки между точками контроля; 3) неконтролируемое изменение расхода воздуха от утечек и подсосов не учитывается; 4) про-

цессы перемешивания ГС описываются для участка длиной l , м, передаточной функцией вида $W(s) = (T_c s + 1)^{-1}$, где T_c – постоянная времени смешивания, с; s – оператор Лапласа, а перемешивание в горной выработке длиной L – передаточной функцией $W(s)^n$; $n = \text{Ceil}(L/l)$, Ceil – функция математического округления; 5) процессы перемещения ГС описываются передаточной функцией $V(s) = \exp(-\tau(t)s)$, где $\tau(t)$ – время транспортного запаздывания, $\tau(t) = L/v(t)$, которое зависит от скорости движения ГС $v(t)$, м/с. С учетом этих предположений участок горной выработки описывается передаточной функцией

$$G(s) = \frac{Q_{\text{ВЫХ}}}{Q_{\text{ВХ}}} = \frac{k}{(T_c s + 1)^n} \exp(-\tau(t)s), \quad (4.41)$$

где $Q_{\text{ВЫХ}}$, $Q_{\text{ВХ}}$ – расходы ГС в начале и конце горной выработки соответственно, м³/мин, при этом расход и скорость движения ГС связаны выражением $Q(t) = 60Sv(t)$, где S – площадь сечения выработки, м²; k – коэффициент передачи, с помощью которого могут учитываться утечки и притоки ГС, при отсутствии которых $k = 1$.

Таким образом, для построения упрощенной аэрогазодинамической модели горной выработки на основе уравнений (4.41) необходимо определить значения T_c и l . Поскольку структура модели определена в (4.41) и содержания компонентов ГС и скорости ее движения могут быть измерены, то задача построения модели может быть сведена к параметрической идентификации, которая может быть пассивной, основанной на обработке данных, собираемых в нормальном режиме работы, и активной, предусматривающей специально организованные тестовые воздействия на объект идентификации. Особенность идентифицируемого объекта заключается в том, что контролируемые компоненты ГС в нормальных условиях функционирования шахты отсутствуют, незначительны или изменяются в недостаточной мере для применения методов пассивной идентификации: частотного, спектрального, корреляционного анализа и т. п., по этим причинам безальтернативной является активная идентификация. Автором предложено в качестве тестового воздействия использовать изменение содержания оксида углерода в рудничной атмосфере, что технически реализуется путем контролируемого и управляемого выпуска в рудничную атмосферу оксида углерода с последующим аэрологическим контролем его распространения по ходу движения воздушного потока по горным выработкам. Типовыми тестовыми сигналами являются синусоидальный, ступенчатый и импульсный. Так как источником оксида углерода может быть только баллон с оксидом углерода ограниченного объема, оборудованный манометром, редуктором и ротаметром, то неизбежно использование в качестве тестового воздействия газовых импульсов прямо-

угольной или близкой к ней формы. Ограничения на параметры таких газовых импульсов сформулированы на основе гигиенических норм [204]: для оксида углерода установлена ПДК 17 млн⁻¹; при длительности работы не более 1 ч в атмосфере, содержащей оксид углерода, ПДК может быть повышена до 42,5 млн⁻¹; при длительности работы не более 30 мин – до 85 млн⁻¹; при длительности работы не более 15 мин – 170 млн⁻¹. Установившееся значение содержание оксида углерода не должно превышать верхнюю границу диапазона измерения, которая обычно составляет 3×ПДК или 50 млн⁻¹. Длительность газового импульса определяются по формуле $T_{CO} = 10 V_{CO.B} P_{CO.B} C_{CO.B} / Q_B C_{CO}$, где C_{CO} – установившееся амплитудное значение газового импульса, млн⁻¹; Q_B – расход воздуха в горной выработке, м³/мин; $V_{CO.B}$ – объемом газового баллона с оксидом углерода, л; $C_{CO.B}$ – содержание оксида углерода в баллоне, % об. долей; $P_{CO.B}$ – давление, под которым находится ГС в баллоне, атм., а необходимый для генерации газового импульса расход из баллона, контролируемый по ротаметру, определяется по формуле $Q_{CO.B} = 0,1 Q_B C_{CO} / C_{CO.B}$. Из этих выражений следует, что целесообразно применять ГС с максимально возможным содержанием оксида углерода (около 98 % об.) и давлением (около 80 атм.), а с учетом того, что в шахтных условиях удобно использовать 2-х и 5-литровые баллоны, то следует использовать ротаметр с верхней границей диапазона регулирования не менее 70 л/мин.

Верификация идентифицированной модели производится путем сравнения реального выхода объекта и вычисляемого на модели при подаче одинакового входного воздействия, при этом задача идентификации формулируется как оптимизационная. Далее приведены результаты верификации. На Рисунке 4.8 приведены фрагмент вентиляционной схемы с местом проведения шахтных экспериментов и алгоритмическая схема математической модели. В качестве примера рассмотрим осуществленные эксперименты по определению параметров упрощенной модели аэрогазодинамики части главного конвейерного штрека (Рисунок 4.8, а). Тестовый газовый импульс формируется в точке 6 с расходом Q_{CO6} , реакция на этот импульс фиксируется датчиками оксида углерода поз. 4-1 ($C_{CO4}, C_{CO3}, C_{CO2}$ и C_{CO1} по порядку движения воздушной струи), при этом расход воздуха контролируется с помощью датчика скорости движения воздуха в поз. 5 (V_5). Для рассматриваемого участка горной выработки разработана алгоритмическая структура математической модели (Рисунок 4.8, б), в которой алгоритмические блоки $G_{6-4}, G_{4-3}, G_{3-2}, G_{2-1}$ (индекс соответствует участку между точками с позициями Рисунка 4.8, а) описываются уравнениями:

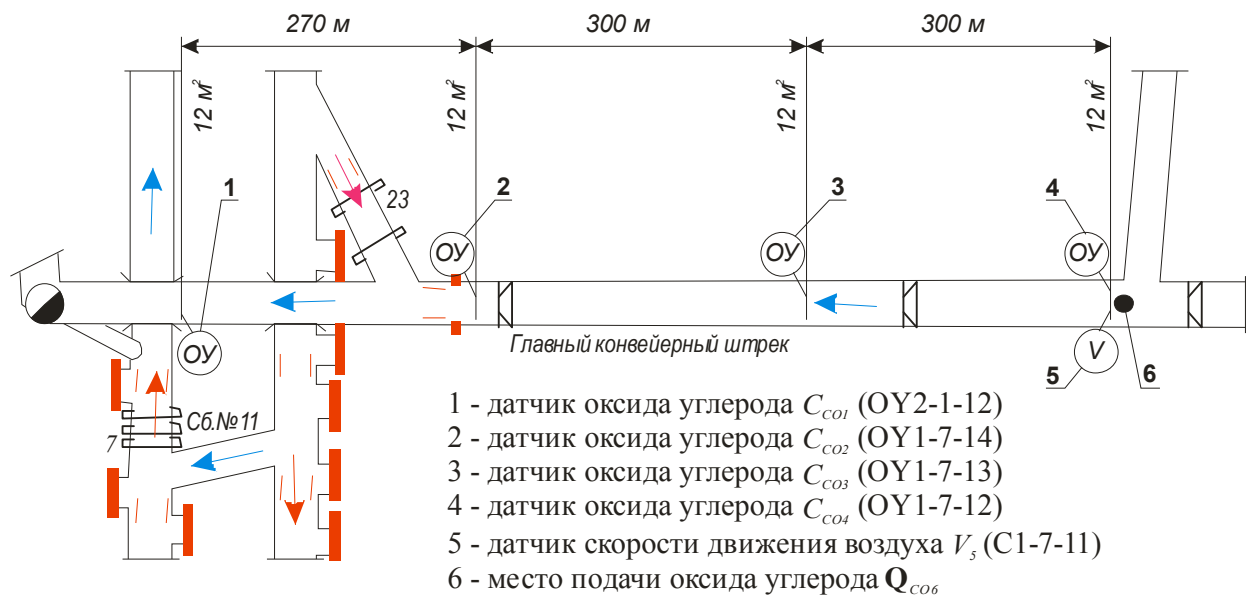
$$Q_{BbLX}^r = G(s)(Q_{BX1}^r + Q_{BX2}^r); \quad (4.42)$$

$$Q_{ВЫХ}^{CO} = G(s)(Q_{ВХ1}^{CO} + Q_{ВХ2}^{CO}); \quad (4.43)$$

$$C_{СОМ} = W_{Д}(s)(10^6 Q_{ВЫХ}^{CO} / Q_{ВЫХ}^Г), \quad (4.44)$$

где каждый алгоритмический блок имеет два входа, на которые подаются векторы $[Q_{ВХj}^Г, Q_{ВХj}^{CO}]$, и два выхода: $[Q_{ВЫХ}^Г, Q_{ВЫХ}^{CO}]$ и $C_{СОjM}$, где $Q_{ВХj}^Г$, $Q_{ВХj}^{CO}$, $Q_{ВЫХ}^Г$, $Q_{ВЫХ}^{CO}$ – расходы ГС и оксида углерода на j -м входе и выходе соответственно, м³/мин; $C_{СОjM}$ – содержание оксида углерода по показаниям датчика, млн⁻¹.

а



б

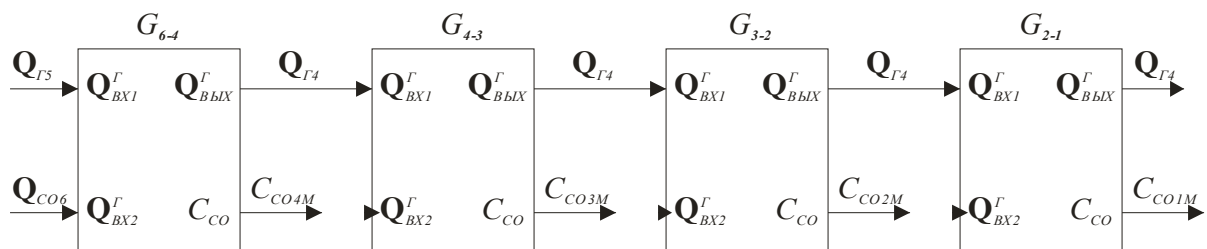


Рисунок 4.8 – Фрагмент вентиляционной схемы с местом проведения шахтных экспериментов (*а*) и алгоритмическая схема имитационной модели (*б*)

С учетом (4.41):

$$G(s) = (T_c s + 1)^{-L/l} \exp(-\tau(t) s); \quad (4.45)$$

$$\tau(t) = 60SL(Q_{ВХ1}^Г(t) + Q_{ВХ2}^Г(t))^{-1}; \quad (4.46)$$

$$W_D(s) = k_D (T_D s + 1)^{-1}, \quad (4.47)$$

где k_D и T_D – градуировочный коэффициент (при правильной градуировке $k_D = 1$) и постоянная времени датчика оксида углерода соответственно. Постоянная времени T_D может быть вычислена по времени установления T_{90} , которое является одной из нормируемых метрологических характеристик, приводимых в описании типа средства измерения. Для описываемых экспериментов: $\mathbf{Q}_{r5} = [60S_5v_5(t), 0]$; $\mathbf{Q}_{CO6} = [0, Q_{CO.B}(t)]$; $S_5 = 12 \text{ м}^2$; $T_D \approx T_{90} / 3 = 10 \text{ с}$, где $T_{90} = 30 \text{ с}$.

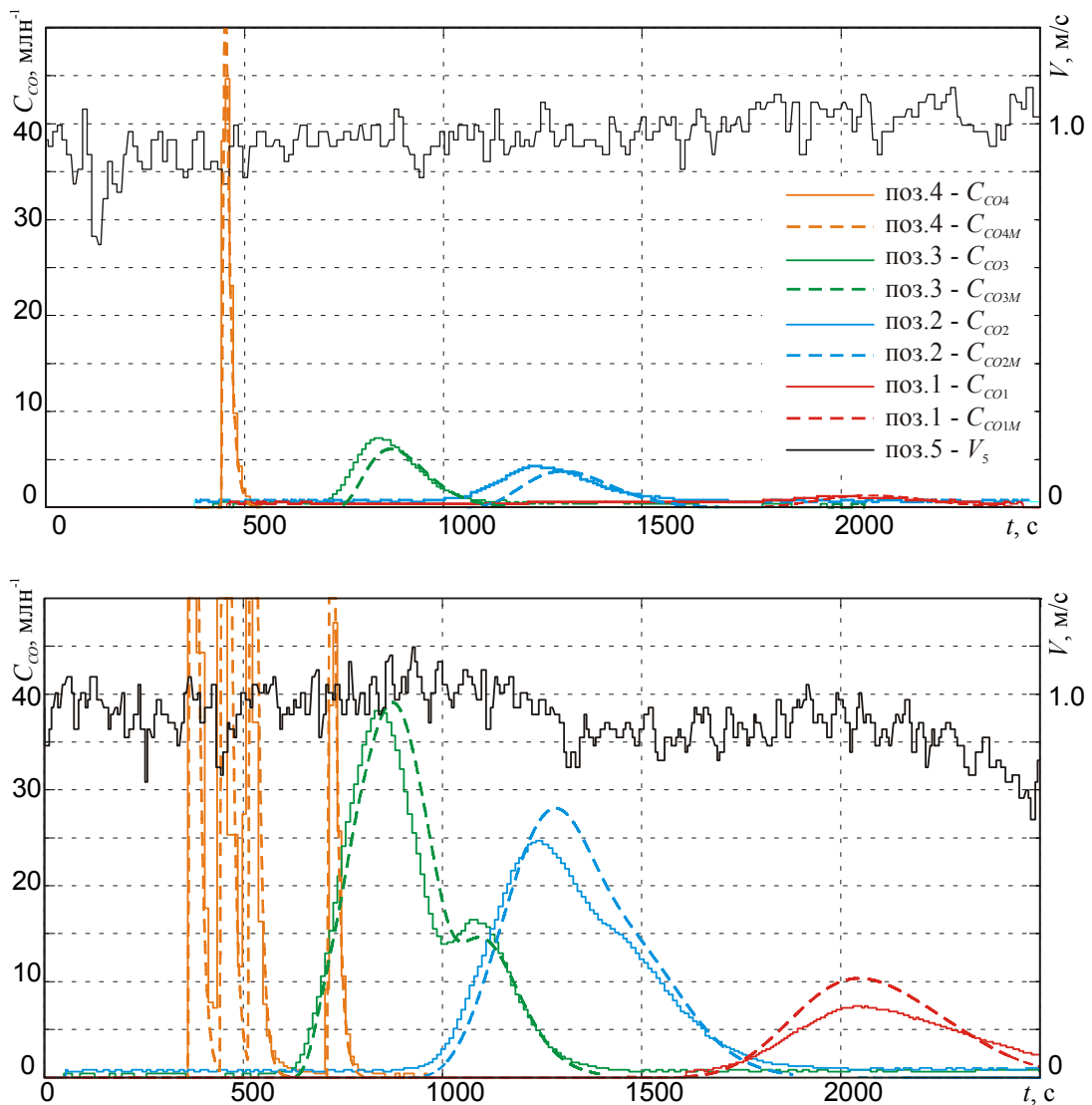


Рисунок 4.9 – Результаты экспериментов в шахте и численных экспериментов на имитационной модели

На основе функциональной структуры (Рисунок 4.8, б) и уравнений (4.42)-(4.47) разработана упрощенная имитационная аэрогазодинамическая модель рассматриваемой части главного конвейерного штрека, в которой расчет времени перемещения ГС между поз. 1-5 проводится на основе результатов измерения скорости движения воздуха $v_5(t)$. Разработанная модель использована для идентификации параметров передаточных функций (4.45), которая проводилась путем вычислительных экспериментов на имитационной модели и в ходе которой с использованием критерия $J = \sum_{i=1..4} \int |C_{COi} - C_{COiM}| dt \rightarrow \min$ определены следующие оптимальные значения идентифицируемых параметров: $l = 44$ м, $T_C = 36$ с. С учетом этого передаточная функция (4.45) для j -го участка моделируемой горной выработки длиной L_j с учетом $n_j = \text{Ceil}(L_j / 44)$ примет вид

$$G_j(s) = (36s + 1)^{-n_j} \exp(-L_j s / v_j(t)), \quad (4.48)$$

где $v_j(t)$ – текущее значение скорости воздуха в начале участка. Для полученной модели получены переходные процессы, которые на Рисунке 4.9 показаны пунктирными цветными линиями (C_{CO4M} , C_{CO3M} , C_{CO2M} , C_{CO1M}). Сравнение переходных процессов, полученных в ходе шахтных и вычислительных экспериментов (Рисунок 4.9), показывает, что предложенная упрощенная модель в рассматриваемых условиях с достаточным качеством описывает реальные процессы распространения ГС и изменения газового состава рудничной атмосферы в горной выработке. Различия между результатами шахтных и численных экспериментов объясняются различной калибровкой датчиков оксида углерода, отличием геометрии горных выработок, использованной при имитационном моделировании, от фактической и отсутствием учета утечек воздуха через вентиляционный шлюз 23 (Рисунок 4.8, а) и по другим каналам. Для исключения подобных проблем дополнен требованиями обязательной градуировки датчиков оксида углерода, кроме этого длительность газового импульса должна быть достаточной для появления на всех датчиках оксида углерода установившихся показаний.

Наличие переменной $v_j(t)$ делает функцию (4.48) нестационарной, что затрудняет моделирование, однако при допущении квазистационарности процессов воздухораспределения, что допустимо для рассматриваемых условий, передаточную функцию можно записать в виде $G_j(s) = (36s + 1)^{-n_j} \exp(-L_j s / v_{CP})$, где v_{CP} – постоянная, например, средняя скорость. Вычислительные эксперименты на стационарной модели показали, что качество моделирования практически не изменяется.

Отметим, что описываемый метод применим не только к горной выработке с единственными поступающей и исходящей струями, но и к горным участкам (совокупностям горных выработок) при наличии соответствующих датчиков, позволяющих контролировать параметры входящих и исходящих струй, что, в частности, позволит получить оценки аэрогазодинамических характеристик выработанного пространства и дегазационной системы, что важно при построении моделей очистных участков с газоправлением.

Повышение качества упрощенной аэрогазодинамической модели возможно путем учета в уравнениях газового баланса не мгновенных значений, что обеспечивается применением передаточной функции (4.48), а оценок количества ГС, прошедшей через соответствующие сечения (точки 1-6 на Рисунке 4.8) за определенные промежутки времени:

$$\int_T Q_{V3}(t)dt = \int_T G_{1-3}(Q_{V1}(t + \tau_1(t) + \tau_3(t)))dt + \int_T G_{2-3}(Q_{V2}(t + \tau_2(t) + \tau_3(t)))dt, \quad (4.49)$$

где T – время расчета, которое для оптимальных значений идентифицируемых параметров ($l = 44$ м, $T_C = 36$ с) может быть принято в диапазоне 500-1500 с. Такой учет аэрогазодинамики также целесообразен при проведении расчетов методами ЧВ анализа (подразделы 4.1 и 4.3).

4.5 Выводы

1 На основе анализа используемых методов вентиляционных расчетов установлено, что они могут не обеспечивать правильный расчет режимов проветривания и газоправления и предельных нагрузок технологического оборудования как основного необходимого условия обеспечения безопасных условий труда, так как не в полной мере учитывают случайный характер параметров аэрологического состояния.

2 Научно обосновано использование при проведении вентиляционных расчетов численно-вероятностных методов вычислений, которые на основе результатов измерения параметров природной и техногенной среды угольной шахты обеспечивают возможность получения достоверных оценок текущих статистических характеристик, недоступных прямому измерению параметров, характеризующих опасные и вредные производственные факторы. При этом обеспечивается учет вида и параметров функции плотности вероятности распределения случайных величин, характеризующих природную и техногенную среду в различных режимах функционирования за незначительные временные интервалы, обеспечивая опера-

тивность принятия мер по обеспечению безопасных условий труда.

3 Разработан метод оперативного обнаружения и определения местоположения пожаров на ранних стадиях возникновения, основанный на результатах контроля аэрологического состояния и использовании упрощенной аэрогазодинамической модели движения газовых смесей, который обеспечивает реализацию требований НД в части обнаружения пожаров в реальном масштабе времени и определение их местоположения с точностью до части горной выработки. Также разработаны: а) метод математического описания горных выработок и их типовых соединений применительно к движению по ним газовых смесей в виде систем операторных и алгебраических уравнений; б) методика построения динамических уравнений газового баланса для группы горных выработок, на входах и выходах которых контролируются расходы воздуха и содержания оксида углерода; в) алгоритмы, обеспечивающие обнаружение признаков пожаров на ранних стадиях, определение местоположения очагов пожаров и формирование индикаторов, характеризующих пожарную составляющую риска.

4 Разработан метод активной параметрической идентификации аэрогазодинамики части горных выработок для построения упрощенных аэрогазодинамических моделей путем изменения содержания оксида углерода в рудничной атмосфере, реализуемого за счет контролируемого и управляемого выпуска в рудничную атмосферу оксида углерода, с последующим контролем его распространения по ходу движения воздушного потока по горным выработкам и обработкой полученных результатов. Разработанный метод проверен в ходе шахтных и вычислительных экспериментов.

5 Разработка методического, технического, программного и метрологического обеспечения многофункциональной системы безопасности

5.1 Методы повышения функциональной надежности и информационной достоверности многофункциональной системы безопасности

Как было показано в разделе 2, снижение уровня риска деятельности работников и эксплуатации угольных шахт по аэрологическому фактору, который является основоопределяющим для повышения уровня ОТ и ПБ, достигается в том числе за счет применения высоконадежных средств АГК и АГЗ (АГК-АГЗ) в составе МФСБ. Для этого необходимо повышать надежность и обеспечивать глубокую диагностику датчиков, ПУ (ПЛК), источников питания, линий питания и связи, наземного ПТК, инженерного оборудования и средств технического обслуживания, проверки и поверки, персонала. Один из путей обеспечения надежности связан с мониторингом параметров работы и состояния элементов АГК-АГЗ, осуществляемым постоянно соответствующими шахтными службами и периодически службами угольной компании, надзорными и контролирующими органами. Выявление эффективных путей снижения уровня аэрологического риска базируется на анализе применения и обслуживания систем АГК-АГЗ. В Таблице Б.1 Приложения Б на основе 20-летнего опыта эксплуатации систем АГК производства ООО «ИНГОРТЕХ» приведен перечень возможных опасных ситуаций, процессов и явлений, связанных с применением и обслуживанием любых подобных систем, в таблице Б.2 Приложения Б перечислены основные способы воздействия на шахтные газоанализаторы и применяемые методы защиты.

Основная особенность эксплуатации шахтных метанометров (газоанализаторов) заключается в том, что они подвергаются калибровке работниками шахты на месте установки в межповерочный период, при этом межкалибровочный период может составлять от нескольких суток до нескольких месяцев. Это связано с тем, что не существует метанометров, принцип измерения которых обеспечивает сохранение метрологических характеристик в течение межповерочного интервала, что делает невозможным исключение работников шахты из процедур технического обслуживания систем АГК-АГЗ. Основным источником угроз для функциональной надежности средств контроля параметров природной и техногенной среды является «человеческий фактор». Трудно или невозможно обнаруживать и нейтрализовать действия, осуществляемые по сговору работников и руководителей служб, осуществляющих

обслуживание, эксплуатацию и внутренний аудит систем АГК-АГЗ.

Среди наиболее опасных воздействий на метанометры, приводящих к отказу срабатывания АГЗ (системы безопасности) в предписанных условиях, можно выделить: а) оперативные, позволяющие быстро и без использования специальных средств осуществить и быстро восстановить нормальное состояние метанометра (пункты 1-3 Таблицы Б.2 Приложения Б); б) длительные, которые осуществляются с помощью специальных средств и действие которых не может быть быстро прекращено (пункты 3-7 Таблицы Б.2 Приложения Б).

При разработке методов повышения функциональной надежности и информационной достоверности элементов системы АГК-АГЗ могут преследоваться различные цели: выявление факта вмешательства и противодействие вмешательству в работу элементов. При выявлении факта вмешательства могут выполняться: 1) фиксация факта и информирование операторов и диспетчеров, руководителей, специалистов, надзорных органов о выявленных воздействиях; 2) противоаварийное управление – отключение электроснабжения на защищаемом участке; 3) автоматическое восстановление нормальной работоспособности.

Методы повышения функциональной надежности и информационной достоверности элементов системы АГК-АГЗ можно разделить: а) по виду на: 1) технические, подразумевающие разработку технических требований, их реализацию в системах АГК-АГЗ, введение в действие соответствующих НД; 2) информационные, которые на основе развитых методов обработки данных позволяют оценивать текущее техническое состояние, функциональную надежность и информационную достоверность систем АГК-АГЗ; 3) организационные, обеспечивающие контролируемость, управляемость и документированность процессов жизненного цикла систем АГК-АГЗ; б) по способу реализации на: 1) внутренние, реализуемые внутри этого контролируемого элемента; 2) внешние, реализуемые в рамках системы более высокого уровня – АГК-АГЗ или МФСБ.

Еще одной особенностью работы систем АГК-АГЗ и других подсистем МФСБ является отсутствие точной синхронизации по времени, что снижает информационную достоверность и делает затруднительным объективный анализ причинно-следственных связей при расследовании инцидентов и аварий.

В Таблице Б.3 Приложения Б на примере метанометров рассмотрены способы воздействия на датчики АГК-АГЗ и варианты противодействия, что позволяет сделать следующие замечания и выводы: 1) встраивание в газоанализаторы акселерометра, магнитометра, гироскопа, датчиков освещенности, RFID-меток и пр. не обеспечивает гарантированного выявления действий, совершаемых с датчиком; 2) для выявления перемещения измерительной головки, компенсации влияния давления на результаты измерения и обеспечения непрерывной депрессионной съемки целесообразно встраивать в датчики высокочувствительные первич-

ные измерительные преобразователи (ПИП) барометрического давления; 3) для обеспечения автоматического контроля положения датчиков в горных выработках для реализации требований [201, 207] датчики целесообразно оборудовать радиоблоками эксплуатируемых на шахте СН; 4) неизбежной является реализация цифрового интерфейса в датчиках; 5) необходимо оборудование датчиков внутренней памятью значительного объема для реализации функции регистратора аэрогазового состояния (РАГС), в котором должна храниться информация о действиях с датчиками и результаты измерений; 6) большинство задач выявления воздействий на датчики могут быть реализованы с помощью внешних средств и ПО МФСБ.

В перечень внешних средств, которые могут применяться для действий, совершаемых с датчиками метана, входят: 1) другие элементы системы АГК-АГЗ и переносные газоанализаторы (в том числе в головных светильниках), которые позволяют собирать данные, на основе комплексной обработки которых могут быть сделаны выводы о функционировании датчиков АГК и достоверности результатов измерения; 2) СН: так как в состав индивидуального оснащения работников входят радиометки, обеспечивающие их технологическое позиционирование, то возможен контроль нахождения работников около газоанализаторов, также оснащенных соответствующими радиометками. Если ошибка наблюдения СН не превышает $\pm(3-5)$ м относительно пикетов [59, 62, 180, 271], то интеграция систем АГК-АГЗ и СН обеспечивает возможность: определения положения газоанализатора в горной выработке и оценки соответствия требованиям [207]; автоматического задания величины предаварийного порогового уровня в соответствии с требованиями [207]; фиксации нахождения работников и газоанализаторов и их идентификации.

Анализ применения внешних средств контроля систем АГК-АГЗ и их элементов позволяет сделать следующие выводы: 1) использование внешних технических средств и систем обеспечивает решение задач обнаружения воздействия разного рода на датчики метана; 2) задачи совместного использования технических средств системы АГК-АГЗ и других подсистем МФСБ подразумевают применение специального информационного и программного обеспечения для комплексной обработки разнородной информации в МФСБ.

Информационное обеспечение и внешние программные средства являются единственным средством интеграции данных от подсистем МФСБ: АГК-АГЗ, индивидуальных газоанализаторов, СН, АСУ и пр. и позволяют проводить апостериорный анализ данных (далее следует описание применительно к метанометру, которое может быть распространено на датчики других параметров аэрологического состояния): а) анализ данных от одного метанометра. Целью такого анализа является выявление изменений характеристик временной последовательности результатов измерений, рассматриваемой как случайный процесс F , на основе статистического, частотного, функционального, корреляционного, вейвлет и т. д. ана-

лиза [61 и др.], в том числе применительно к рассматриваемым задачам [54, 152]. Анализ должен проводиться на разных временных периодах и учитывать результаты подобного анализа для данной точки контроля и метанометра за прошлые периоды с учетом режимов работы предприятия. Каждая точка контроля характеризуется совокупностью параметров, которые в нормальных условиях для одного технологического режима не могут резко изменяться, например, содержание метана характеризуется типом распределения и его параметрами – моментами или гистограммой и ее характеристиками (подраздел 4.3). Выявление изменений различных характеристик измерительных сигналов, причиной чего могут быть реальные аэрологические, газо-геодинамические, технологические процессы и изменение характеристик метанометра (например, его физической замены, перемещения, воздействия на него), является сигналом, при получении которого должна начинаться более углубленная проверка; б) совместный анализ данных от газоанализаторов и анемометров одного горного участка, целью которого является выявление отклонений от модели массопереноса, которая описывает аэрологические процессы на контролируемом участке, в том числе на основе упрощенных аэрогазодинамических моделей (подраздел 4.2); в) совместный анализ данных от метанометров и АСУ ТП одного горного участка с целью выявления отклонений от эталонной модели, связывающей параметры ТО и аэрологических процессов [152]; г) совместный анализ данных от стационарных датчиков АГК-АГЗ и индивидуальных газоанализаторов. Цель такого анализа – обеспечение функциональной надежности и достоверности информации об аэрологическом состоянии шахты на основе выявления несоответствия различных характеристик соответствующих аэрологических параметров.

Автором предложено для совместного анализа данных сравнивать гистограммы измерений стационарных и переносных газоанализаторов. Для i -го стационарного газоанализатора (верхний индекс « s ») апостериорно (на основе данных, получаемых из БД) для расчетного периода времени T_p и зоны наблюдения Z рассчитывается гистограмма $g_i^s(C_Z^{par}) = \{g_{i1}^s(C_Z^{par}), \dots, g_{ij}^s(C_Z^{par}), \dots, g_{in}^s(C_Z^{par})\}$, где par – измеряемый параметр (метан, оксид и диоксид углерода, кислород); $g_{ij}^s(C_Z^{par}) = T_p^{-1} \sum_{T_p} \Delta t(C_Z^{par} \in [C_j^{par}, C_{j+1}^{par}])$, $\sum \Delta t(C_Z^{par} \in [C_j^{par}, C_{j+1}^{par}])$ – суммарное время, в течение которого для измеряемого параметра непрерывно выполнялось утверждение $C_Z^{par} \in [C_j^{par}, C_{j+1}^{par}[$, C_j^{par} и C_{j+1}^{par} – границы j -го поддиапазона, n – количество поддиапазонов в диапазоне изменения C_Z^{par} . Газоанализаторы генерируют большой поток данных. Если для стационарных газоанализаторов получение непрерывного информационного потока и его обработку обеспечивает наземный ПТК, а хранение – СУБД, то для индивидуальных обычно отсутствуют каналы связи, обеспечивающие

непрерывную передачу данных в МФСБ, а возможность локального хранения временных рядов результатов измерений в газоанализаторах ограничена. Это делает рациональным применение гистограмм и их расчет непосредственно в индивидуальных газоанализаторах. Для i -го индивидуального газоанализатора (верхний индекс « n ») непрерывно для времени нахождения T_Z в зоне наблюдения Z рассчитывается гистограмма $\mathbf{g}_i^p(C_{ZT_Z}^{par}) = \{g_{i1}^p(C_{ZT_Z}^{par}), \dots, g_{ij}^p(C_{ZT_Z}^{par}), \dots, g_{in}^p(C_{ZT_Z}^{par})\}$, где $g_{ij}^p(C_{ZT_Z}^{par}) = T_Z^{-1} \sum_{T_Z} \Delta t (C_Z^{par} \in [C_j^{par}, C_{j+1}^{par}])$ на основе непрерывной проверки истинности утверждения $C_Z^{par} \in [C_j^{par}, C_{j+1}^{par}]$. К зоне наблюдения необходимо отнести все переносные газоанализаторы, находящиеся в ней в течение расчетного периода времени T_p , при этом каждая гистограмма дополняется идентификатором зоны Z и временного промежутка нахождения в ней. Сравнительному анализу подвергаются суммы гистограмм отдельных стационарных и индивидуальных газоанализаторов, рассчитанные для зоны наблюдения Z и времени сравнения T_c , при этом предлагается использовать следующий алгоритм: 1) задается промежуток времени T_p ; 2) определяется множество индивидуальных газоанализаторов \mathbf{N} для зоны Z и времени T_p , от которых получены данные: $\mathbf{N} = \{n_1, \dots, n_j, \dots, n_n\}$, где n – мощность множества; 3) определяется новый расчетный интервал времени: $T = \bigcup_{j=1}^n T_{Z_j}$, где T_{Z_j} – промежуток времени, в течение которого j -й индивидуальный газоанализатор находился в зоне Z , $\forall j, T_{Z_j} \subseteq T$ и $T_p \subseteq T$; 4) определяется множество стационарных газоанализаторов \mathbf{M} (мощностью m) в зоне Z в течение T : $\mathbf{M} = \{m_1, \dots, m_j, \dots, m_m\}$; 5) вычисляются суммарные усредненные гистограммы для индивидуальных $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^p = \{g_1^p, \dots, g_i^p, \dots, g_n^p\} = \text{Norm} \left(\sum_{i=1}^n \mathbf{g}_i^p(C_{ZT_Z}^{par}), \mathbf{C} \right)$ и стационарных газоанализаторов $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^s = \{g_1^s, \dots, g_i^s, \dots, g_m^s\} = \text{Norm} \left(\sum_{i=1}^m \mathbf{g}_i^s(C_{ZT}^{par}), \mathbf{C} \right)$, где $g_i^p = g_i^p(x \in [C_i^{par}, C_{i+1}^{par}])$ и $g_i^s = g_i^s(x \in [C_i^{par}, C_{i+1}^{par}])$ – высота бинов соответственно для индивидуальных и стационарных газоанализаторов или суммарное время, в течение которого для C^{par} удовлетворяется условие $C_i^{par} \leq C^{par} < C_{i+1}^{par}$, C_i^{par} и C_{i+1}^{par} – границы i -го поддиапазона; n – число бинов или количество поддиапазонов в диапазоне изменения C^{par} ; Norm – функция нормирования гистограммы на сетке аргументов \mathbf{C} (приведения площади гистограммы к 1), что позволяет рассматривать гистограмму как приближение к функции ПРВ, $\mathbf{C} = \{C_1^{par}, \dots, C_i^{par}, \dots, C_{n+1}^{par}\}$, где $\forall i, C_i < C_{i+1}$.

Поскольку гистограммы $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^s$ и $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^p$ получены для одного потока событий $F1$ (аэрологическое состояние в одной зоне Z в течение одного временного интервала T), то возможно их сравнение по разным характеристикам, вычисляемым на основе суммарных усредненных гистограмм. Некоторые подходы к решению задачи сравнения гистограмм рассмотрены в работах [41, 159, 191]: а) большинство методов основано на оценке «расстояний между гистограммами», в качестве которого, например, для одномерной статистики, можно

применить метод χ^2 : $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i^s}{N_s} - \frac{g_i^p}{N_p} \right)^2 \left(\frac{g_i^s}{N_s^2} + \frac{g_i^p}{N_p^2} \right)^{-1} = \sum_{i=1}^n \tilde{S}_i^2$, где N_s и N_p – количе-

ства измерений, использованных для гистограмм $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^s$ и $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^p$ соответственно; \tilde{S}_i для пуассоновского потока событий F можно интерпретировать как «нормализованную значимость различий» между значениями i -х бинов в гистограммах $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^s$ и $\mathbf{g}_{\Sigma Z T}^p$. Чем больше χ^2 , тем менее схожи гистограммы; б) если поток событий F соответствуют нормальному

распределению, то тогда для показателя $SRMS = (\bar{S}, RMS)$, где $\bar{S} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \tilde{S}_i$ и

$RMS = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (\tilde{S}_i - \bar{S})^2}$: если $SRMS = (0,0)$, то гистограммы идентичны; если $SRMS \approx (0,1)$,

то гистограммы могли быть получены для одного потока событий, а степень их схожести определяется показателем RMS ; иначе гистограммы не соответствуют друг другу, т. е. характеризуют различные потоки событий; в) использование корреляционного метода основано

на оценке вида: $\Delta_1(\mathbf{g}^s, \mathbf{g}^p) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i^s - \bar{g}^s}{N_s} \times \frac{g_i^p - \bar{g}^p}{N_p} \right) \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i^s - \bar{g}^s}{N_s} \right)^2 \left(\frac{g_i^p - \bar{g}^p}{N_p} \right)^2}$, $\Delta_1 \in [-1,1]$,

где -1 и 1 означают максимальные соответствия, 0 – отсутствие такового; г) можно оценивать:

метрику хи-квадрат: $\Delta_2(\mathbf{g}^s, \mathbf{g}^p) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i^s}{N_s} - \frac{g_i^p}{N_p} \right)^2 \left(\frac{g_i^p}{N_s} \right)^{-1}$, $\Delta_2 \in [0, \infty[$, где 0 означает мак-

симальное соответствие; пересечение гистограмм: $\Delta_3(\mathbf{g}^s, \mathbf{g}^p) = \sum_{i=1}^n \min(g_i^s, g_i^p)$, $\Delta_3 \in [0,1]$,

где 0 и 1 характеризуют максимальные соответствия; расстояние Бхатачария:

$\Delta_4(\mathbf{g}^s, \mathbf{g}^p) = \sqrt{1 - \sum_{i=1}^n \left(\sqrt{\frac{g_i^s}{N_s} \frac{g_i^p}{N_p}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{g_i^s}{N_s} \sum_{i=1}^n \frac{g_i^p}{N_p}} \right)}$, $\Delta_4 \in [0,1]$, где 0 и 1 также означают макси-

мальные соответствия; меру Хэмминга: $\Delta_5(\mathbf{g}^s, \mathbf{g}^p) = \sum_{i=1}^n |g_i^s - g_i^p|$ и пр. Полученные оценки

«расстояний между гистограммами» можно сравнивать с их максимальными допустимыми

значениями: $\Delta_j(\mathbf{g}^s, \mathbf{g}^p) > \Delta_j^{POP}$, $j = 1, \dots, 5$. При этом центральной задачей является определение максимальных допустимых «расстояний между гистограммами», которые характеризуют единственный поток событий F . Рассматриваемая задача сравнения гистограмм осложнена тем, что измерения, характеризующие поток событий F в зоне наблюдения, в общем случае осуществляются в различных точках и моментах времени и в различных технологических режимах. Это делает затруднительным за ограниченные промежутки времени (это требование определено задачей оперативного выявления воздействий на газоанализаторы) получение оценок на основе классических статистических методов, так как горно-геологические и горно-технологические условия решающим образом влияют на возможность получения независимых данных, соотнесения результатов измерений с известными распределениями и определения параметров этих распределений, по этой причине максимальные допустимые значения для χ^2 , RMS , $\Delta_j(\mathbf{g}^s, \mathbf{g}^p)$ могут быть определены только на реальных данных. Предлагаемый подход не исключает возможность традиционного сравнения гистограмм – по: средним квадратичным отклонениям, коэффициентам и размахам вариации; моментам; асимметриям, эксцессам, квантилям, квартилям и перцентилям и пр. Комплексное применение перечисленных способов анализа данных способно обеспечить выявления вмешательства в работу индивидуальных и стационарных метанометров (газоанализаторов), которые перечислены в Таблицах Б.2, Б.3 Приложения Б.

Еще одной проблемой, которая должна быть разрешена на полевом и контроллерном уровнях, является временная синхронизация источников информации, что особенно важно для сравнения зависимых данных, получаемых из разных источников, например, при расследовании аварий и инцидентов. В настоящее время временные метки присваиваются данным не в момент проведения измерения, а в момент их регистрации на компьютерной технике, для которой выполнено требование временной синхронизации – обычно в ЦЭВМ наземного ПТК. Так как системы передачи информации характеризуются случайными временными задержками, то и временные метки, присваиваемые данным перед записью в БД, не являются точными и могут отличаться от действительного момента проведения измерений на десятки секунд. Для решения задачи синхронизации времени измерений автором предложено использовать системы оповещения об аварии (СОА), использующие низкочастотные электромагнитные волны, обеспечивающие одновременную передачу сигнала оповещения через толщу горных пород в масштабах всей шахты на соответствующие радиоблоки, встраиваемые в устройства полевого и контроллерного уровней. При этом для синхронизации времени необходимо использовать специальный сигнал оповещения, который будет обеспечивать установку времени с погрешностью ± 1 с и осуществляться не реже 1 раза в смену.

5.2 Концептуальная модель стационарного устройства контроля параметров аэрологического состояния с повышенной функциональной надежностью и информационной достоверностью

Стационарные устройства аэрологического контроля должны разрабатываться таким образом, чтобы минимизировать влияния на них различных воздействий, условий эксплуатации, разумно предсказуемого неправильного использования и пр. Автором предложена концепция построения и эксплуатации устройства аэрологического контроля повышенной функциональной надежности и информационной достоверности, которая подразумевает совместное использование комплекса, состоящего из: 1) стационарного устройства аэрологического контроля, имеющего высокую степень информационной интеграции с различными подсистемами МФСБ, с выносным пультом; 2) средств автоматизированной калибровки, которые в совокупности позволяют эффективно противодействовать выявленным типичным воздействиям на стационарные газоанализаторы и другие средства контроля аэрологического состояния [27]. Обобщенная структура концептуальной модели устройства аэрологического контроля приведена на Рисунке 5.1, здесь: TE, PE и QE – преобразователи температуры, давления и количества соответственно; MCU – микропроцессор; FLASH – энергонезависимая память; Fia – искробезопасный, ДИСП – дисплей; PCOA – радиointерфейс с системой оповещения об аварии; РСЛП – радиointерфейс с системой локального поиска; РСН – радиointерфейс с системой наблюдения; РПП – радиointерфейс с переносным пультом; П – приборный интерфейс (разъем); ШПШ – шахтная полевая шина (клеммники); Р – релейный выход (клеммники); К – контрольная кнопка; ТК, IR и ЭХ – термокаталитический (термокондуктометрический), инфракрасный оптический и электрохимический чувствительные элементы соответственно). Стационарное устройство состоит из: 1) модуля индикации, фиксируемого на элементах крепи, энергопоезда, при этом конструкция модуля должна обеспечивать невозможность изменения его местоположения без специальных инструментов; 2) одного или нескольких выносных устройств (измерительные головки, модули сигнализации, ...), удаляемые на расстояние до 50 м от модуля индикации, конструкция которых обеспечивает возможность их перемещения в горной выработке (перенос при продвижении забоя и пр.); 3) переносного пульта, используемого для обслуживания, настройки, наладки и калибровки; 4) переносного аккумуляторного блока. Пределы основных и дополнительных погрешностей и время установления устройства определены в [74, 87, 196]; уровень и вид взрывозащиты и условия эксплуатации – в [74, 87, 196]; параметры надежности и функциональной безопасности – в [196].

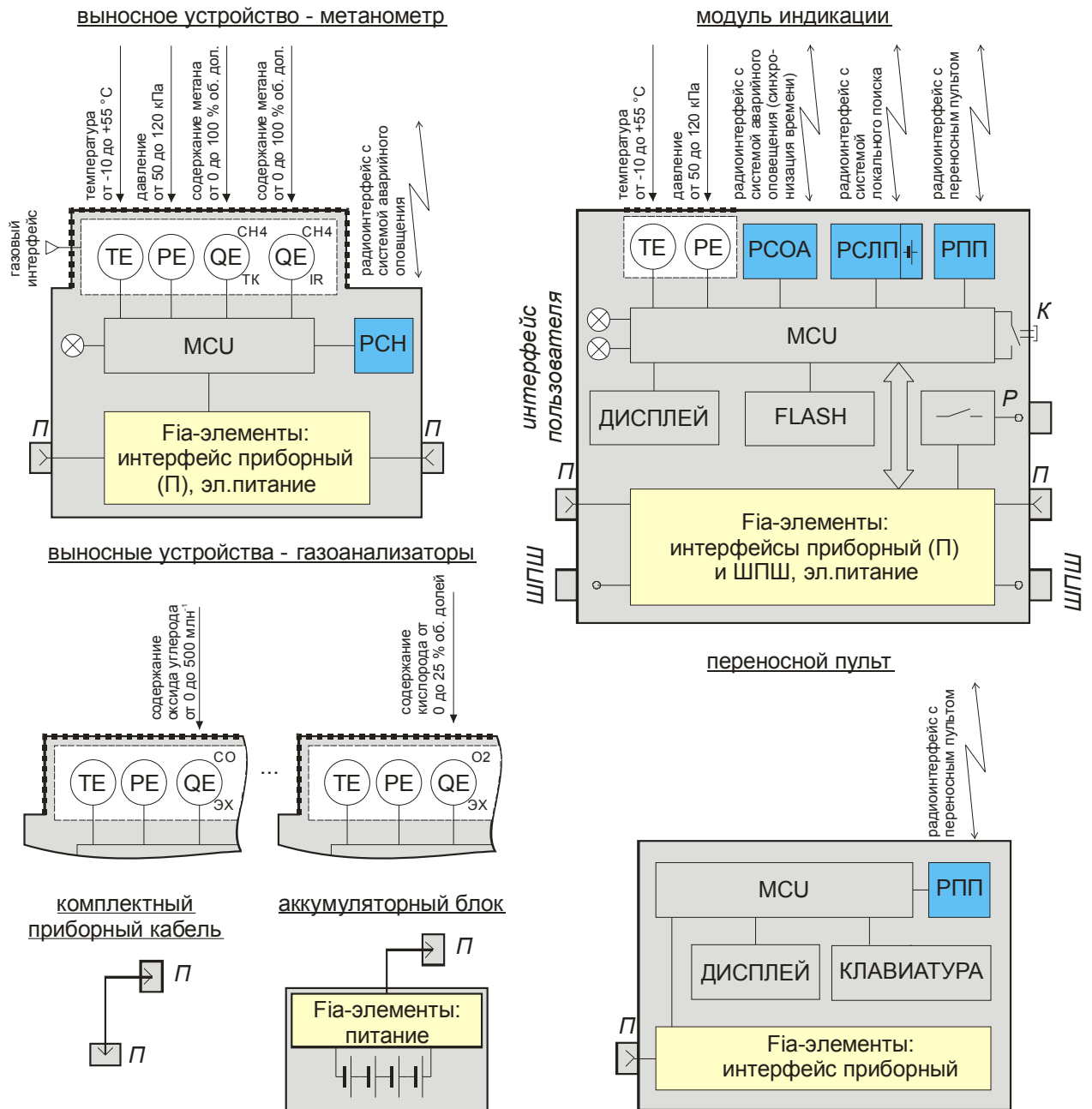


Рисунок 5.1 – Обобщенная структура стационарного устройства аэрологического контроля

Модуль индикации содержит датчики барометрического давления (диапазон измерения от 50 до 120 кПа и шире, предел основной абсолютной погрешности ± 150 Па) и температуры (диапазон измерения от -10 до +55 °С и шире, предел основной абсолютной погрешности ± 2 °С), оборудован средствами индикации и сигнализации, релейными выходами для коммутации искробезопасных цепей управления АЭ, радиометкой СЛП со встроенным аккумулятором малой емкости, радиоприемником СОА для синхронизации времени. Модуль индикации обеспечивает: радиоинтерфейс с переносным пультом и средствами автоматизированной калибровки, «транзит» кабелей, контрольную проверку функций безопасности,

информационное взаимодействие с наземным ПТК, с выносными и переносными устройствами и переносным пультом, с СОА (получение команд синхронизации времени и управления процессом записи в «черный ящик»); записывает результаты измерений, контроля технического состояния и действий персонала во внутреннюю энергонезависимую память («черный ящик») с метками времени и управлением от СОА; синхронизирует время по сигналу СОА; контролирует положение измерительной головки по высоте относительно модуля индикации; обрабатывает результаты измерений и других данных для формирования противоаварийного управления или ПАЗ по фиксированному алгоритму с настраиваемыми параметрами; диагностирует узлы, элементы и контролирует функционирование; осуществляет контрольную проверку функции безопасности.

Измерительные головки: содержат чувствительный элемент на соответствующий газ (другой контролируемый параметр, измерительные головки метанометров содержат не менее двух чувствительных элементов на разных физических принципах), датчики барометрического давления и температуры (по аналогии с модулем индикации), радиомодуль высокоточной СН и обеспечивают оценку расстояния до радиоустройств СН (ошибка наблюдения не более ± 5 м); обеспечивают сигнализацию, связь с модулем индикации, защиту чувствительных элементов от пыли, капельной влаги, влажности и механического воздействия и высокую скорость газообмена; имеют пневматические интерфейсы для газовых смесей; осуществляют компенсацию влияния температуры и давления на результаты измерений; определяют остаточный ресурс чувствительных элементов; обеспечивают настройку алгоритмов измерения по командам в процессе калибровки; поддерживают процессы поверки и калибровки и формирует сигналы о необходимости их проведения; обеспечивает глубокую диагностику узлов, элементов и текущий контроль функционирования. Для резервированных чувствительных элементов на метан обеспечивается: формирование результата измерения с высокой информационной достоверностью, сигналов противоаварийного управления и ПАЗ, перекрестная автокалибровка измерительных трактов на основе обработки данных от нескольких чувствительных элементов,

Переносной пульт обеспечивает: непрерывную работу свою и автоматизированного калибровочного устройства в течение одной рабочей смены; связь с модулем индикации и автоматизированными средствами калибровки; индикацию и сигнализацию; автоматизацию и поддержку операций наладки, обслуживания, калибровки газоанализатора или выносных газоаналитических устройств.

Ранее отмечалось, что не существует стационарных шахтных метанометров (других газоанализаторов), которые имеют одинаковые межградуировочные и межповерочные периоды, по этой причине периодически необходимо проводить калибровку. В Таблицах Б.1, Б.2 При-

ложения Б показано, что многие опасные отказы метанометров (газоанализаторов) связаны с влиянием «человеческого фактора» на процесс калибровки, которое можно минимизировать путем применения переносного автоматизированного калибровочного устройства, обобщенная структура концептуальной модели которого приведена на Рисунке 5.2, здесь: М – манометр, В – вентиль, ТР – вентиль точной регулировки, Р – ротаметр, ЭМК – электромагнитный клапан, ПГС1 и ПГС2 – баллоны с ПГС в начале и конце диапазона измерения соответственно.

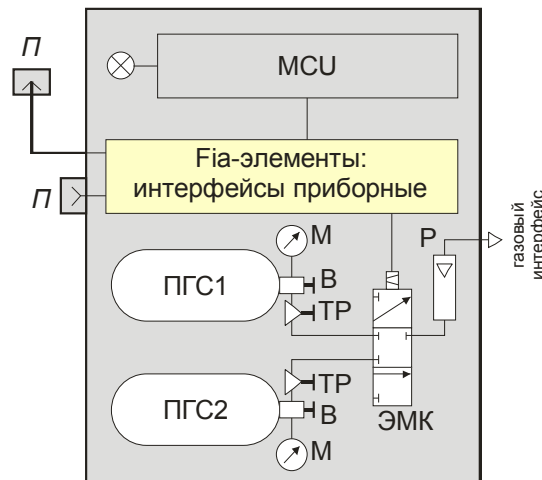


Рисунок 5.2 – Обобщенная структура переносного автоматизированного калибровочного устройства

Переносное автоматизированное калибровочное устройство является источником ПГС и обеспечивает генерацию ГС с известными характеристиками по командам от переносного пульта, имеет пневматический интерфейс с калибруемым газоанализатором, возможность контроля давления в баллонах с ПГС и возможность контроля и настройки расхода ПГС. Комплектование переносного автоматизированного калибровочного устройства баллонами с ПГС осуществляется метрологической службой предприятия с соответствующим документированием. В процессе автоматизированной калибровки: работник соединяет устройства через электрические, пневматические и радиointерфейсы и запускает процесс калибровки; переносной пульт переводит газоанализатор в режим калибровки, передает данные об используемых ПГС, осуществляет их подачу; измерительная головка обеспечивает расчет калибровочных коэффициентов.

Таким образом, разработанная концептуальная модель стационарного устройства контроля параметров аэрологического состояния позволяет решить следующие задачи: 1) обеспечить выполнение требований НД; 2) повысить функциональную надежность и информационную достоверность измерений за счет: компенсации влияющих факторов; использования резервированных чувствительных элементов; исключения работников из критически важных

процессов жизненного цикла; 3) непрерывно контролировать положение измерительной головки в горной выработке и относительно горных машин; 4) использовать общее единое время в масштабах всей МФСБ; 5) улучшить эксплуатационные свойства за счет минимизации состава оборудования, упрощения монтажа и обслуживания.

5.3 Методическое, техническое, программное и метрологическое обеспечение многофункциональной системы безопасности

Методическое обеспечение

Необходимость разработки методического обеспечения обусловлена требованием по оснащению угольных шахт МФСБ в соответствии с НД, которые содержат только общее описание назначения, функций, состава и режимов работы МФСБ, что недостаточно не только для разработки и проектирования МФСБ и ее подсистем, но и для ведения технических переговоров с использованием общей терминологии. При разработке методического обеспечения использовались следующие принципы и подходы: 1) целенаправленность, которая обусловлена потребностями угольных шахт эксплуатировать, а производителей выпускать МФСБ и ее подсистемы; 2) МФСБ рассматривается как единый комплекс, который состоит из многих подсистем, часть из которых уже эксплуатируется на угольных шахтах; 3) необходимость учета интересов сторон, которые разрабатывают, изготавливают, проектируют, эксплуатируют МФСБ и ее подсистемы и контролируют эти процессы; 4) необходимость учета существующего и передового уровня науки и техники и тенденций их развития в областях; 5) недопустимость установления требований, которые могут создать дополнительные препятствия для деятельности в рассматриваемой сфере; 6) соответствие техническим регламентам; 7) добровольность применения стандартов с одновременной возможностью формулирования в согласованной (стандартизованной) форме и терминах в виде прямого указания на это в договорах и контрактах, что соответствует общим нормам Гражданского кодекса РФ о договорах и обязательствах (в том числе их исполнении); 8) недопустимость действий, вводящих потребителя в заблуждение относительно свойств МФСБ и ее подсистем.

В период с 2005 по 2014 г. автор разработал или принимал участие в разработке следующего методического обеспечения:

а) нормативные документы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзора), посвященные различным аспектам разработки, проектирования и использования на угольных шахтах МФСБ и ее подсистем:

1) авторские формулировки назначения и функций МФСБ с незначительными корректировками включены в «Правила безопасности угольных шахт» [207];

2) разработаны «Методические рекомендации о порядке проведения аэрогазового контроля в угольных шахтах РД-15-06-2006» [170];

3) разработано «Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах» [201], которое развивает и заменяет «Методические рекомендации о порядке проведения аэрогазового контроля в угольных шахтах РД-15-06-2006» и объектом нормирования которого являются системы АГК и средства АГЗ. Документ устанавливает порядок: организации непрерывного автоматического контроля параметров рудничной атмосферы, содержанием пыли и расходом воздуха в горных выработках; обнаружения подземных пожаров и начальных стадий их возникновения по параметрам рудничной атмосферы; контроля и управления работой установок и оборудования для поддержания безопасного аэрогазового режима; содержат описания: технического, информационного, организационного, математического, программного и метрологического обеспечения системы АГК, способов применения системы АГК в различных режимах работы и требования к ним; устанавливают порядок проектирования, монтажа, эксплуатации и обслуживания системы АГК;

б) нормативные документы Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарта), содержащие сведения об основных подсистемах МФСБ, которые в наибольшей степени влияют на промышленную безопасность:

1) автор участвовал в разработке «ГОСТ Р 56141-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок. Общие технические требования» [89], который распространяется на системы ВЗГВ и средства взрывозащиты горных выработок (заслоны) и устанавливает единые технические требования к ним. Объектом стандартизации являются системы ВЗГВ и заслоны, используемые в составе МФСБ и предназначенные для снижения поражающих факторов взрыва газа и (или) угольной пыли до приемлемого уровня с целью сокращения зоны поражения и, как следствие, сохранения жизни и здоровья людей и материальных ценностей;

2) автор разработал:

- «ПНСТ 16-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система контроля аэрологического состояния. Общие технические требования и методы испытаний» [196]. Объектом стандартизации являются СКАС (системы контроля аэрологического состояния), предназначенные для использования в составе МФСБ для обеспечения аэрологической безопасности угольной шахты (контроля и управления параметрами микроклимата и состава рудничной атмосферы, обеспечения метановой, пылевой и пожарной безопасности в нормальных, предаварийных и аварийных режимах работы шах-

ты) путем: контроля распределения воздушных потоков в шахте; контроля состава и параметров рудничного воздуха; автоматического блокирования производственной деятельности и информирования работников об опасностях аэрологического характера; контроля состояния и работы сооружений, установок и оборудования, влияющих на аэрологическое состояние горных выработок; контроля пылевых отложений; обнаружения и определения местоположения пожаров и их ранних признаков в горных выработках угольных шахт и рудников, в том числе опасных по газу (метану) и пыли. Стандарт устанавливает минимальные требования к назначению, общие принципы построения, классификации, общие требования к функциям, техническим характеристикам, структуре и составу ЭЭПС системы контроля аэрологического состояния горных выработок, ее взаимодействию с другими элементами МФСБ и методы испытаний. Стандарт не содержит сведений об обеспечении аэрологической безопасности и применяется совместно с [201, 207];

- «ПНСТ 17-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система наблюдения и оповещения об аварии людей. Общие технические требования» [197], устанавливающий назначение, общие принципы построения, классификацию, общие требования к функциям, техническим характеристикам СН и СОА, их взаимодействию с другими подсистемами МФСБ. СН предназначены для определения текущего положения работников шахты в подземных выработках в нормальных и, при наличии технических возможностей, в аварийных режимах работы шахты. СОА предназначены для информирования людей, находящихся в горных выработках, об аварии до, во время и после аварии вне зависимости от их местоположения;

- «ПНСТ 18-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система поиска застигнутых аварией людей и определение их местоположения. Общие технические требования» [198], устанавливающий назначение, общие принципы построения, классификацию, общие требования к функциям, техническим характеристикам систем поиска, их взаимодействию с другими подсистемами МФСБ. Объектом стандартизации являются системы поиска, предназначенные для использования в составе МФСБ для обнаружения и уточнения местоположения работников, в том числе не подающих признаков жизни, застигнутых аварией в шахте, в том числе за и под завалами, и обеспечения возможности целенаправленного и безопасного движения к людям, поиск которых осуществляется в том числе при разборе завала, при проведении спасательной операции и ликвидации последствий аварии.

Техническое обеспечение

Для повышения экономической эффективности производства при повышении уровня ОТ и ПБ система управления шахтой (в которую входят СУОТ, СУПБ, МФСБ, АСУ ТП, АСУ

ПП и пр.) должна обеспечивать комплексное решение задач организации безопасного производства и информационной поддержки управления ТП и ПП в нормальных и аварийных ситуациях и включать следующие технические и программные средства: необходимое и достаточное количество полевого и контроллерного оборудования; универсальную и развитую систему промышленных коммуникаций; эффективный компьютерный парк; современный программный инструментарий и развитую коммуникационную инфраструктуру предприятия. Системы управления шахтой строятся как многоуровневые и компонентные АС, в которых разнотипное оборудование и специализированные подсистемы разных производителей объединены в единую систему, реализующую различные виды управления, сбор, обработку, хранение и отображение информации на автоматизированных рабочих местах (АРМ) операторов, горного диспетчера, энергодиспетчера, диспетчера по безопасности, главных специалистов, обеспечение множественного и распределенного доступа к информации и средствам управления на разных уровнях – от пульта управления отдельным агрегатом до центральной диспетчерской шахты, управляющей компании и центров управления кризисными ситуациями МЧС РФ.

На основе проведенных исследований, опыта работы и взаимодействия со службами эксплуатации, ИТР угольных шахт и компаний и специалистами надзорных органов, знаний технологий, проблем ОТ и ПБ разработана МФСБ «ИНГОРТЕХ»¹⁸ (Рисунке 5.3), в состав которой входят следующие технические системы, комплексы и устройства:

1) система газоаналитическая шахтная многофункциональная типа «Микон» (производство ООО «ИНГОРТЕХ»¹⁹), которая предназначена для автоматического непрерывного измерения параметров состояния горно-технологических объектов (ГТО), осуществления местного и централизованного диспетчерского ручного, автоматизированного и автоматического управления ГО, обмена информацией с наземным ПТК, обработки информации, ее отображения и хранения. Функциональное назначение системы определяется совокупностью контролируемых и управляемых параметров, назначением, количеством и расположением средств сбора информации, устройств сигнализации, исполнительных устройств и алгоритмами обработки информации. Основными функциями являются: контроль аэрологического состояния (измерение объемных долей метана, оксидов углерода и азота, кислорода, водорода; измерение скорости воздушных потоков в горных выработках, каналах вентиляторов, воздуховодах, трубопроводах систем газоотсоса и дегазации; измерение запыленности воздуха, температуры, давления и влажности рудничной атмосферы; контроль состояния

¹⁸ URL: <http://www.ingortech.ru/sistema-bezopasnosti-msb>

¹⁹ URL: <http://ingortech.ru/produktsiya/statsionarnye-sistemy/paragraf-41-pb/aerologicheskaya-zashchita-p-41-pb/item/291-sistema-mikon-iii>

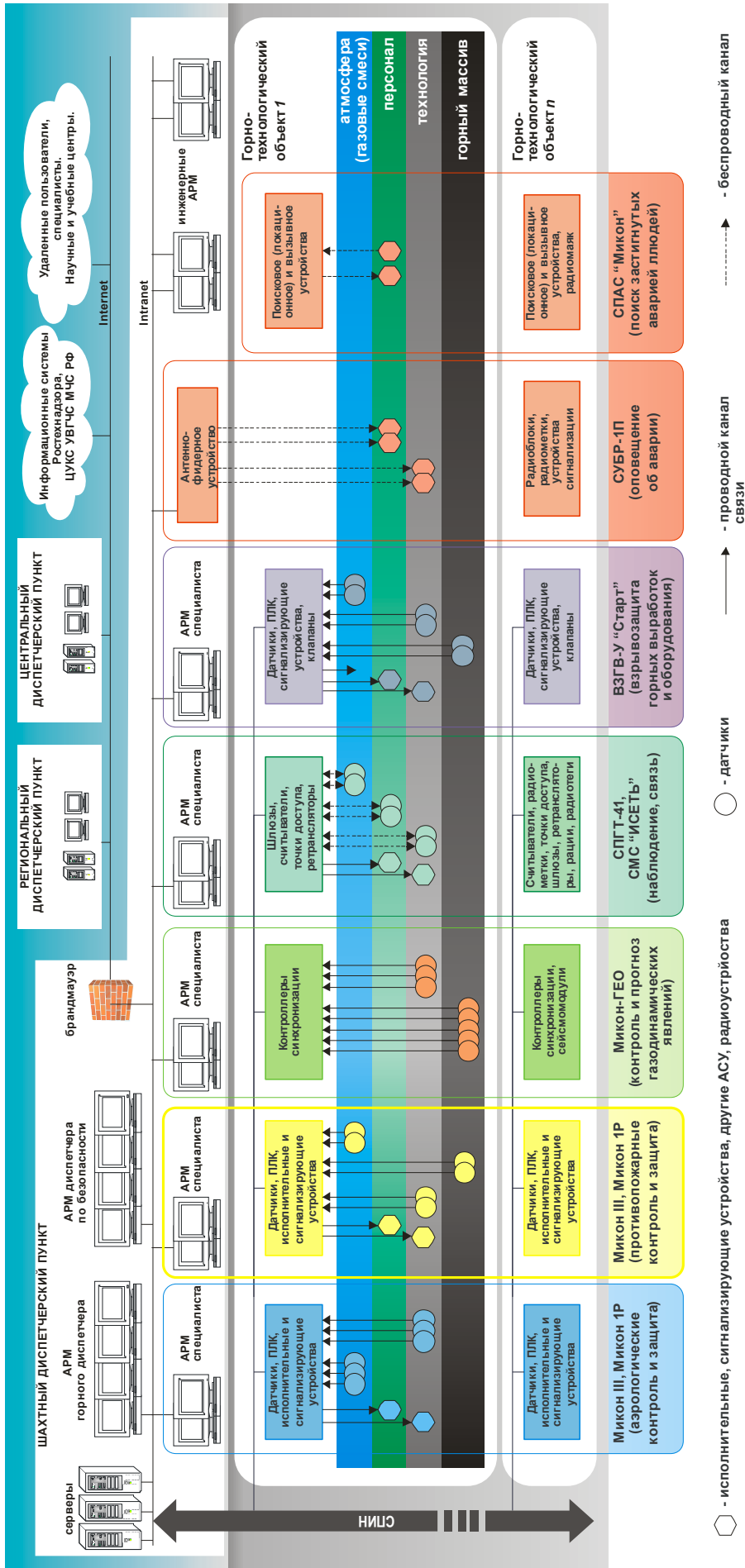


Рисунок 5.3 – Структура информационных и управляющих связей МФСБ «ИНГОРТЕХ»

вентиляционного оборудования и сооружений); обнаружение признаков пожаров и их начальных стадий; контроль параметров горного массива, состояния ТО и АЭ; контроль и управление системами ППЗ и орошения; контроль и управление ГОУ, ДГУ и ДГС; сигнализация о недопустимых значениях контролируемых параметров; АГЗ; централизованное воздействие на АСУ ТП; местное и централизованное, диспетчерское и ручное, автоматизированное и автоматическое управление основным и вспомогательным ТО, системами вентиляции, электро-, гидро- и пневмоснабжения; сбор, обработка, отображение, в том числе в виде отчетов, и хранение информации на наземном ПТК. Обобщенная структура системы «Микон III» приведена на Рисунке 5.4, основные технические характеристики – в Таблицах В.1 и В.2 Приложения В;

2) система позиционирования горнорабочих и транспорта СПГТ-41²⁰ (производство ООО «ИНГОРТЕХ» и ООО «УралТехИс»). СПГТ-41 основана на использовании технологии активных радиометок и обеспечивает: разделение подземного пространства на непрерывную систему зон, в которых контролируется наличие персонала, транспорта и подвижного ТО; дистанционное считывание номеров радиометок, встроенных в индивидуальное оборудование, и радиоблоки транспорта и подвижного ТО, и определение направления их движения; контроль нахождения работников на рабочих местах в соответствии с их нарядами и определение маршрутов их передвижения; определение маршрутов передвижения транспорта и подвижного ТО; формирование защищаемых зон, при наличии работника в которых формируются предупреждающие сигналы, противоаварийное управление и пр.; возможность воздействия на устройства сигнализации и блокирования работы ТО (при получении сигнала аварийного оповещения, нахождении носителей меток в защищаемых, запретных зонах, в том числе контроль появления персонала перед движущимся транспортом и подвижным ТО; сбор, обработку и хранение информации, предоставление стандартного доступа к ней, формирование отчетов и т. д.; ведение табельного учета; автономную работу при отказе систем связи с сохранением информации; формирование резервного канала аварийного оповещения. На полевом уровне в СПГТ-41 используются радиометки СУБР-02СМ или СУБР-03СГМ, встраиваемые в головные светильники и устанавливаемые на транспорте и подвижном ТО, и автономные точки отметки АТО, на контроллерном уровне – стационарные считыватели УРПТ-485 и мобильные устройства регистрации МУР, на коммуникационном уровне – СПИН из состава «Микон III», к диспетчерскому уровню относятся сервер, АРМ диспетчера, ламповщика, инженера КИПиА, системы табельного учета и удаленные пользователи. Обобщенная структурная схема СПГТ-41 показана на Рисунке 5.5, основные технические характеристики – в таблицах В.3 и В.4 Приложения В;

²⁰ URL: <http://ingortech.ru/produktsiya/statsionarnye-sistemy/paragraf-41-pb/pozitsionirovanie-p-41-pb>

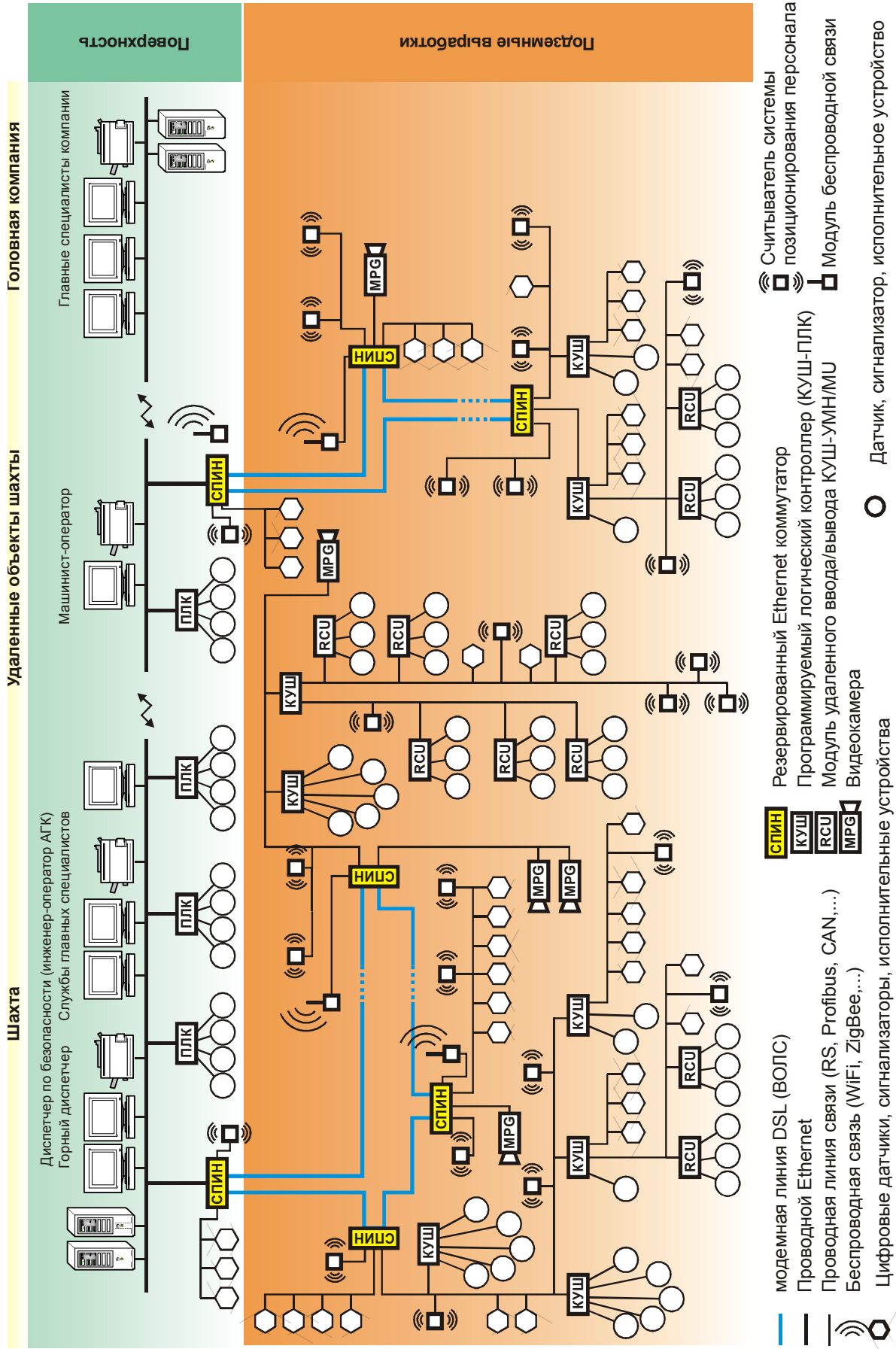


Рисунок 5.4 – Обобщенная структурная схема системы газоаналитической шахтной многофункциональной «Микон III»

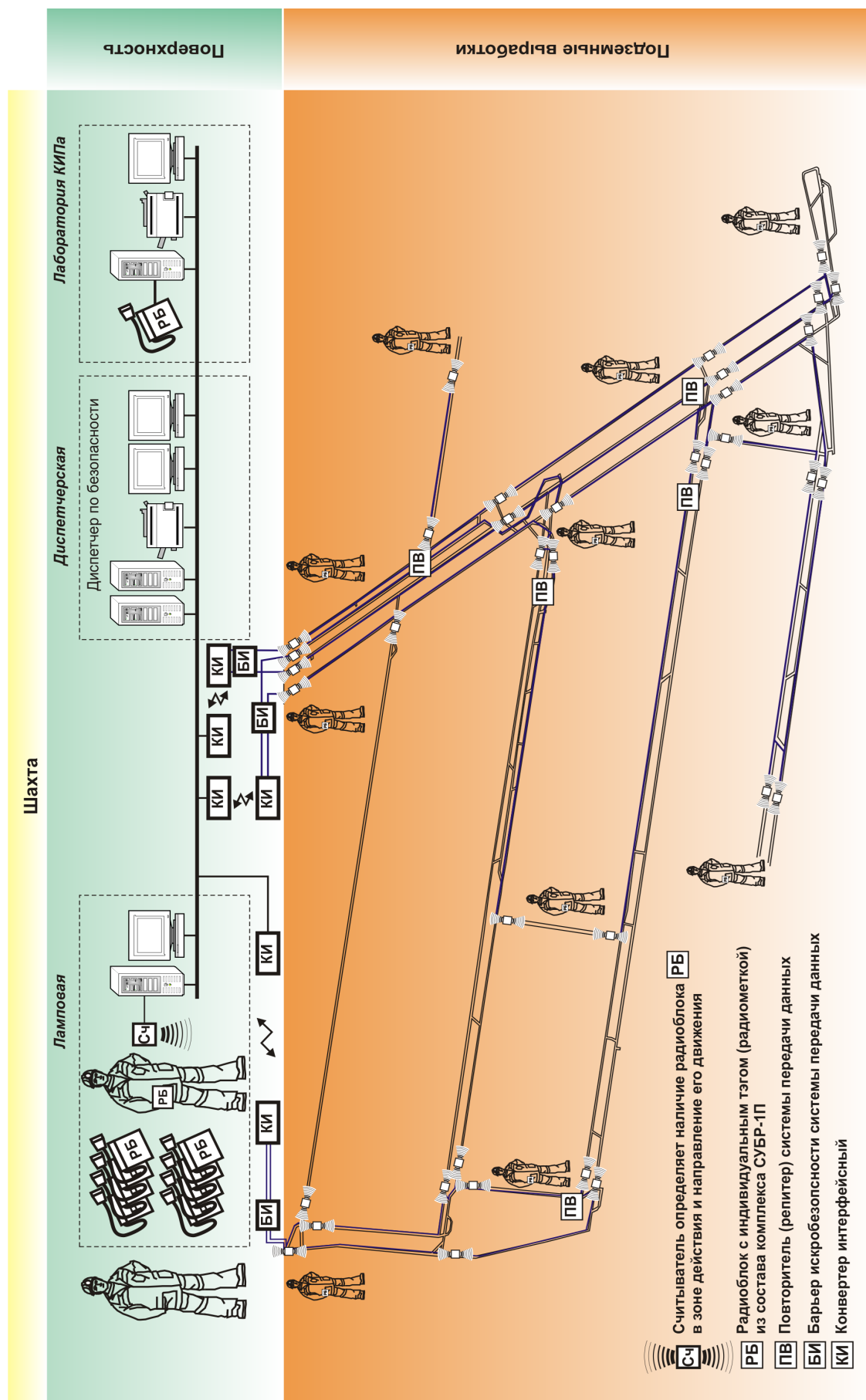


Рисунок 5.5 – Обобщенная структурная схема системы позиционирования горнорабочих и транспорта СПГТ-41

3) система многофункциональной связи СМС «ИСЕТЬ»²¹ (производство ООО «ИНГОРТЕХ» [59, 62, 180, 271] и ООО «УралТехИс»), которая предназначена для: непрерывного точного позиционирования работников, транспорта, подвижного ТО, контрольно-измерительных приборов и средств автоматики (КИПиА); обеспечения голосовой связи между работниками и с диспетчером; передачи данных между ЭЭПС работников, транспорта, подвижного ТО, средств КИПиА и наземным ПТК; формирования резервного канала аварийного оповещения. В состав системы входят: ретрансляторы-шлюзы – точки доступа ШТД-РТД, обеспечивающие обмен данными с другими радиоустройствами, формирование радиосегментов, ретрансляцию радиотрафика, подключение к СПИН и локальное позиционирование; интерком носимый ИКН, обеспечивающий: обмен данным с другими ИКН и IP-телефонами на наземных АРМ, голосовую связь работников друг с другом и диспетчером, локальное позиционирование; сервер связи и АРМ диспетчера. Для питания используются инфраструктура системы «Микон». Отличительными особенностями СМС «ИСЕТЬ» являются: 1) возможность построения радиосегментов протяженностью до 3 км без проводных линий связи (до 15 РТД); 2) высокая скорость «разворачивания» системы в горных выработках (до 3 км/ч); 3) возможность работы от комплектных блоков аккумуляторных батарей; 4) определение местоположения работников с ИКН, оборудования, устройств и приборов с радиотегамы с ошибкой наблюдения ± 5 м, что является необходимым условием для интеллектуализации элементов МФСБ (подраздел 5.2). Обобщенная структурная схема СМС «ИСЕТЬ» показана на Рисунке 5.6, основные технические характеристики – в таблицах В.5 и В.6 Приложения В;

4) система локального и регионального контроля и прогноза состояния горного массива «Микон-ГЕО»²² (производство ООО «ИНГОРТЕХ») обеспечивает: сейсмоакустический проходческого участков; контроль газодинамической активности выемочного и проходческого участков; локальный и региональный контроль; прогноз ГДЯ – внезапных выбросов и контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) шахтного поля, выемочного и горных ударов. В состав системы входят: искробезопасные полевой сейсмический модуль ИПСМ и контроллер синхронизации ИПКС. Система обеспечивает работу в следующих режимах: а) текущий контроль в месте и во время ведения горных работ (стационарная установка ИПСМ и ИПКС), который характеризуется: непрерывностью работы; использованием в качестве источников сейсмоакустических сигналов ТО, собственной сейсмической активности горного массива, специальных тестовых воздействий на горный массив; обработкой и

²¹ URL: <http://ingortech.ru/produksiya/statsionarnye-sistemy/paragraf-41-pb/mnogofunktsionalnaya-golosovaya-svyaz>

²² URL: <http://ingortech.ru/produksiya/statsionarnye-sistemy/paragraf-41-pb/kontrol-gornogo-massiva-p-41-pb>

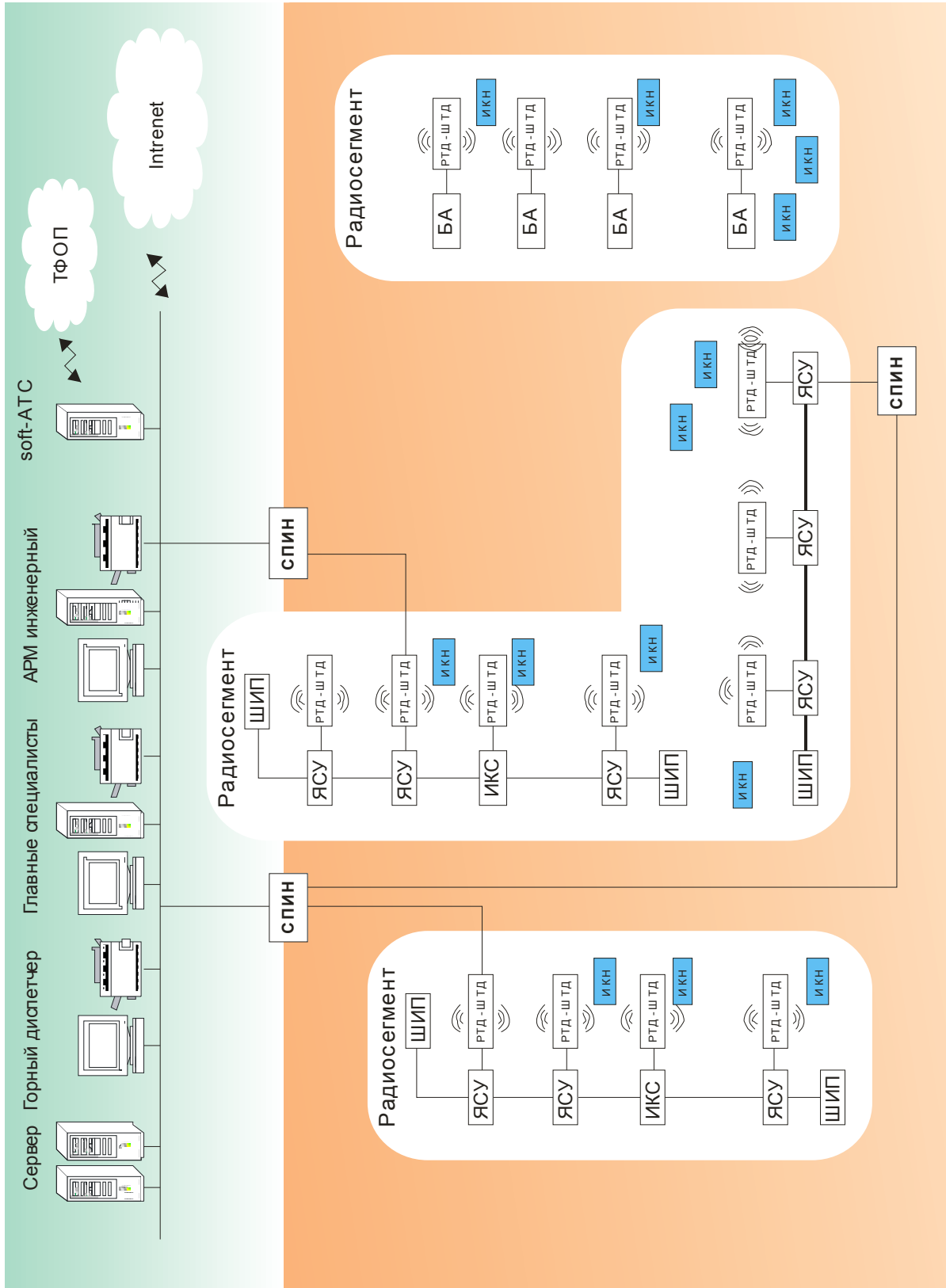


Рисунок 5.6 – Обобщенная структурная схема системы многофункциональной связи СМС «ИСЕГЪ»

визуализацией данных в реальном масштабе времени; использованием инфраструктуры «Микон III» для питания и передачи данных; б) локальный контроль в произвольном месте шахтного поля (с помощью переносного ИПСМ и ИПКС, устанавливаемых на время проведения контроля), характеризующийся: использованием аккумуляторного питания; нанесением специального тестового воздействия на горный массив; передачей данных сейсмоакустического контроля через модули памяти; обработкой и визуализацией данных на наземном АРМ; в) региональный контроль по пространству шахты (стационарная установка оборудования по всему контролируемому шахтному полю), который характеризуется непрерывностью работы и контролем собственной сейсмической активности горного массива. При этом сейсмоакустическая локация горного массива в активном режиме осуществляется для призабойного пространства проходческого участка в окрестности 50×50×50 м относительно груди забоя, для очистного участка – 200×100×100 м за грудью забоя, а сейсмический контроль горного массива осуществляется в пассивном режиме – в объеме шахтного поля. Обобщенная структурная схема системы «Микон-ГЕО» показана на Рисунке 5.7, основные технические характеристики – в таблицах В.7 и В.8 Приложения В;

5) заслон для взрывозащиты горных выработок с возможностью контроля и управления «Старт» (ЗВГВ-У «Старт») (производство ООО «НПП «Шахтпожсервис»), полевые и контроллерные ЭЭПС которого выполнены на базе системы «Микон III». ЗВГВ-У «Старт», основными элементами которого являются сетчатые перегородки и водяная завеса, питаемая от системы шахтного водоснабжения и включаемая по сигналу датчиков взрывоопасности, предназначен для ограждения очистных выработок и выемочных участков, подготовительных забоев и подготовительных участков, конвейерных выработок, крыльев шахтного поля, ГВУ, пожарных участков и выработок, которые оборудованы смесительными камерами. ЗВГВ-У «Старт» предотвращает распространение взрыва МВС и ПМВС за счет гашения пламени и теплового излучения, снижения на 50-70 % избыточного давления во фронте ударной воздушной волны, улавливания летящих осколков и предметов и снижения на 80 % запыленности и задымленности. ЗВГВ-У «Старт» отличается от других следующим: 1) включается при обнаружении потенциальной опасности взрыва – взрывоопасной концентрации МВС и ПМВС; 2) объем рабочего тела, используемого для снижения поражающих факторов взрыва, не ограничен; 3) обеспечивает многократное срабатывание. Сенсорный, контроллерный, коммуникационный и диспетчерский уровни реализованы на основе системы «Микон»;

б) комплекс аварийного оповещения и селективного вызова СУБР-1П²³ (производство ООО «УралТехИс»). Комплекс обеспечивает: аварийное оповещение работников, находящихся в горных выработках, независимо от места в шахте до, во время и после аварии;

²³ URL: <http://uraltexis.ru/production/subr-1p>

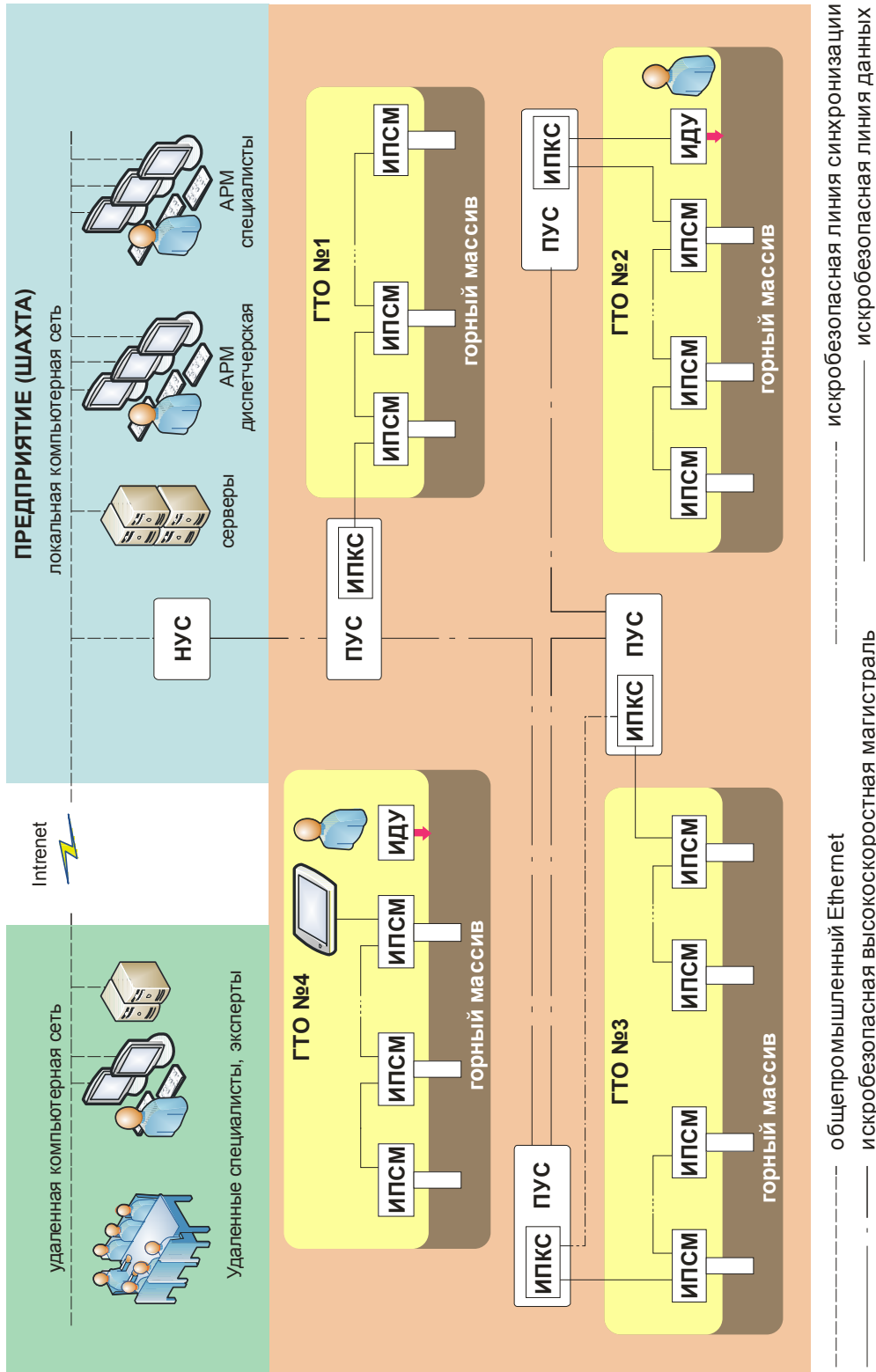


Рисунок 5.7 – Структурная схема системы локального и регионального контроля и прогноза состояния горного массива «Микон-ГЕО»

(НУС и ПУС – наземный и подземный узлы связи СПИН соответственно, на схеме не показаны средства электропитания)

селективный вызов работников, находящихся в горных выработках; передачу текстовых сообщений на индивидуальные текстовые приемники (пейджеры) в том числе по позициям ПЛА; покрытие горных выработок с учетом перспективы развития горных работ; управление комплексом с АРМ диспетчера; высокую степень готовности и надежности. На полевом уровне используются радиоблоки СУБР-02СМ или СУБР-03СГМ, на коммуникационном уровне – резервированное антенно-фидерное устройство, диспетчерский уровень реализован с помощью пульта управления и АРМ диспетчера. Работа комплекса основана на передаче с поверхности под землю электромагнитных волн на частотах 1066 и 1070 Гц, которые распространяются сквозь толщу горных пород (простираение шахтного поля до 10 км, глубина шахт до 1 км, проводимость горных пород не более 10^{-3} См/м) и принимаются антенной радиоблока. Индивидуальные радиоблоки встраиваются в серийные головные светильники, обеспечивают прием и обработку радиосигнала от передатчика, преобразование его в кодовое мигание лампы светильника и звуковой сигнал;

7) система поиска в аварийных ситуациях СПАС «Микон»²⁴ (СЛП, производство ООО «ИНГОРТЕХ» и ООО «УралТехИс») предназначена для обнаружения и определения местоположения людей, застигнутых аварией в шахте, в том числе не подающих признаков жизни, находящихся за и/или под завалами, и состоит из: радиомаяков ГПС-1 или PGLR, встраиваемых в головные светильники и генерирующих электромагнитный сигнал в частотном диапазоне 4-6 КГц; индивидуальных радиоблоков СУБР-02СМ, используемых для активации ГПС-1 или PGLR; переносного поискового приемника MinSearch-08, определяющего направление и расстояние до ГПС-1 или PGLR, и вызывного устройства ВУ-1, используемого для активации ГПС-1 или PGLR через СУБР-02СМ (активации может также осуществлена комплексом СУБР-1П). Порядок ведения поиска показан на Рисунке 5.8: I этап (подготовительный) заключается в составлении с помощью системы СПГТ-41 или СМС «ИСЕТЬ» списка работников, поиск которых необходимо произвести, и мест их последней регистрации в горных выработках; II этап (сканирование) предусматривает выход спасателей с MinSearch-08 и ВУ-1 в зону поиска, активацию радиомаяков ГПС-1 или PGLR и определение наличия искомых радиомаяков на расстоянии до 50 м от поискового устройства; III этап (обнаружение) – определение направления и расстояния до искомого радиомаяка (неопределенности для расстояния ± 25 % прив., направления ± 15 °); IV этап (поиск) заключается в точном определении направления и расстояния до радиомаяка (неопределенности для расстояния ± 10 % прив., направления ± 10 °). Основные технические характеристики приведены в таблицах В.9 и В.10 Приложения В;

²⁴ URL: <http://ingortech.ru/produktsiya/statsionarnye-sistemy/paragraf-41-pb/poisk-i-obnaruzheniya-lyudej-p>

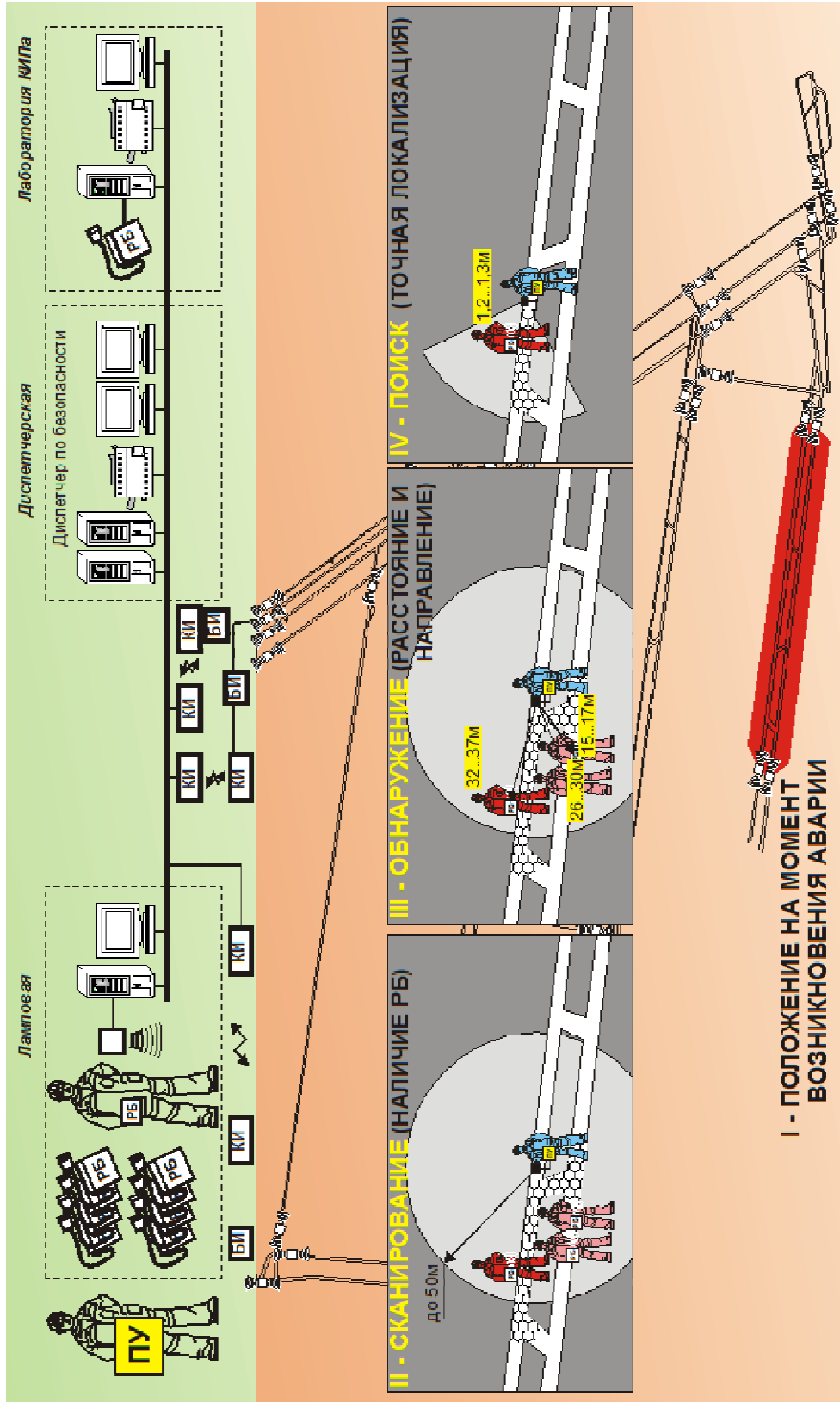


Рисунок 5.8 – Применение системы поиска в аварийных ситуациях СПАС «Микон»
 (ПУ – поисковый приемник поискового MinSearch-08, РБ – радиомаяк ГПС-1 или PGLR)

8) газоанализатор M02²⁵ (производство ООО «НПЦ АТБ»), оборудованный радиоблоком МСП-2 (производство ООО «УралТехИС»), который обеспечивает его взаимодействие с системой СПГТ-41. Газоанализатор M02 является индивидуальным многоканальным газоанализатором и предназначен для оперативного автоматического непрерывного измерения содержания горючих газов, метана, кислорода, оксида и диоксида углерода и сероводорода, сигнализации при достижении измеряемыми компонентами пороговых уровней, реализации функции «черного ящика». В МФСБ M02 используется как средство индивидуальной газовой защиты работников, для проверки стационарных средств АГК и АГЗ, сбора информации об аэрогазовом состоянии и передачи ее в МФСБ (подраздел 5.1), расследовании аварий и несчастных случаев;

9) светильник головной малогабаритный СГМ «ИСЕТЬ»²⁶ (производство ООО «УралТехИС») или другие головные светильники, оборудованные радиоблоками СУБР-02СМ или СУБР-03СГМ, обеспечивающие взаимодействие с СПГТ-41, СМС «ИСЕТЬ» и СУБР-1П, и радимаяки ГПС-1 и PGLR, используемые в СПАС «Микон». Дополнительно СГМ «ИСЕТЬ» может быть оборудован блоком газоанализа БГА-01 (производство ООО «ИНГОРТЕХ»), который является наиболее полной реализацией концептуальной модели, которая рассмотрена в подразделе 3.3 (Таблица В.11 Приложения В).

МФСБ и ее подсистемы отвечают требованиям иерархичности и многоуровневости: 1) полевой уровень (подземные выработки, в которых ведутся горные работы) состоит из датчиков, сигнализирующих и исполнительных устройств, устройств радиодоступа и индивидуальных и переносных устройств, функционирующих на ШПШ или в беспроводных системах связи и обеспечивающих реализацию технологического и противоаварийного управления и ПАЗ; 2) контроллерный уровень (подземные горные выработки) – ПЛК и устройства удаленного сопряжения с объектом (УСО) с ШПШ-интерфейсом; 3) коммуникационный уровень (капитальные подземные горные выработки и дневная поверхность) – универсальные средства передачи информации, обеспечивающие обмен данными по стандартным интерфейсам связи; 4) диспетчерский уровень (наземные помещения) – наземный ПТК, компьютерные и иные системы, обеспечивающие оперативные диспетчерские контроль и управление (серверное оборудование и АРМ).

Структурообразующим элементом МФСБ является СПИН, которая обеспечивает создание магистралей передачи разнородной информации для вышеперечисленных систем и других АС, систем связи и промышленного телевидения в нормальных условиях. СПИН формирует «глубокий» информационный ввод, обеспечивая доступ к Intranet и Intranet в

²⁵ URL: <http://www.npcatb.ru/ru/perenosnye-pribory/gazoanalizator-m-02>

²⁶ URL: <http://uraltexis.ru/production/sgm-iset>

горных выработках. СПИН построена с использованием технологий Ethernet, WiFi, WPAN, DSL, NanoTron (группы стандартов IEEE 802, ITU G.922), при этом: на полевого и контроллерном уровнях используются особовзрывобезопасные проводные низкоскоростные ШПШ и беспроводные средства связи, в том числе с подвижными, переносными и индивидуальными полевыми устройствами; на контроллерном и коммуникационном уровнях формируются подуровни: магистральной передачи на основе особовзрывобезопасной высокоскоростной оптоволоконной системы связи; «последней мили» – особовзрывобезопасных систем микросотовой и модемной связи; на диспетчерском уровне применяются общепромышленные высокоскоростные системы передачи данных. Системы передачи информации в МФСБ разделены по выполняемым функциям в соответствии с подразделами 2.3 и 3.3 на: 1) системы для внешних средств снижения риска («Микон Ш», «Микон 1Р», СПГТ-41, «Микон-Гео», СМС «ИСЕТЬ») и систем, связанных с безопасностью («Микон Ш», «Микон 1Р»), для которых характерна развитая подземная инфраструктура, универсальность и унифицированность, используется СПИН; 2) системы для других средств снижения риска (СУБР-1П, СПАС «Микон»), в которых используются технологии низкочастотной радиосвязи, обеспечивающие передачу информации через горные породы.

МФСБ и ее подсистемы являются открытыми, интероперабельными и масштабируемыми за счет применения технологий TCP/IP, Ethernet, WiFi, WPAN, DSL, ШПШ, OPC, ODBC и унифицированного информационного обеспечения, что обеспечивает возможность использования технических средств разных производителей для реализации различных задач автоматизации и измерения, подключения существующих АС управления и контроля, перспективных технических средств, компьютерных сетей, SCADA, MES и ERP.

В МФСБ и ее подсистемах в основном используются особовзрывобезопасные технические средства полевого и контроллерного уровня: 1) ПЛК (КУШ-ПЛК), отличающиеся гибкостью конфигурации и пространственной распределенностью; 2) УСО (КУШ-УМН, СУ-ХХ, ШТД-РТД, УРПТ-485 и др.), обеспечивающие возможность построения подсистем телесигнализации, телеизмерения, управления; 3) цифровые полевые устройства (ДМС 03, ИТС2, СДСВ 01, ДТМ и др.), позволяющие снизить стоимость реализации типовых задач управления за счет исключения из контуров управления ПЛК и УСО и снижения затрат на кабельную продукцию, эксплуатацию, техническое и метрологическое обслуживание; 4) источников питания (ШИП) с широким диапазоном питающего напряжения, автоматическим вводом резерва, встроенной аккумуляторной батареей (на 16 часов работы без сетевого напряжения), высокой выходной мощностью (12 Вт).

В различных подсистемах МФСБ реализованы: «малые» контуры управления, которые используются для быстрых алгоритмов управления, вычисление и реализация управляющего

воздействия в которых обеспечивается локально, и которые сохраняют работоспособность при отказе систем связи; «большие» контуры управления, которые реализуют управляющие воздействия с помощью полевых устройств, УСО, ПЛК, но их выработка осуществляется наземным ПТК. Комбинированная функционально-структурная схема МФСБ «ИНГОРТЕХ» показана на Рисунках 5.9 и 5.10, здесь: T° – температура ГС, горных пород, ТО и пр.; S_e и V_e – средние значения виброперемещения и виброскорости; $S_{ТО}$, $S_{АЭ}$ и S_P – состояние ТО, АЭ и работника; V – скорость движения ГС; P – давление (абсолютное и дифференциальное, ГС и жидкостей); CH_4 , H_2 , CO , CO_2 , O_2 – концентрации метана, водорода, оксида и диоксида углерода и кислорода; Z – запыленность атмосферы; $АЭ$, $РБ$ и $ТУ$ – управление аппаратом электроснабжения, радиоблоком и техническим устройством (электромагнитным клапаном и т. п.); a – параметры сейсмических, сейсмоакустических и акустических волн в горном массиве; RH – относительная влажность; x – положение (работника, транспорта, подвижного оборудования).

Разработанная МФСБ и ее подсистемы соответствуют требованиям [89, 196, 197, 198, 201, 207, 237].

Программное обеспечение

В состав ПО МФСБ «ИНГОРТЕХ» входят системное (операционные системы MS Windows корпорации Microsoft), инструментальное (CODESYS компании 3S-Smart Software Solutions GmbH) и прикладное ПО «IngortechSCADA», которое разработано нами и рассмотрено далее. Режим работы ПО МФСБ «ИНГОРТЕХ» непрерывный и круглосуточный.

Серверное программное обеспечение

ПО «IngortechSCADA» является интероперабельным и масштабируемым и обеспечивает. На серверах функционирует серверное, на АРМ – пользовательское и инженерное ПО «IngortechSCADA». В базовый состав серверного ПО «IngortechSCADA» входят: rtVarSrv – сервер реального времени (сервер данных), собирающий данные от различных источников информации, формирующий БД реального времени и предоставляющий доступ к ней; ValSrv – ПО связи с SAP-устройствами (BS 6556-3:1985 Low speed digital signals for use in coal mines. Specification for message protocol); rtOPCCClient – ПО связи с произвольными OPC-серверами (OPC DA 2.05); rtStarter – утилита управления работой серверного ПО; SrvDataPump – утилита трансляции данных при резервировании и каскадировании серверов данных. Дополнительно могут использоваться: rtOPCServer – OPC-сервер «IngortechSCADA», обеспечивающий возможность произвольным OPC-клиентам получать доступ к переменным «IngortechSCADA», в том числе на удаленных ЦЭВМ (OPC DA 2.05); rtSPGTClient – ПО связи с системой СПГТ-41, обеспечивающее получение данных от М02 и БГА;

		Аэрологическая безопасность												Контроль и прогноз ГДА				
		Контроль и управление ГВХ, ВМП, ГОХ, ДУ и ДГС				АГК (в том числе контроль запыленности) и АГЗ												
		OT°	OS ₉	OV ₆	OS ₁₀	OV	OP	OS ₁₁	OS ₁₂	OS ₁₃	OS ₁₄	OS ₁₅	OS ₁₆	OS ₁₇	OS ₁₈	OS ₁₉	OS ₂₀	OS ₂₁
Техниче-ские системы и средства	Микон III																	
	Микон-ГЕО																	
	СПГГ-41																	
	М02																	
	БГА																	
Объект	Горный массив																	
	Технология																	
Полетной уровень	Атмосфера (газы)																	
	Персонал																	
	Индикация																	
	Сигнализация																	
	Вычисления																	
	Управление																	
Контрольный уровень	Хранение																	
	Индикация																	
	Сигнализация																	
	Вычисления																	
	Управление																	
	Хранение																	
Системный уровень	Индикация																	
	Сигнализация																	
	Вычисления																	
	Управление																	
	Хранение																	
	Индикация																	
МФСБ	Сигнализация																	
	Вычисления																	
	Управление																	
	Хранение																	
	Индикация																	
	Сигнализация																	
Интерфейсы с внешними информационными системами	Хранение																	
	Интерфейсы с внешними информационными системами																	

Рисунок 5.9 – Комбинированная функционально-структурная схема МФСБ «ИНГОРТЕХ»

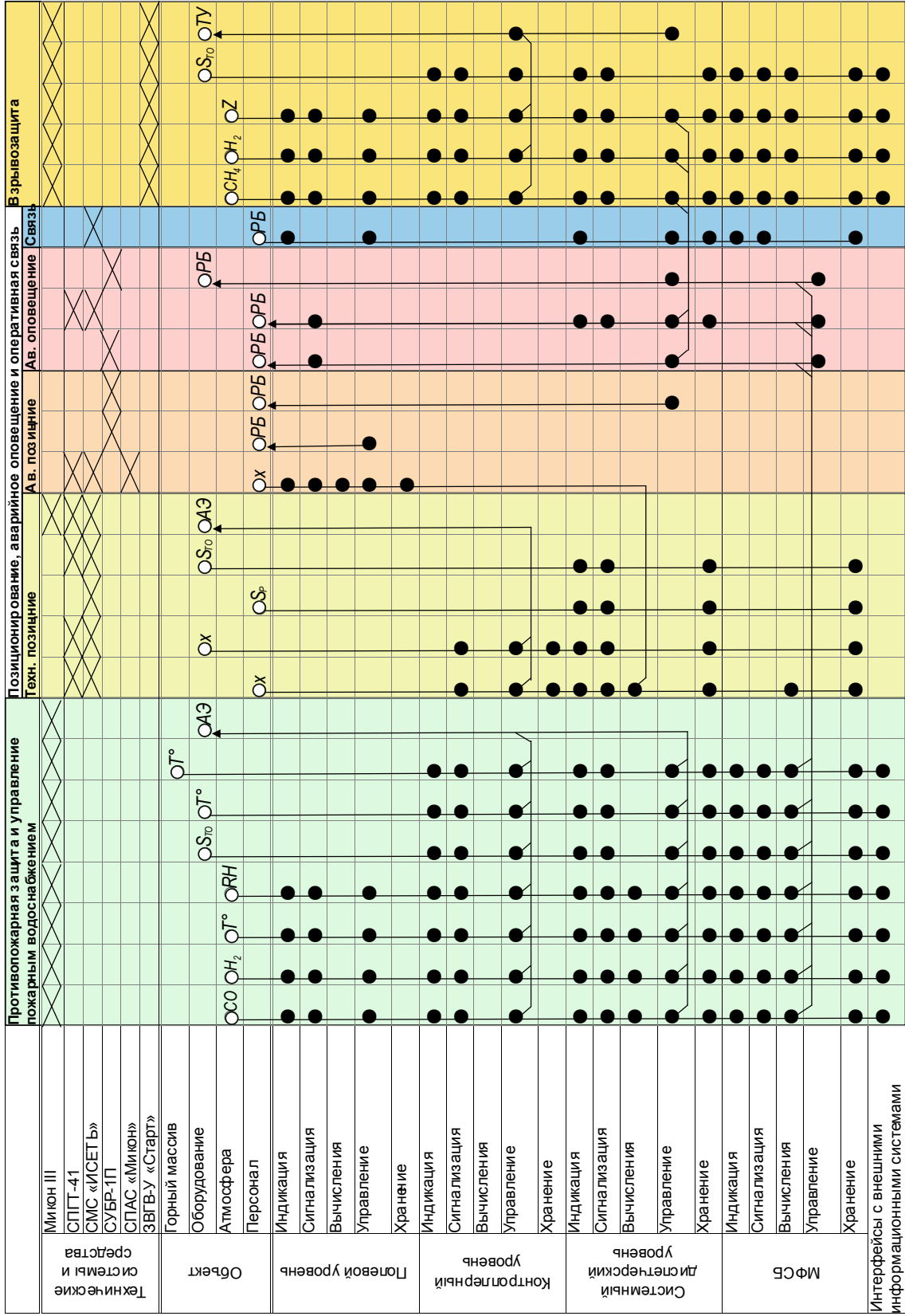


Рисунок 5.10 – Комбинированная функционально-структурная схема МФСБ «ИНГОРТЕХ»

rtISend – утилита формирования данных для ЦУКС УВГСЧ МЧС РФ и территориальных управлений Ростехнадзора, эксплуатирующих ПО rtISrv; rtSMSSend – утилита формирования SMS- и Email-сообщений, отправку которых обеспечивает rtSMSServer. ПО «IngortechSCADA» построено на основе технологии клиент-сервер (Рисунок 5.11). Важно отметить, что все клиентское ПО может находиться на одной ЦЭВМ с rtVarSrv, в одной локальной сети или быть связано через Internet. Сервер rtVarSrv является центральным элементом ПО «IngortechSCADA», представляет собой программный комплекс, который: обеспечивает обмен информацией с устройствами полевого и контроллерного уровней; формирование текущей копии состояния всех измеряемых и контролируемых переменных в памяти ЦЭВМ и предоставление доступа к ней; обрабатывает данные в соответствии с задаваемыми алгоритмами с помощью встроенного калькулятора (простые арифметические действия и функции), языка программирования Lua²⁷ (сложная нелинейная обработка данных); записывает данные в долговременную БД и обеспечивает доступ клиентов к ней; обеспечивает работу всех модулей ПО «IngortechSCADA» с единой конфигурацией. Способ реализации хранилища данных определяется проектными решениями на основе разных СУБД (MS SQL корпорации Microsoft, Sybase компании Watcom, FireBird, MySQL и т. п.) или dbf-файлах. Резервирование, репликация, зеркалирование и прочие функции реализуются средствами применяемой СУБД.

Важными частями серверного ПО являются программы, обеспечивающие обмен данными с полевыми, контроллерными устройствами и сторонним ПО: CODESYS OPC server используется для обмена данными с КУШ-ПЛК; Lectus Modbus OPC/DDE server – с полевыми устройствами, поддерживающими протокол ШПШ.

Пользовательское программное обеспечение

Пользовательским ПО «IngortechSCADA», предназначенным для инженера-оператора АГК, горного диспетчера и пр., является rtRTS – ПО АРМ оператора (оболочка оператора), обеспечивающая отображение текущей и архивной информации и возможность диспетчерского управления. В состав оболочки оператора кроме средств визуализации и взаимодействия с оператором АРМ входят модули, обеспечивающие: обмен файлами между сервером данных и оболочкой оператора; автоматическую периодическую проверку актуальности используемой конфигурации и загрузку новой конфигурации при ее смене; формирование, отображение, управление и печать архивных графиков и графиков реального времени; формирование, отображение и управление журналами, в которых отображаются аварийные, технологические, служебные и иные события и сообщения и пр.

²⁷ URL: <https://www.lua.org>

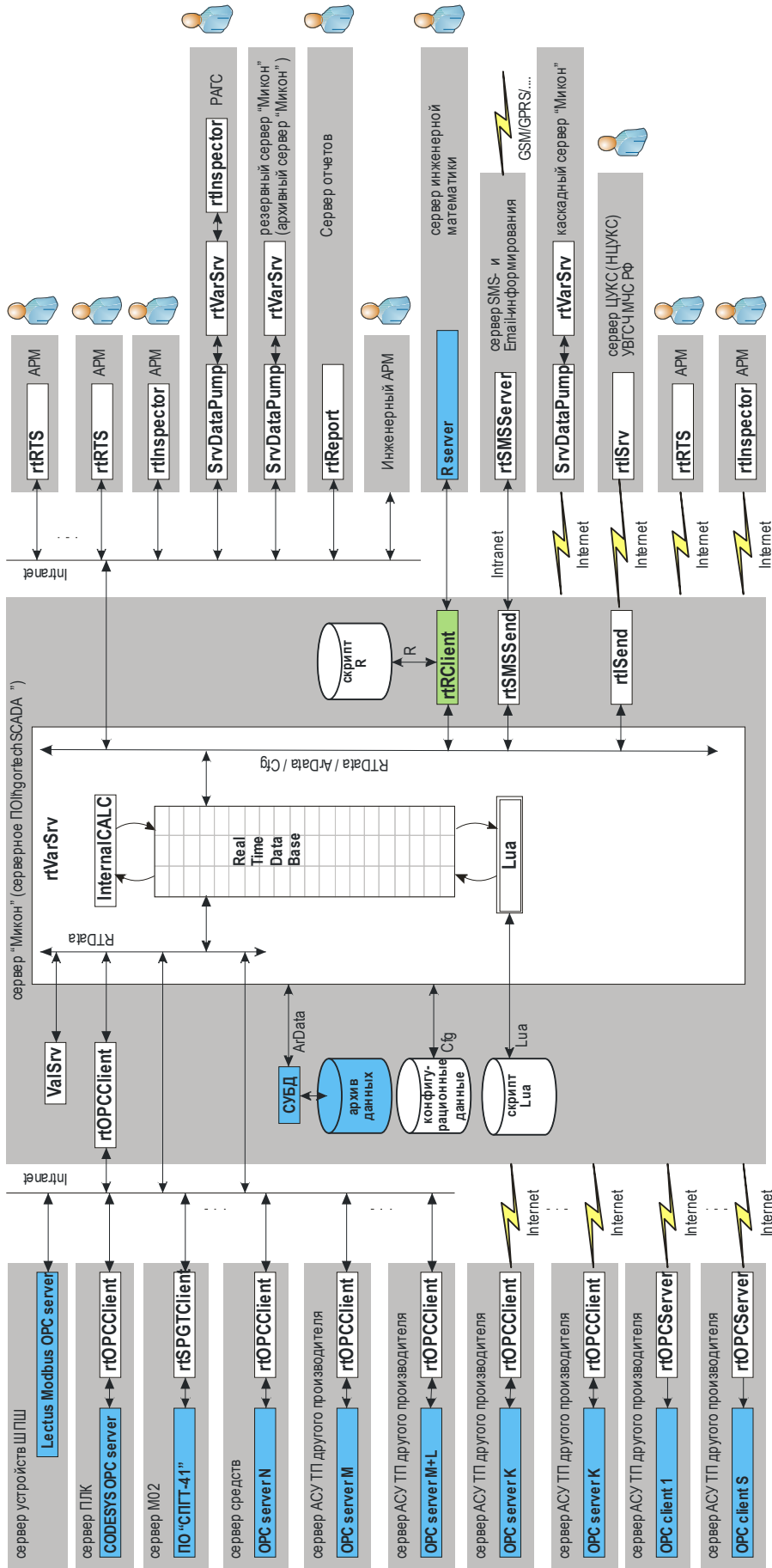


Рисунок 5.11 – Клиент-серверная архитектура ПО «IngottechSCADA» с БД на основе СУБД (rtData и ArData – данные реального времени и архивные данные, Cfg – конфигурационные данные, RAIC – «черный ящик», зеленым фоном выделена разрабатываемая часть ПО, предназначенная для выполнения сложных аналитических расчетов с использованием языка программирования R)

Инженерное программное обеспечение

Основу инженерного ПО «IngortechSCADA» составляют: rtConfig – конфигуратор, в котором создается конфигурация технических средств и описываются пользователи и способы отображения информации; rtDesigner – дизайнер для создания мнемосхем; rtReport – планировщик, предназначенный для выполнения различных программ, в том числе специально разработанных для формирования отчетов в соответствии с требованиями НД и эксплуатирующих организаций периодического или в задаваемые моменты времени. Также используются rtDataCmp, rtDataCmpSQL – утилиты сравнения БД двух серверов и др.

Программное обеспечение для многоуровневых диспетчерских

ПО «IngortechSCADA» обеспечивает возможность построения многоуровневых диспетчерских. При этом на шахте организуется центральный диспетчерский пункт (ЦДП), для которого обеспечивается «горячее» резервирование ПТК и операторы которого (инженер-оператор АГК, диспетчер по безопасности, горный диспетчер) получают текущую и архивную информацию о контролируемых параметрах и имеют возможность подавать управляющие команды на ТО. В региональной управляющей компании организуется единый диспетчерский пункт (ЕДП) I уровня. Количество уровней каскадирования не ограничено, возможно создание центрального ЕДП (ЕДП II уровня), на котором собирается информация от нескольких региональных ЕДП I уровня.

Программное обеспечение для «черного ящика»

В ПО «IngortechSCADA» реализованы требования НД [201] в части использования на шахтах РАГС, который реализуется путем зеркалирования рабочего сервера и его защиты на уровне политики конфиденциальности операционной системы.

Программное обеспечение для сбора данных от персональных газоанализаторов

Особенность ПО передачи данных от индивидуальных газоанализаторов в МФСБ состоит в том, что передаются обобщенные показатели (подраздел 5.1), характеризующие аэрогазовое состояние горной выработки или ее части, которая является зоной контроля в СПГТ-41. При этом: передача осуществляется в моменты нахождения работника с индивидуальными газоанализаторами в прямой видимости считывателей СПГТ-41, которые получают данные от радиоблоков газоанализаторов; серверное ПО СПГТ-41 обеспечивает получение результатов газового контроля от считывателей и их хранение в БД СПГТ-41; серверное ПО «IngortechSCADA» с помощью утилиты rtSPGTclient запрашивает и получает от серверного ПО СПГТ-41 результаты газового контроля, обеспечивает хранение результатов газового контроля, их обработку и визуализацию.

Программное обеспечение для передачи данных в МЧС РФ и Ростехнадзор

Также в НД [201, 207] сформулированы требования по передаче в реальном времени дан-

ных об аэрологической обстановке (от датчиков метана, оксида углерода и запыленности), которая характеризуется количественно (результаты измерения) и качественно (оценка результатов измерения на их нахождение в допустимых пределах: нормальная, предупредительная, предаварийная) в Ростехнадзор и НЦУКС МЧС РФ. В рамках НИР [212, 213] нами разработан программный комплекс, который обеспечивает: обработку потока данных АГК; передачу данных о преодолении метаном общих для всех датчиков порогов 2 и 4 % об. долей, о преодолении оксидом углерода общих для всех датчиков порогов 80 и 200 млн⁻¹, при условии, что длительность такого события превышает задаваемое время удержания (15-1000 с); передачу списка объектов контроля и точек установки для датчиков; визуализацию данных в НЦУКС МЧС РФ на панели сборной сигнализации, на которой каждая шахта представлена транспарантом с цветовым индикатором опасности. В состав разработанного программного комплекса входят (Рисунок 5.12) модули rtISend, функционирующий в составе серверного ПО «IngortechSCADA», и rtISrv, работающий на ЦЭВМ регионального ЦУКС или национального ЦУКС (НЦУКС) МЧС РФ.

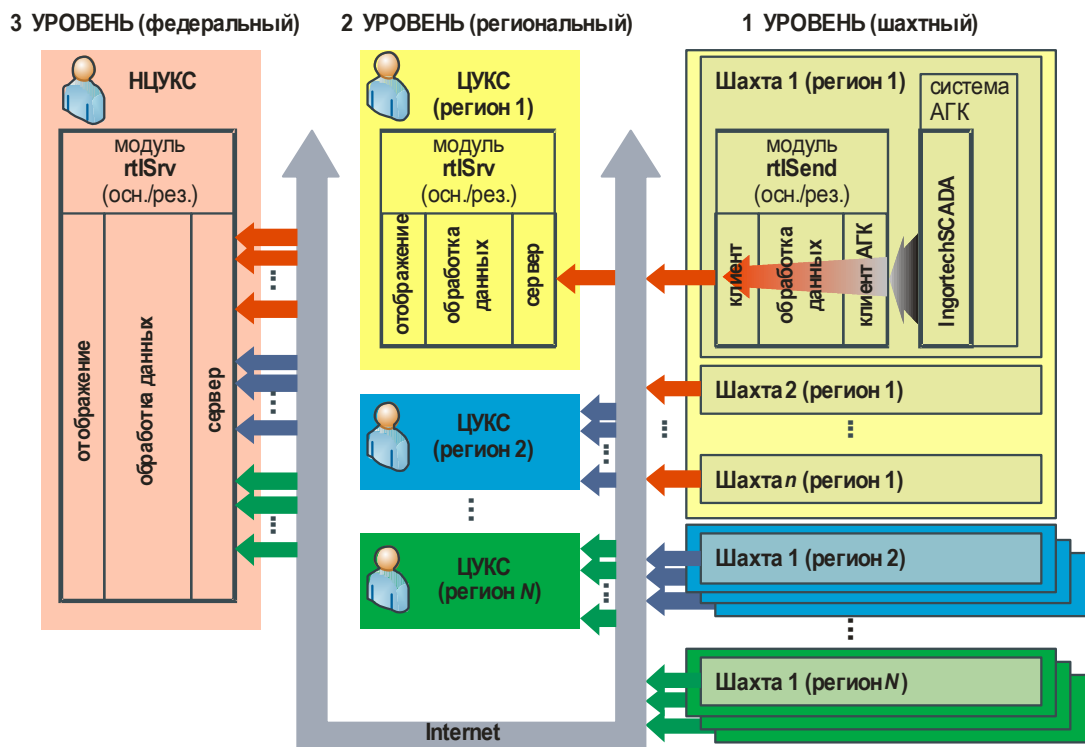


Рисунок 5.12 – Структура многоуровневого программного комплекса передачи данных АГК в ЦУКС и НЦУКС МЧС России

Программный комплекс также реализует требования НД [71] в части оборудования ОПО СМИС. Программный комплекс является многоуровневым: на 1-м уровне (шахта) находятся программные средства, обеспечивающие получение данных о контролируемых параметрах, характеризующих аэрологическую опасность, от серверов системы АГК; на 2-м (ЦУКС) и 3-м

(НЦУКС) уровнях – программные средства для взаимодействия со специалистами региональных ЦУКС МЧС РФ и НЦУКС МЧС РФ соответственно. На уровне НЦУКС шахты подразделяются по региональному признаку по управлениям ВГСЧ по субъекту РФ.

Аналогичным образом обеспечена передача данных АГК в территориальные и центральные управления Ростехнадзора. Применяемый при этом программный комплекс отличается от комплекса для ЦУКС МЧС РФ тем, что контролируемыми параметрами являются метан, оксид углерода, кислород и запыленность, а в качестве пороговых уровней используются конфигурационные настройки ПО «IngortechSCADA» в соответствии с НД [201] и проектными решениями.

Принципы построения комплексов и их структура позволяют в дальнейшем использовать разные индикаторы риска в соответствии с Разделом 3 настоящей работы.

Программное обеспечение для развитой обработки данных

Количественное оценивание риска, его сравнительная оценка подразумевает выполнение сложных расчетов с возможностью их оперативной коррекции. Для реализации в реальном времени этих функций в серверное ПО «IngortechSCADA» интегрировано ядро интерпретатора языка Lua. Специалисты разрабатывают скрипты на языке Lua на основе разработанного шаблона, который реализует требуемые расчеты и формирует значения переменных, соответствующих результатам количественного оценивания риска.

Анализ рисков, выявление опасностей и их прогнозирование основываются на статистической обработке больших массивов данных на основе технологий data fusion, data mining и big data, что требует использования мощных математических пакетов и специализированных библиотек математических функций. Для реализации возможности подобных вычислений и построения ИА ядра МФСБ разрабатывается программный интерфейс серверного ПО «IngortechSCADA» с сервером инженерной математики. В качестве языка программирования выбран язык R²⁸, являющийся стандартом для статистической обработки данных и работы с графикой и свободной программной средой вычислений с открытым исходным кодом.

Программное обеспечение для оперативного информирования специалистов

Еще одной важной задачей в рамках СУОТ и СУПБ является служба SMS- и Email-информирования, которая оповещает работников шахты, угольной компании, контролирующих и надзорных органов об опасных событиях и пр. Информирование осуществляется: по отдельным переменным и состояниям (отказ датчика, замыкание контакта, включение ТО и пр.); по фактам загазирования; по отказам АГЗ, других защит и блокировок; периодически. Служба SMS- и Email-информирования предусматривает возможность формирования сообщений на основе создаваемых шаблонов, в которые могут входить данные из конфигурации ПО

²⁸ URL: <https://www.r-project.org/>

«IngortechSCADA»: названия предприятия, объекта и точки контроля; дата и время события; названия, значения и статусы переменных; значения пороговых уровней и пр.

Прикладное программное обеспечение

Прикладное программирование КУШ-ПЛК производится на языках IEC 61131-3 в среде CODESYS, которые позволяют задавать сложные алгоритмы обработки данных с использованием логических, арифметических и динамических преобразований и использовать ПЛК как универсальный элемент систем измерения, контроля, диспетчеризации и автоматизации. Критически важным этапом внедрения МФСБ и разных АС, входящих в ее состав, являются тестирование и отладка различных видов обеспечения, целью которых является проверка функционирования управляющей программы в разных режимах, проверка полноты, непротиворечивости в работе. Такая комплексная отладка доступна только при наличии сигналов от всех источников информации и работе АС в реальном масштабе времени. Нами разработан метод испытаний и стенд, который позволяет снизить риски неуспешного внедрения и эксплуатации [30] и обеспечивает: проверку на этапе проектирования технических решений в полном объеме; проверку технических и проектных решений в аварийных режимах, при помехах, отказах, маловероятных и опасных сочетаниях условий и параметров работы, что принципиально недостижимо при отладке и тестировании на реальном объекте; проведение испытаний на «прочность», т. е. до отказа выполнения функций АС. Стенд ориентирован на ТП с постоянными времени в диапазоне 10^0 - 10^2 с, которые характерны для ТП в угольных шахтах.

ПО «IngortechSCADA» соответствует требованиям, предъявляемым к ПО средств измерения [90] и включено в описание типа систем «Микон 1Р» и «Микон III».

В Приложении Г приведены копии экранов для различных частей ПО «IngortechSCADA».

Метрологическое обеспечение

Нами разработаны для использования в составе МФСБ следующие измерительные системы (ИС) и средства измерений (СИ): системы газоаналитические шахтные многофункциональные «Микон 1Р» (Свидетельство RU.C.31.001.A № 54986) и «Микон III» (Свидетельство RU.C.31.001.A № 56555). Также в МФСБ в качестве СИ используются индивидуальные газоанализаторы M02 (Свидетельство RU.C.31.081.A № 57653).

Метрологическое обеспечение системы «Микон III» соответствует требованиям НД [87, 90, 172, 196, 201] и принципам построения МФСБ, которые изложены в настоящей работе. Система «Микон III» является многоканальной стационарной автоматической ИС непрерывного действия, в которой реализованы измерительные каналы (ИК): объемных долей метана, до взрывоопасных концентраций метано-водородной смеси, оксида и диоксида углерода, водорода, оксида и диоксида азота, кислорода; скорости воздушного потока; массовой концентрации пыли; абсолютного и дифференциального давления воздуха и абсолютного давления жидкостей; зазора и

среднего квадратического значения (СКЗ) виброскорости; температуры. Количество ИК на конкретном ГТО определяется проектной документацией. Основные метрологические характеристики системы «Микон III» приведены в Приложении Д.

Особенности разработанного метрологического обеспечения заключаются в следующем: для снижения стоимости владения ИС не используется покомпонентная поверка частей ИК, вместо нее применяется поверка ПИП и поверка ИК в целом; в течение интервала времени между поверками системы допускается замена ПИП без внеочередной поверки ИС при условии калибровки ИК, в котором он был заменен; в случае добавления новых ИК в эксплуатируемую ИС поверке подвергаются только добавляемые ИК.

5.4 Примеры испытаний и внедрения многофункциональной системы безопасности

В общей сложности с 1996 г. внедрено более 195 подсистем МФСБ на угольных шахтах, рудниках и других горных предприятиях России от архипелага Шпицберген до острова Сахалин, при этом наибольшее количество разработанных систем находится в эксплуатации на угольных шахтах Кузбасса. В настоящее время разработанные МФСБ и ее подсистемы эксплуатируются на 41 % действующих угольных шахт России. Работы на различных этапах жизненного цикла проводятся для 75 систем: проектирование ведется для 54 предприятий; поставка оборудования, монтажные и пуско-наладочные работы – для 22. Успешно решены задачи: контроля аэрологического состояния, в том числе раннего обнаружения пожаров, контроля работы ГОУ, ДГУ и ДГС и пр. более чем на 100 горных предприятиях (системы «Микон III» и «Микон 1Р»); технологического позиционирования (системы СПГТ-41 и СМС «ИСЕТЬ») на 28 шахтах; аварийного оповещения (комплекса СУБР-1П) на 25 шахтах и рудниках; поиска застигнутых аварией людей (СПАС «Микон») на 13 шахтах и рудниках; регионального, локального и текущего контроля и прогноза состояния горного массива (система «Микон-ГЕО») на 2 шахтах. На Рисунке 5.13 приведена диаграмма, на которой показаны доли внедренных подсистем, реализующих различные функции МФСБ (в записи «X; Y %»: X – количество внедренных систем, Y – процент от общего количества внедренных систем). В Приложении Е приведены перечень предприятий горной промышленности, на которых внедрены и эксплуатируются МФСБ «ИНГОРТЕХ» или ее отдельные подсистемы, и перечень проектов МФСБ на разных этапах реализации.

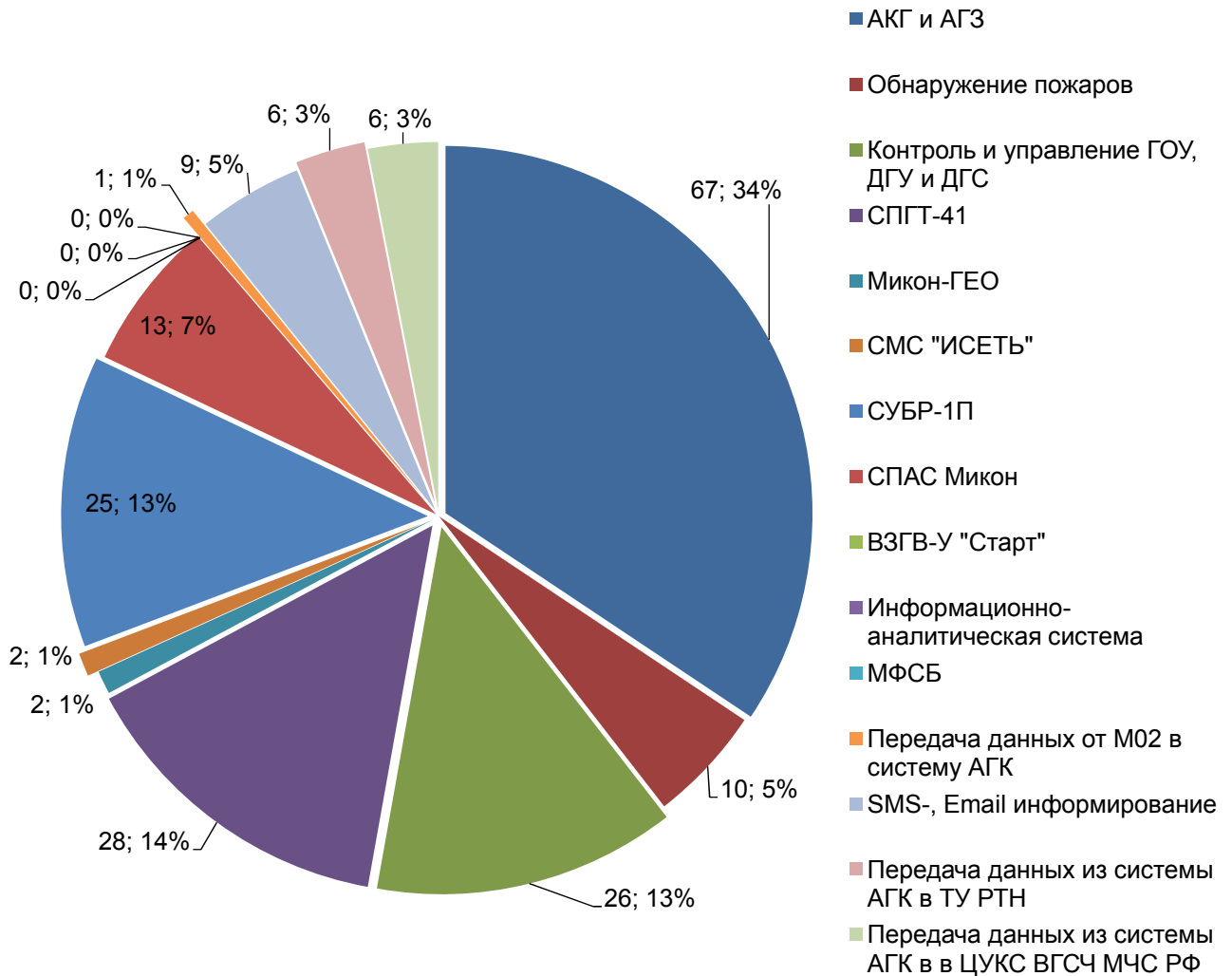


Рисунок 5.13 – Эксплуатируемые МФСБ ООО «ИНГОРТЕХ» и ее подсистемы
(ноябрь 2015 г.)

5.5 Выводы

1 Исследовано влияние «человеческого фактора» в системе «человек – газоаналитические средства – производственная среда», являющуюся критически важным средством коллективной и индивидуальной защиты работников от опасных и вредных производственных факторов. Проведен анализ и классификация типовых воздействий на приборы и средства контроля параметров природной и техногенной среды, оказывающих влияние на их функциональную надежность и информационную достоверность. Предложены методы парирования соответствующих типовых угроз. Разработана концептуальная модель стационарного устройства аэрологического контроля повышенной функциональной надежности, которая позволяет решить следующие задачи: а) обеспечить выполнение требований НД; б) повысить функциональную надежность и

информационную достоверность измерений за счет компенсации влияющих факторов, резервирования чувствительных элементов, исключения работников из критически важных операций по обслуживанию стационарных газоанализаторов; в) контролировать положение чувствительного элемента метанометра в горной выработке и относительно горных машин по высоте и расстоянию; г) использовать единое время в масштабах всей МФСБ; д) улучшить эксплуатационные свойства за счет минимизации состава оборудования, упрощения монтажа и обслуживания.

2 Для реализации выработанных концепции и принципов построения МФСБ разработано методическое обеспечение, которое нашло свое отражение и реализовано в нормативных документах, определяющих единую терминологию, функциональное назначение, классификацию, технические требования и методы испытаний: а) Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, посвященных различным аспектам разработки, проектирования и использования на угольных шахтах МФСБ и ее подсистем: «Правила безопасности угольных шахт»; «Методические рекомендации о порядке проведения аэрогазового контроля в угольных шахтах РД-15-06-2006»; «Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах»; б) Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии: «ГОСТ Р 56141-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок. Общие технические требования»; «ПНСТ 16-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система контроля аэрологического состояния. Общие технические требования и методы испытаний»; «ПНСТ 17-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система наблюдения и оповещения об аварии людей. Общие технические требования»; «ПНСТ 18-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система поиска застигнутых аварией людей и определение их местоположения. Общие технические требования».

3 Разработано техническое обеспечение МФСБ и ее различных подсистем, реализующее требования нормативных документов в части: а) аэрологической безопасности, включая контроль и управление вентиляционными, газоотсасывающими установками, дегазационными установками и системами, аэрологический контроль и автоматическую газовую защиту; б) локального и регионального контроля и прогноза состояния горного массива; в) противопожарной защиты, включая обнаружение пожаров на ранних стадиях и управления пожарным водоснабжением; г) определения местоположения работников, транспорта и подвижного оборудования; д) голосовой оперативной связи; е) взрывозащиты горных выработок.

Разработано метрологическое обеспечение системы контроля аэрологического состояния.

4 Разработано прикладное программное обеспечение «IngortechSCADA»:

а) реализующее требования нормативных документов, в части: сбора, хранения, защиты и предоставления данных о контролируемых параметрах, характеризующих разные виды опасностей, интегрируя их от различных измерительных, автоматизированных и информационных систем; построения информационных систем для сбора оперативной информации по аварийности и ее предоставления специалистам МЧС РФ и Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору;

б) обеспечивающее возможность резервирования и каскадирования хранилищ данных, в том числе пространственно распределенных;

в) включающее средства комплексной отладки, которые позволяют проводить: проверку на этапе проектирования технических решений в полном объеме; проверку технических и проектных решений в аварийных режимах, при помехах, отказах, маловероятных и опасных сочетаниях условий и параметров работы;

д) предусматривающее построение информационно-аналитического ядра МФСБ и развитие ее функций, обеспечивающих информационную поддержку процессов менеджмента риска эксплуатации угольных шахт на основе развитой обработки данных.

5 Разработанное с непосредственным участием автора методическое, техническое, метрологическое, алгоритмическое и программное обеспечение реализовано в МФСБ «ИНГОРТЕХ» и ее подсистемах, которые с 1996 г. были внедрены более чем на 195 угольных шахтах, рудниках и других горных предприятиях России. В 2016 г. разработанные МФСБ и ее подсистемы эксплуатируются на 41 % действующих угольных шахт России, проектирование ведется для 54 предприятий, поставка оборудования, монтажные и пуско-наладочные работы – для 22. При этом успешно решены задачи: обеспечения аэрологической безопасности, в том числе раннего обнаружения пожаров, контроля и управления работой вентиляционных и газоотсасывающих установок, дегазационных установок и систем более чем на 100 горных предприятиях; локального и регионального контроля и прогноза состояния горного массива на 2 шахтах; определения местоположения персонала на 28 угольных шахтах и рудниках; поиска застигнутых аварией людей на 13 угольных шахтах и рудниках.

Заключение

В результате проведенного исследования предложено решение важной народно-хозяйственной задачи – повышение уровня охраны труда и промышленной безопасности за счет применения риск-ориентированного подхода и multifunctional систем безопасности в СУОТ и СУПБ, которые обеспечивают мониторинг и оценку опасных и вредных производственных факторов, параметров природной и техногенной среды, прогнозирование состояний техногенной среды, опасных явлений, ситуаций и зон, коллективную и индивидуальную защиту работников, управление рисками деятельности работников и эксплуатации предприятия в целом на основе комплексной обработки данных от измерительных и информационно-управляющих систем, контролирующих горно-геологические, физико-химические, аэрологические, технологические и производственные процессы угольной шахты. Это достигается путем использования разработанных принципов построения МФСБ, положений методологии управления рисками деятельности работников и эксплуатации угольных шахт, что подтверждается практической реализацией и широким внедрением разработанных МФСБ и ее подсистем на угольных шахтах России.

Основные результаты диссертационной работы

1 Разработано обобщенное математическое описание угольной шахты как ОПО и процессов возникновения и развития опасных явлений и аварий, отличающееся комплексным учетом природных, техногенных и технических условий, характеристик опасностей, технологических и производственных процессов, требований нормативных документов, и позволяющее формулировать и решать задачи оценивания и управления риском деятельности работников и эксплуатации предприятия и его частей и синтеза МФСБ для решения задач повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности.

2 Показано, что эффективное управление угольной шахтой и повышение уровня охраны труда и промышленной безопасности возможно в рамках риск-ориентированного подхода путем менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, что подразумевает постоянное количественное оценивание риска и осуществимо в рамках МФСБ.

3 Впервые выявлено, что эксплуатируемые на шахтах основные средства коллективной защиты от опасных аэрологических факторов – системы АГЗ, являющиеся важными средствами обеспечения безопасных условий труда, должны иметь уровень полноты функциональной безопасности, который недостижим в части обеспечения надежности, возможности и кратности резервирования, условий и качества эксплуатации и обслуживания. Установлено, что использование систем АГЗ эффективно в рамках применения многоуровневых многокомпонентных систем обеспечения безопасности, реализуемых на основе МФСБ: на I уровне должны приме-

няться внешние средства снижения риска, исключая возможность возникновения опасных ситуаций; на II уровне – системы, связанные с безопасностью, используемые в предаварийных и аварийных ситуациях и режимах и призванные не допускать их; на III уровне – другие средства снижения риска, уменьшающие ущерб. Основу МФСБ должны составлять приборы, системы и методы мониторинга и оценки природной и техногенной сред угольной шахты, которые обеспечивают коллективную защиту работников от воздействия опасных и вредных факторов, контроль, оценку, управление и прогноз рисков деятельности работников и эксплуатации угольной шахты. Показано, что МФСБ необходимо рассматривать как систему менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, которая обеспечивает информационную поддержку принятия решений в СУОТ и СУПБ на основе результатов контроля опасностей и оценки рисков, выработку и осуществление управляющих воздействий на технологические и производственные процессы в режимных, проектных и запроектных опасных ситуациях или нормальных, предаварийных и аварийных режимах. Сформулированы основные технические требования в подсистемам МФСБ.

4 Формализована постановка и выявлены пути решения задачи оптимального синтеза МФСБ, обеспечивающей достижение допустимого риска при минимальных затратах на реализацию за счет выбора подсистем (способов реализации функции) МФСБ.

5 Разработана обобщенная модель количественного оценивания текущего риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты, базирующаяся на: координатных законах поражения; требованиях нормативных документов и справочных данных о предельных и пороговых значениях опасных и вредных факторов; моделях движения ударной воздушной волны и газовых смесей; логико-вероятностных методах оценивания иницирующих условий и событий, приводящих к различным сценариям возникновения и развития опасных ситуаций и аварии; результатах измерения и контроля параметров природной и техногенной сред; данных о физико-химических свойствах горных пород и условиях взрываемости пылегазовых смесей. На основе разработанной модели количественного оценивания риска проведена классификация средств и систем, используемых для обеспечения безопасных условий труда и безопасности эксплуатации угольной шахты, по отношению к структуре, целям и задачам МФСБ, условиям применения, особенностям реализации и основным техническим требованиям.

6 Для совершенствования государственного и общественного контроля за соблюдением требований охраны труда и промышленной безопасности предложено использовать: для определения структур рисков деятельности работников и эксплуатации угольной шахты и ранжирования опасностей – спектры и спектрограммы риска; для оперативной оценки риска и его составляющих при эксплуатации шахты и при работе с надзорными и контролирующими органами – интегральные экономический и социально-экономический индикаторы и индикатор по-

тенциального риска.

7 Предложено использовать численно-вероятностные методы при текущем оценивании опасных и вредных факторов и проведении вентиляционных расчетов, что позволяет на основе результатов контроля параметров природной и техногенной сред получать оценки статистических характеристик, недоступных прямому измерению параметров, характеризующих опасные и вредные факторы, и прогнозировать их и риски деятельности работников и эксплуатации шахты.

8 Разработан метод оперативного обнаружения и определения местоположения пожаров, основанный на результатах контроля аэрологического состояния и использовании упрощенной аэрогазодинамической модели, отличающийся возможностью обнаружения очага пожаров в темпе технологических процессов с точностью до части горной выработки и формированием показателей, характеризующих пожарную составляющую для количественного оценивания риска. Разработан метод активной параметрической идентификации упрощенной аэрогазодинамической модели горной выработки.

9 Для повышения надежности коллективной защиты работников от опасных аэрологических факторов исследовано влияние «человеческого фактора» на систему «человек – газоанализатор – производственный процесс», проведен анализ и классификация типичных воздействий на средства аэрологического контроля, на основе которого разработана концептуальная модель стационарного устройства аэрологического контроля повышенной надежности и информационной достоверности.

10 На основе разработанных принципов, методологии и концептуальных моделей разработаны методическое (в том числе в интересах Ростехнадзора и Росстандарта), техническое, метрологическое, алгоритмическое и программное обеспечение МФСБ и ее подсистем, которые внедрены более чем на 195 угольных шахтах и рудниках. Разработаны информационные системы для сбора информации по аварийности и совершенствования методологии осуществления государственного надзора в интересах УВГСЧ МЧС РФ.

Основные цели дальнейших исследований основаны на полномасштабном внедрении на шахтах информационно-аналитических подсистем МФСБ, обеспечивающих текущее количественное оценивание риска деятельности работников и эксплуатации угольных шахт, связаны с реализацией действующих систем менеджмента риска, сбором и обработкой данных и получением новых знаний в области повышения уровня ОТ и ПБ.

Список сокращений и условных обозначений

- АГК – аэрогазовый (аэрологический) контроль
АГЗ – автоматическая газовая защита
АРМ – автоматизированное рабочее место
АС – автоматизированная система
АСУ – автоматизированная система управления
АЭ – аппарат электроснабжения
БД – база данных
БВР – буровзрывные работы
ВАБ – вероятностный анализ безопасности
ВВ – взрывчатые вещества
ВГСЧ – военизированная горноспасательная часть
ВЗГВ – взрывозащита горных выработок
ВКПВ – верхний концентрационный порог взрываемости
ВМП – вентилятор местного проветривания
ГДЯ – газодинамическое явление
ГОУ – газоотсасывающая установка
ГС – газовая смесь
ГТО – горно-технологический объект
ДГУ – дегазационная установка
ДГС – дегазационная сеть
ЕДП – единый диспетчерский пункт
ИА – информационно-аналитическая
ИАС – информационно-аналитическая система
ИК – измерительный канал
ИС – измерительная система
ИТР – инженерно-технический работник
ИУС – иницирующие условия и события
КИПиА – контрольно-измерительные приборы и средства автоматики
КУШ – контроллер универсальный шахтный
ЛВ – логико-вероятностный
ЛПР – лицо, принимающее решение
МВС – метановоздушная смесь
МФСБ – многофункциональная система безопасности

МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

НД – нормативная документация или нормативный документ

НДС – напряженно-деформированное состояние

НКПВ – нижний концентрационный порог взрываемости

НЦУКС – национальный центр управления кризисными ситуациями МЧС России

ОМ – относительная метанообильность

ОПО – опасный производственный объект

ОТ – охрана труда

ПАЗ – противоаварийная защита

ПБ – промышленная безопасность

ПГС – поверочная газовая смесь

ПДК – предельно допустимая концентрация

ПИП – первичный измерительный преобразователь

ПКСП – пункт коллективного спасения персонала

ПЛА – план ликвидации аварий

ПЛК – программируемый логический контроллер

ПМВС – пылеметановоздушная смесь

ПП – производственный процесс

ППС – пункт переключения в самоспасатели

ПРВ – плотность распределения вероятностей

ПТК – программно-технический комплекс

ПУ – пороговое устройство

РАГС – регистратор аэрогазового состояния

Росстандарт – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

Ростехнадзор – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

СИ – средство измерения

СКАС – система контроля аэрогазового состояния

СКЗ – среднее квадратическое значение

СЛП – система локального поиска

СМИС – структурированные системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений

СН – система наблюдения

СОА – система оповещения об аварии

- СП – система поиска
- СПИН – система передачи информации
- СУДБ – система управления базой данных
- СУОТ – система управления охраной труда
- СУПБ – система управления промышленной безопасностью
- УСО – устройство удаленного сопряжения с объектом
- ТО – технологическое оборудование
- ТП – технологический процесс
- ТУ – технические условия
- УВВ – ударная воздушная волна
- ФАЛ – функция алгебры логики
- ШПШ – шахтная полевая шина
- ЦУКС – центр управления кризисными ситуациями МЧС России
- ЦЭВМ – цифровая электронная вычислительная машина
- ЧВ – численно-вероятностный
- ЭЭПС – электрические, электронные и программируемые системы
- ERP – enterprise resource planning, планирование ресурсов предприятия
- MES – manufacturing execution system, система управления производственными процессами
- OPC – OLE for Process Control, программная технология связывания и внедрения объектов в автоматизации
- RFID – radio frequency identification, радиочастотная идентификация
- SCADA – supervisory control and data acquisition, диспетчерское управление и сбор данных

Список терминов

В работе применены следующие термины с определениями или ссылками на источники:

аварийное оповещение; зона наблюдения; оборудование индивидуальное; объект наблюдения; ошибка наблюдения; пикет; работник; система определения местоположения персонала в горных выработках шахты; система наблюдения (СН); сигнал аварийного оповещения; система оповещения об аварии (СОА); функциональное состояние: термины по [197];

Примечание – Так как тяжесть последствий аварии напрямую зависит от своевременной эвакуации людей за пределы опасной зоны в начальный период возникновения и развития аварии, то в настоящей работе принято, что системы аварийного оповещения должны удовлетворять следующим требованиям: 1) оповещать персонал во всех зонах подземных горных выработок; 2) обеспечивать прием сигналов оповещения каждым находящимся в подземных выработках работником; 3) сохранять работоспособность, как во время, так и после возникновения аварийной ситуации, и обладать высоким коэффициентом готовности; 4) задержка по времени оповещения не должна превышать нескольких десятков секунд; 5) объем передаваемой информации должен быть достаточен для понимания персоналом характера аварии и путей эвакуации;

авария; опасный производственный объект (ОПО); промышленная безопасность (ПБ); система управления промышленной безопасностью (СУПБ): термины по [247];

Примечание – В работе выделяются: авария запроектная – это авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями и сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа и реализацией ошибочных решений персонала; авария проектная – авария, для которой проектом определены исходные и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие ограничение последствий аварии установленными пределами; авария гипотетическая – это авария с непредсказуемыми вариантами и сценариями развития с максимально возможными ущербами, жертвами и разрушениями, после чего ОПО не подлежит восстановлению;

автоматизированная система (АС); автоматизированное рабочее место (АРМ); программно-технический комплекс (ПТК): термины по [77];

анализ риска; вероятность; идентификация риска; количественная оценка риска; менеджмент риска; мониторинг риска; опасность; оценивание, оценка риска; риск допустимый; сравнительная оценка риска; управление риском; уровень риска: термин по [83];

архитектура; интероперабельность; масштабируемость; открытая система: термины по [88];

аудит: термин по [80];

атмосфера рудничная; автоматическая газовая защита (АГЗ); аэрогазовый контроль, аэрологический контроль (АГК); аэрологическое состояние; газоанализатор; головной светильник; контроль, мониторинг, прогнозирование; метанометр; надзорные и контролирующие органы; отказ опасный; параметры аэрологического состояния; пожар; пороговый уровень; пороговое значение; пороговое устройство; проверка контрольная; режим работы аварийный, нормальный, предаварийный; сигнализация предупредительная; сигнализация предаварийная; система контроля аэрологического состояния горных выработок; система противоаварийной защиты (ПАЗ); ситуация аварийная; ситуация предаварийная; средства и системы защиты от вредного воздействия аварии и спасения: производственные и технологические системы и средства снижения риска аварий; состояние аэрогазовое; состояние аэрологическое; состояние безопасное; стационарный; функция безопасности: термины по [196];

барьер безопасности: термин по [215];

вероятность: термин по [82];

взрыв: термин по [76];

взрывозащита горных выработок; заслон; поражающие факторы взрыва; система взрывозащиты горных выработок: термины по [89];

внешние средства (системы) снижения риска (ВС); ошибка; программное обеспечение; риск допустимый: термины по [97];

вредный производственный фактор; опасный производственный фактор; охрана труда; несчастный случай на производстве; безопасные условия труда, безопасность труда; средства индивидуальной и коллективной защиты работников: термины по [249];

датчик; измерительный канал (ИК); измерительная система (ИС); термины по [90];

архитектура; вред; данные; другие средства (системы) снижения риска (ДС); канал; контрольная проверка; опасность; опасная ситуация; опасное событие; охват диагностикой; диагностический охват; полнота безопасности; разумно предсказуемое неправильное использование; режим работы непрерывный, с высокой частотой запросов; система, связанная с безопасностью (СБ); состояние безопасное; спецификация требований к функциям безопасности; функциональная безопасность; функция безопасности; электрические, электронные и программируемые системы: термины по [98];

диапазон измерения; метрологические характеристики; средства измерения (СИ): термины по [214];

загазирование: термин по [245];

зона поиска; оборудование переносное; система локального поиска (СЛП); система

поиска застигнутых аварией людей (СП); специальный режим: термины по [198];

зона контроля (в задаче обнаружения пожаров): это часть горной выработки, которая ограничена точками контроля, в которых установлены датчики или осуществляется объединение либо разделение воздушных потоков, или изменяется сечение выработки, при этом зоны контроля, для которых может быть проведено определение местоположения очагов пожаров, ограничены точками контроля, в которых контролируются содержание оксида углерода и скорость движения воздуха;

конфигурация; режим реального времени: термины по [67];

коэффициент готовности; оператор; отказ; сбой: термины по [75];

лицо, принимающее решение (ЛПР): термин по [196];

многофункциональная система безопасности; пожар экзогенный, пожар эндогенный: термины по [207];

надежность человеческого фактора; отказ; ошибка; ошибка оператора: термины по [102];

нормативные документы (НД): термин по [66];

охрана труда (ОТ): термин по статье 209 Трудового кодекса Российской Федерации;

объект контроля (в задаче обнаружения пожаров): одна или несколько горных выработок, или их части, в которых обеспечивается обнаружение признаков пожаров, при этом объект контроля делится на зоны контроля;

первичный измерительный преобразователь (ПИП): датчик;

план ликвидации аварии (ПЛА): документ, описывающий возможные сценарии возникновения и развития аварий и действия по их локализации и ликвидации;

поражающий фактор: термин по [81];

предельно допустимая концентрация (ПДК): термин по [72];

радиосегмент: совокупность горных выработок, в которых расположены ретрансляторы СМС «ИСЕТЬ», которые образуют непрерывную цепочку устройств, взаимодействующих друг с другом в радиэфире с единым трафиком;

реципиент: объект, терпящий ущерб в результате воздействия на него поражающих факторов аварии;

риск; риск допустимый; ущерб: термины по [131];

риск аварии: термин по [171];

риск интегрированный: комплексный показатель прогнозируемого полного ущерба, нанесенного всем реципиентам от всего спектра сценариев возможных аварий на ОПО [144];

риск потенциальный: пространственное и временное распределение частоты реализации поражающего воздействия [144];

сигнал: термин по [79];

система контроля и прогноза газодинамических явлений: совокупность технических, информационных, программных, организационных и других средств, обеспечивающих систематическое наблюдение за массивом горных пород с обеспечением контроля и (или) измерения параметров, характеризующих его состояние, проведение анализа с целью предсказания возможности гео- и газодинамических явлений и принятие решения о необходимости и составе корректирующих и предупреждающих действий;

система пожаротушения: совокупность технических, информационных, программных, организационных, других средств и персонала, предназначенных для обнаружения пожара, пожарной сигнализации, предотвращения развития, ликвидации пожара и защиты от опасных факторов пожара;

система управления базой данных (СУБД): термин по [78];

система управления охраной труда (СУОТ): термин по [67, 69];

система управления промышленной безопасностью (СУПБ): термин по [202, 247];

событие (ситуация, авария) гипотетическое: событие (ситуация), возникающее при непредсказуемых вариантах и сценариях развития аварии с максимально возможными ущербами, жертвами и разрушениями, не подлежащими восстановлению;

событие (ситуация, авария) запроектное: событие (ситуация), возникающее при авариях с человеческими жертвами и значительным ущербом, повреждениями и разрушениями, подлежащими восстановлению, вызываемая неучтенными для проектного события (ситуации, аварии) исходными состояниями и сопровождающееся дополнительными по сравнению с проектными событиями (ситуациями, авариями) отказами систем безопасности и реализациями ошибочных действий персонала (на основе определения в [81]);

событие (ситуация, авария) проектное: событие (ситуация), возникающее при выходе за пределы номинальных (штатных) режимов функционирования с предсказуемыми и приемлемыми последствиями, для которых проектом определены исходные и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие ограничения последствий аварий установленными пределами (на основе определения в [81]);

событие (ситуация) режимное: событие (ситуация), возникающее при штатном функционировании с предсказуемыми незначительными последствиями;

средства АГЗ: часть системы АГК, обеспечивающая блокирование производственной деятельности в опасных аэрогазовых состояниях без участия человека;

средства индивидуального газоанализа: портативное средство измерения содержания одного или нескольких компонентов в газовой смеси, предназначенное для индивидуального использования;

структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС): термин по [71];

токсодоза: термин по [72];

точка контроля (в задаче обнаружения пожаров): место в горной выработке на границе зоны контроля, в которой установлены датчики или осуществляется объединение либо разделение воздушных потоков, или изменяется сечение выработки;

управление риском: термин по [85];

уровень полноты безопасности (SIL): термин по [98];

enterprise resource planning (ERP): управление ресурсами предприятия; корпоративная информационная система для автоматизации планирования, учета, контроля и анализа всех основных бизнес-процессов и решения бизнес-задач в масштабе предприятия (организации);

manufacturing execution system (MES): система управления производственными процессами; специализированное прикладное ПО, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства;

OLE for Process Control (OPC): программные технологии, предоставляющие единый интерфейс для управления объектами автоматизации и ТП;

supervisory control and data acquisition (SCADA): диспетчерское управление и сбор данных; специализированное прикладное ПО, предназначенное для разработки и (или) обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

Список литературы

1. Абрамов, Ф. А. Воздухораспределение в вентиляционных сетях шахт / Ф. А. Абрамов, Р. Б. Тяп, В. Я. Потемкин. – Киев : Наукова думка, 1971. – 135 с.
2. Аварии в шахтах Кузбасса. Некоторые причины их возникновения [Электронный ресурс] / В. А.Скрицкий. – режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/prombez/892-avarii-v-shakhtakh-kuzbassa -nekotorye-prichiny-ikh -vozniknoveniya>.
3. Аварии на шахтах Кузбасса [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://cyclowiki.org/wiki/Аварии_на_шахтах_Кузбасса.
4. Аварии легче предупредить, чем ликвидировать [Электронный ресурс] / А. Ф. Син, В. В. Аксёнов. – режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/prombez/343-avariyu-legche-predupredit-chem-likvidirovat>.
5. Айруни, А. Т. Взрывоопасность угольных шахт / А. Т. Айруни, Ф. С. Клебанов, О. В. Смирнов. – М. : Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 264 с.
6. Азбель, М. Д. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт / М. Д. Азбель, С. С. Кобылкин // Горная техника. – 2013. – № 1. – С. 52-55.
7. Акимов, В. А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М. : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
8. Александров С. Н., Булгаков Ю. Ф., Яйло В. В. Охрана труда в угольной промышленности: Учебное пособие для студентов горных специальностей высших учебных заведений / Под общей ред. Ю.Ф. Булгакова. – Донецк : РИА ДонНТУ, 2007. – 516 с.
9. Алексеев, В. В. Логико-вероятностный подход к управлению риском и эффективностью в структурно-сложных системах / В. В. Алексеев, Е. Д. Соложенцев // Информационно-управляющие системы. – 2009. – № 6. – С. 67-71.
10. Анатольев, С. Обзор англоязычных учебников по анализу временных рядов / Станислав Анатольев // Квантиль. – 2008. – № 5. – С. 49-55.
11. Аношина, И. М. Расчет техногенного риска аварии на угольных шахтах / И. М. Аношина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 2. – С. 130-138.
12. Арженовский, С. В. Статистические методы прогнозирования: учебное пособие / С. В. Арженовский, И. Н. Молчанов. – Ростов на Дону : Рост. гос. экон. унив., 2001. – 74 с.
13. Артемьев, В. Б. Концепция опережающего контроля как средства существенного снижения травматизма / В. Б. Артемьев, А. Б. Килин, Г. Н. Шаповаленко и др. // Уголь. – 2013. – № 2. – С. 82-85.

14. Артемьев, В. Б. Организационный аспект обеспечения безопасности угледобычи / В. Б. Артемьев, В. А. Галкин // Уголь. – 2009. – № 7. – С. 20-22.
15. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 228 с.
16. Аэрогазодинамика выемочного участка / Ф. А. Абрамов, Б. Е. Грецингер, В. В. Соболевский и др. – М. : Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 232 с.
17. Бабенко, А. Г. Анализ основ построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт / А. Г. Бабенко // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 3. – С. 40-47.
18. Бабенко, А. Г. Количественное оценивание текущего риска эксплуатации угольной шахты / А. Г. Бабенко // Изв.Вузov. Горный журнал. – 2016. – № 4. – С. 24-35.
19. Бабенко, А. Г. Комплексная реализация требований пункта 41 Правил безопасности в угольных шахтах / А. Г. Бабенко, С. М. Оржеховский // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 11. – С. 14-18.
20. Бабенко, А. Г. Методология создания математической модели для оценки уровня безопасности угольной шахты / А. Г. Бабенко, О. М. Большунова // Тезисы докладов межд. конф. «Энергоэффективность энергетического оборудования». – СПб. : изд-во Нац. минерально-сырьевого университета «Горный», 8-9 октября 2014 г. – С. 51–55.
21. Бабенко, А. Г. Новое поколение шахтных информационно-управляющих систем и средств обеспечения безопасности на угольных шахтах / А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин // Изв. вузов. Горный журнал. – 2010. – № 1 – С. 73-84.
22. Бабенко, А. Г. О задаче оптимального проектирования многофункциональных систем безопасности / А. Г. Бабенко, А. В. Вильгельм // I Международная научно-техническая конференция «Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки», г. Екатеринбург, 6-7 апреля 2016 г.: сборник докладов; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. – С. 47–53.
23. Бабенко, А. Г. Обеспечение комплексной безопасности угольной шахты / А. Г. Бабенко, Э. С. Лапин // Сборник научных трудов. Выпуск 1 «Аэрология и безопасность горных предприятий». – М. : Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013 – С. 118-123. (Библиотека горного инженера).
24. Бабенко, А. Г. Обнаружение и локализация пожаров на ранних стадиях с помощью многофункциональной системы безопасности угольных шахт / А. Г. Бабенко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2014. – № 8. – С. 53-64.

25. Бабенко, А. Г. Основы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт / А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин // Сборник тезисов докладов III Междунар. научно-практич. конференции «ТЕХГОРМЕТ – 21 ВЕК» «Современные технологии управления процессами добычи и переработки полезных ископаемых». 15-16 октября 2012 г. – СПб. : изд-во Нац. минерально-сырьевого университета «Горный». – С. 36-38.
26. Бабенко, А. Г. О требованиях к функциональной безопасности систем автоматической газовой защиты угольных шахт / А. Г. Бабенко, П. А. Малыгин // Изв. вузов. Горный журнал. – 2011. – № 1. – С. 100-110.
27. Бабенко, А. Г. Принципы построения высоконадежного шахтного газоанализатора / А. Г. Бабенко, Д. В. Решетников // I Международная научно-техническая конференция «Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки», г. Екатеринбург, 6-7 апреля 2016 г.: сборник докладов; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2016. – С. 91–99.
28. Бабенко, А. Г. Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе / А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин, А. В. Вильгельм и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 1. – С. 16-22.
29. Бабенко А. Г. Принципы построения технических систем, реализующих требования параграфа 41 ПБ 05-618-03 // Тезисы докладов на XIII междунар. конференции «Уголь-Майнинг России`2007».
30. Бабенко, А. Г. Пути развития систем АГК и индивидуального оснащения подземного персонала для обеспечения комплексной безопасности / А. Г. Бабенко, С. Н. Подображин, В. И. Шилов // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 12. – С. 20-23.
31. Бабенко, А. Г. Разработка инженерного стенда для комплексной всережимной отладки и тестирования систем автоматизации / А. Г. Бабенко, А. В. Виндекер // Известия вузов. Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 118-123.
32. Бабенко, А. Г. Структура системы оптимального управления добычным комплексом / А. Г. Бабенко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 50-59.
33. Бабенко, А. Г. Управление добычным комплексом с учетом аэрологического состояния / А. Г. Бабенко // Промышленная безопасность минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – Отдельный выпуск № 7. – С. 11-17.
34. Бабенко, А. Г. Шахтные информационно-управляющие системы / А. Г. Бабенко // Изв.вузов. Горный журнал. – 1999. – № 11-12. – С. 76-83.

35. Балакирев, В. С. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления / В. С. Балакирев, Е. Г. Дудников, А. М. Цирлин. – М. : Энергия, 1967. – 232 с.
36. Баловцев, С. В. Определение степени аэрологического риска на основе учета количественных показателей / С. В. Баловцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 53. – С. 179-185.
37. Баловцев, С. В. Оценка влияния человеческого фактора на аэрологический риск выемочных участков угольных шахт / С. В. Баловцев // Научный вестник МГГУ. – 2013. – № 1(34). – С. 8-17.
38. Белов, П. Г. Автоматизированное прогнозирование риска каскадных техногенных происшествий / П. Г. Белов // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – № 1(4). – С. 13-23.
39. Белов, П. Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности / П. Г. Белов. – Киев: КМУ ГА, 1997. – 426 с.
40. Беляев, Г. Н. Управление риском на технологических объектах / Г. Н. Беляев, И. М. Тетерин, В. Н. Яцуценко // Изв. Томского пол. ун-та. – 2008. – № 5(312). – С. 147–150.
41. Битюков, С. И. Метод статистического сравнения гистограмм: Препринт / С. И. Битюков, Н. В. Красников, А. Н. Никитенко и др. // ИФВЭ. – 2013. – № 21. – 10 с.
42. Благодарный, А. И. Автоматизированная система наблюдения, оповещения и поиска персонала при авариях в шахтах [Электронный ресурс] / А. И. Благодарный, О. З. Гусев, С. С. Журавлёв и др. // Горная Промышленность. – 2009. – № 1. – режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/prombez/687-avtomatizirovannaya-sistema-nablyudeniya-opoveshcheniya-i-poiska-personala-pri-avariyakh-v-shakhtakh>.
43. Благодарный, А. И. Программное обеспечение высоконадежной АСУ реального времени для предприятий горнодобывающей промышленности [Электронный ресурс] / А. И. Благодарный, Г. П. Чейдо // Горная Промышленность. – 2009. – № 2. – режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/prombez/678-programmnoe-obespechenie-vysokonadezhnoj-asu-realnogo-vremeni-dlya-predpriyatij-gornodobyvayushchej-promyshlennosti>.
44. Бобровников В. Н. Оценка метаноопасности при ведении очистных работ в районе геологических нарушений / В. Н. Бобровников, Ю. М. Погудин // Горный информационно-аналитический бюллетень, – 2006. – С.175-178.
45. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Кн. 1. : пер. с англ. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс; под ред. В.Ф. Писаренко. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
46. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Кн. 2. : пер. с англ. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс; под ред. В. Ф. Писаренко. – М. : Мир, 1974. – 197 с.

47. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М. Н. Нецепляев, А. И. Дюбимова, П. М. Петрухин и др. – М. : Недра, 1992. – 298 с.
48. Ботвенко, Л. А. Совершенствование системы управления охраной труда на угольных предприятиях: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Ботвенко Людмила Авельевна. – Кемерово, 2002. – 172 с.
49. Бригада проходчиков шахты «Талдинская-Западная 2» ОАО «СУЭК-Кузбасс» установила новый российский рекорд [Электронный ресурс] / НИИ-Кузбасс. – – режим доступа: <http://www.kuzbas.ru/more.php?UID=36936>.
50. Булгаков, Ю. Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах / Ю. Ф. Булгаков. – Донецк: НИИГД, 2001. – 280 с.
51. Быков, А. А. Об анализе риска, концепциях и классификации рисков / А. А. Быков, Б. Н. Порфирьев // Проблемы анализа рисков. – 2006. – Том 3. – № 4. – С. 319-337.
52. Быков, А. А. Проблема анализа безопасности человека, общества и природы / А. А. Быков, Н. В. Мырзин. – СПб. : Наука, 1997. – 247 с.
53. Ваганов, В. С. Многофункциональные системы безопасности, применяемые при производстве горных работ [Электронный ресурс] / В. С. Ваганов // Горная Промышленность. – 2014. – № 3(115). – режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/prombez/6930-mnogofunktsionalnye-sistemy-bezopasnosti-primenyaemye-pri-proizvodstve-gornyx-rabot>.
54. Вильгельм, А. В. Структура системы идентификации технических и технологических состояний горнотехнологических объектов и шахтных управляющих систем / А. В. Вильгельм, А. Г. Бабенко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2002. – № 2. – С. 27-32.
55. Васенин, И. М. Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты / И. М. Васенин, Э. Р. Шрагер, А. Ю. Крайнов, Д. Ю. Палеев и др. // Компьютерные исследования и моделирование. – 2011. – Том 3. – № 2. – С. 155-163.
56. Васенин, И. М. Моделирование процесса проветривания тупиковой выработки угольной шахты / И. М. Васенин, В. Н. Костеренко, А. Ю. Крайнов и др. // Байкальские чтения: Наноструктурные системы и актуальные проблемы механики сплошной среды (теория и эксперимент): Тезисы докладов научной конференции. (Улан-Удэ, 19–22 июля 2010 г.). – Ижевск : ИПМ УрО РАН, 2010. – С. 124–128.
57. Ващенко, В. И. Пыль угольных шахт / В. И. Ващенко, А. К. Носач, В. В. Яворович // Вести Донецкого горного института. – 2011. – Вып. 11. – С. 35-44.
58. Волков, И. К. Случайные процессы / И. К. Волков, С. М. Зуев, Г. М. Цветкова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 448 с.
59. Воронов, Р. В. Метод определения местоположения мобильных объектов в шахте [Электронный ресурс] / Р. В. Воронов, А. С. Галов, А. П. Мошевикин, А. М. Воронова, Т. В.

- Стёпкина // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 4. – режим доступа: <http://www.science-education.ru/118-13876>.
60. Востоков, В. Ю. К вопросу определения экономического эквивалента стоимости жизни среднестатистического человека / В. Ю. Востоков, Ф. В. Минаева, Ю. К. Чяснавичюс // Вест. СПб.-го ун-та ГПС МЧС России. – 2011. – № 1. – С. 74–84.
61. Гайдышев, И. Анализ и обработка данных: специальный справочник / И. Гайдышев. – СПб. : Питер, 2001. – 752 с.
62. Галов, А. С. Метод определения положения мобильного объекта в шахтах / А. С. Галов, А. Г. Миков, А. Г. Бабенко и др. // Промышленная безопасность минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – Отдельный выпуск № 7. – С. 349-357.
63. Герасимов, В. А. Численные операции гистограммной математики и их применение / В. А. Герасимов, Б. С. Добронев, М. Ю. Шустров // Автоматика и телемеханика. – 1991. – Вып. 2. – С. 83-88.
64. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2011 году [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://arch.gosnadzor.ru/osnovnaya_deyatelnost_slujby/otcheti-o-deyatelnosti-sluzhbi-godovie.
65. Годунов, С. К. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С. К. Годунов, А. В. Забродин, М. Я. Иванов и др. – М. : Наука, 1976. – 400 с.
66. ГОСТ 1.1-2002. Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов. – 2003. – 43 с.
67. ГОСТ 12.0.007-2009. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию. – М. : Издательство стандартов. – 2009. – 35 с.
68. ГОСТ 12.0.010-2009. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков. – М. : Издательство стандартов. – 2009. – 16 с.
69. ГОСТ 12.0.230-2007. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Общие требования. – М. : Издательство стандартов. – 2007. – 16 с.
70. ГОСТ 15971-90. Системы обработки информации. Термины и определения. – М. : ИПК Издательство стандартов. – 1991. – 14 с.
71. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М. : Стандартиформ. – 2005. – 25 с.

72. ГОСТ Р 22.8.05-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные работы при ликвидации последствий аварий на опасных химических объектах. Общие требования. – М. : ИПК Издательство стандартов. – 1999. – 7 с.
73. ГОСТ 22.0.05-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – М. : ИПК Издательство стандартов. – 2000. – 11 с.
74. ГОСТ 24032-80. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования. Методы испытаний. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 24 с.
75. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. – М. : ИПК Издательство стандартов. – 1990. – 38 с.
76. ГОСТ 31438.2-2011. Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Часть 2. Основополагающая концепция и методология (для подземных выработок). – М. : Стандартинформ. – 2013. – 32 с.
77. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 2009. – 16 с.
78. ГОСТ 34.321-96. Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель управления данными. – М. : ИПК Издательство стандартов. – 2001. – 27 с.
79. ГОСТ ИСО/МЭК 2382-1-99. Информационные технологии. Словарь. Часть 1. Основные термины [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://elib.sbras.ru:8080/jspui/handle/SBRAS/9193>.
80. ГОСТ Р ИСО 19011-2012. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. – М. : Стандартинформ. – 2013. – 42 с.
81. ГОСТ Р 22.0.05. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные и чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов. – 1995. – 12 с.
82. ГОСТ Р 50779.10-2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 46 с.
83. ГОСТ Р 51897-2011. Менеджмент риска. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 2012. – 16 с.
84. ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. – М. : Стандартинформ. – 2005. – 49 с.
85. ГОСТ Р 51901.11-2005. Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство. – М. : Стандартинформ. – 2006. – 46 с.
86. ГОСТ Р 51901.12-2005. Менеджмент риска. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – М. : Стандартинформ. – 2006. – 46 с.

87. ГОСТ Р 52350.29.1-2010. Взрывоопасные среды. Часть 29-1. Газоанализаторы. Общие технические требования и методы испытаний газоанализаторов горючих газов. – М. : Стандартинформ. – 2011. – 40 с.
88. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. – М. : Стандартинформ. – 2014. – 12 с.
89. ГОСТ Р 56141-2014. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ. – 2015. – 20 с.
90. ГОСТ Р 8.596-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. – М. : Стандартинформ. – 2006. – 11 с.
91. ГОСТ Р 8.654-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. – М. : Стандартинформ. – 2011. – 16 с.
92. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. – М. : Стандартинформ. – 2012. – 74 с.
93. ГОСТ Р МЭК 60079-25-2012. Взрывоопасные среды. Часть 25. Искробезопасные системы. – М. : Стандартинформ. – 2013. – 66 с.
94. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 45 с.
95. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 58 с.
96. ГОСТ Р МЭК 61508-3-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 37 с.
97. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 21 с.
98. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 2013. – 37 с.
99. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации

- по применению методов определения уровней полноты безопасности. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 22 с.
100. ГОСТ Р МЭК 61508-6-2007 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007 и ГОСТ Р МЭК 61508-3-2007. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 62 с.
101. ГОСТ Р МЭК 61508-7-2007 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 7. Методы и средства. – М. : Стандартинформ. – 2008. – 67 с.
102. ГОСТ Р МЭК 62508-2014. Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора. – М. : Стандартинформ. – 2015. – 52 с.
103. Горбатов, В. А. Изменение температуры угля в зоне повышенного горного давления / В. А. Горбатов, А. П. Федорович, В. А. Скрицкий // Сб. научн. тр. РосНИИГД «Борьба с авариями в шахтах». Вып. 16. – Кемерово, 2003. – С. 72–74.
104. Гражданкин, А. И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов, А. С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 5. – С. 33-36.
105. Гражданкин, А. И. Основные показатели риска аварии в терминах теории вероятностей / А. И. Гражданкин, Д. В. Дегтярев, М. В. Лисанов и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 7. – С. 35-39.
106. Гражданкин, А. И. Угольные катастрофы в исторической России и мире / А. И. Гражданкин, А. С. Печеркин, М. А. Иофис // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 11. – С. 56-64.
107. Грешилов, А. А. Математические методы построения прогнозов / А. А. Грешилов, В. А. Стакун, А. А. Стакун. – М. : Радио и связь, 1997. – 112 с.
108. Дедков, В. К. Некоторые вопросы управления риском объектов защиты [Электронный ресурс] / В. К. Дедков, И. А. Кубасов, О. А. Бобр // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2006. – Том. 2. – № 3 - С. 175-180. – режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-upravleniya-riskom-obektov-zaschity>.
109. Дейч, А. М. Методы идентификации динамических объектов/ А. М. Дейч. – М. : Энергия, 1979. – 240 с.
110. Добронец, Б. С. Интервальная математика / Б. С. Добронец. – Красноярск: Изд-во КГУ, 2004. – 216 с.

111. Добронеец, Б. С. Численные операции над случайными числами и их применение / Б. С. Добронеец, О. А. Попова // Журнал Сибирского федерального университета. Математика и физика. – 2011. – № 4(2). – С. 229-239.
112. Добронеец, Б. С. Численный вероятностный анализ для исследования систем в условиях неопределенности / Б. С. Добронеец, О. А. Попова // Вестник Томского гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 4(21). – С. 39-46.
113. Добронеец, Б. С. Элементы численного вероятностного анализа / Б. С. Добронеец, О. А. Попова // Вестн. Сиб. гос. аэрокосм. ун-та им. академика М.Ф. Решетнева. – 2012. – № 2. – С. 19–23.
114. Долгин, Н. Н. К вопросу о системе критериев, обеспечивающих категорирование опасных объектов / Н. Н. Долгин // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Вып. 2. – Т. 3. – С. 580-592.
115. Дубнов, Л. В. Промышленные и взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. – М. : Недра, 1988. – 357 с.
116. Дуброва, Т. А. Статистические методы прогнозирования: учеб. Пособие / Т. А. Дуброва. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 205 с.
117. Егоров, А. Ф. Модели и методы решения задач оперативного управления безопасностью непрерывных химико-технологических систем. Ч.1. Управление в условиях неопределенности / А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, П. Г. Михайлова // Пробл. управл. – 2005. – № 6. – С. 50-56.
118. Егоров, А. Ф. Модели и методы решения задач оперативного управления безопасностью непрерывных химико-технологических систем. Ч.2. Продукционные модели представления знаний в системах поддержки принятия решений неопределенности / А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, П. Г. Михайлова // Пробл. управл. – 2006. – № 3. – С. 25-30.
119. Железнов, А. И. Специфические аспекты промышленной безопасности угольных предприятий как экономической категории [Электронный ресурс] / А. И. Железнов, Е. Е. Адакин // Армия и общество. – 2013. – № 3(34). – режим доступа: <http://arm-ob.ru/arm-ob-2-2013>.
120. Завиркина, Т. В. Анализ причин эндогенных пожаров угольных шахт [Электронный ресурс] / Т. В. Завиркина. – Донецк: НИИГД, 2001. – 280 с. – режим доступа: vestnik.msmu.ru/files/2/20120803154317.pdf.
121. Захаров, В. Н. Углепородные массивы: прогноз устойчивости, риски, безопасность / В. Н. Захаров, В. С. Забурдяев, В. Б. Артемьев. – М. : Горное дело, 2013. – 277 с.
122. Захаров Е. И. Математическое описание процесса самонагревания угля / Е. И. Захаров, А. Н. Качурин // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2013. – № 1. – С. 58-70.

123. Зубец, А. Н. Как россияне оценивают стоимость жизни / А. Н. Зубец, А. С. Сазанаква // Финансы. – 2014. – № 4. – С. 60-64.
124. Игишев, В. Г. Современное состояние проблемы борьбы с эндогенными пожарами на шахтах Кузбасс / В. Г. Игишев // Уголь. – 2012. – № 7. – С. 36-38.
125. Ильичев, А. В. Устойчивое развитие и безопасность сложных систем / А. В. Ильичев. – М. : ВЦ РАН, 2001. – 189 с.
126. Инвестиции в персонал угледобывающей компании – путь повышения конкурентоспособности ОАО «СУЭК»: доклад [Электронный ресурс] / А. В. Фомин. – режим доступа: http://www.spmi.ru/system/files/lib/univer/document/11/fomin_a.v._30.10.14_gornuu.pdf.
127. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса. – Кемерово: ВостНИИ, 2007. – 82 с.
128. Инструкции по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок. Серия 05. Вып. 21. – М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. – 128 с.
129. Инструкция по составлению планов ликвидации аварий на угольных шахтах. Серия 05. Вып. 20. – М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. – 118 с.
130. Использование Европейского опыта с целью предупреждения и ликвидации ЧС техногенного характера в России, Проект Finrus. – М. : Минпромнауки России, РАН, 2002. – 242 с.
131. ИСО/МЭК Руководство 51:1999. Аспекты безопасности. Руководящие указания по включению их в стандарты [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.iso.org/iso/ru/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=32893.
132. Кабаков, Р. И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R / Р. И. Кабаков : пер. с англ. П. А. Волковой. – М. : ДМК Пресс, 2014. – 588 с.
133. Каледина Н. О. Технологические условия работы на угольных шахтах с позиций взрывобезопасности / Н. О. Каледина, Б. Н. Кутузов, В. В. Мельник и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 6. – С. 35-37.
134. Канторович Г. Г. Анализ временных рядов: Лекционные и методические материалы / Г. Г. Канторович. – М. : Экономический журнал ВШЭ, 2002. – 129 с.
135. Карякин, А. Л. Многофункциональный информационно-управляющий комплекс «Микон 1Р» // А. Л. Карякин, А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин и др. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1999. – № 11-12. – С. 83-91.

136. Качурин, А. Н. Аэрогазодинамические процессы в вентиляционных сетях рудников, обусловленные диффузией газовых примесей / А. Н. Качурин, М. Ю. Постникова, Д. В. Власов // Изв. Тульского гос. унив-та. Науки о земле. – 2010. – № 2. – С. 72-82.
137. Качурин, А. Н. Аэрогазодинамические процессы на очистных участках шахи и рудников / А. Н. Качурин, И. И. Мохначук, А. А. Поздеев и др. // Изв. Тульского гос. унив-та. Науки о земле. – 2013. – № 1. – С. 81-90.
138. Качурин, А. Н. Границы применимости линеаризованных уравнений фильтрации газов и прогноза динамики газовыделения из выработанного пространства / Н.И. Качурин, С.А. Воробьев, О. А. Афанасьев и др. // Изв. Тульского гос. унив-та. Науки о земле. – 2014. – № 1. – С. 165-172.
139. Качурин, Н.М. Системный подход к снижению риска и локализации последствий взрывов метана в угольных шахтах / Н.М. Качурин, А. М. Борщевич, О.Н. Качурина // Изв. вузов. Горный журнал. - 2010. – № 4. – С. 19-24.
140. Качурин, А. Н. Системный подход к оценке метановой опасности подготовительных выработок шахт Кузбасса // Изв. Тульского гос. унив-та. Науки о земле. – 2013. – № 1. – С. 91-96.
141. Качурин, Н. М. Теоретическое обоснование оценки риска аварий на угольных шахтах по газовому фактору / Н. М. Качурин, А. М. Борщевич, О. Н. Качурина // Изв. Тульского гос. унив-та. Естественные науки. – 2009. – Вып. 1. – С. 229-237.
142. Карнаух, Н. Н. Актуальные проблемы совершенствования законодательства об охране труда [Электронный ресурс] / Н. Н. Карнаух // Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ. – 2003. – № 15(208). – режим доступа: <http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/2003/vestniksf208-5/vestniksf208-15080.htm>.
143. Кендэл, М. Временные ряды / М. Кендэл : пер. с англ. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 191 с.
144. Козлитин, А. М. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы / А. М. Козлитин, А. И. Попов. – Саратов : СГТУ, 2000. – 216 с.
145. Козлитин, А. М. Развитие теории и методов количественной оценки риска аварий сложных технических систем / А. М. Козлитин // Вестник СГТУ. – 2011. – № 4. – Вып. 3. – С. 115-124.
146. Козлитин, А. М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы / А. М. Козлитин. – Саратов : СГТУ, 2002. – 180 с.

147. Козлитин, А. М. Теория и методы анализа рисков сложных технических систем / А. М. Козлитин. – Саратов : СГТУ, 2009. – 200 с.
148. Кондратьев-Фирсов, В. М. Определение максимально возможного количества потерпевших и вреда при обязательном страховании опасных объектов / В. М. Кондратьев-Фирсов, К. И. Самаркина // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – № 1. – Том 14. – С. 67-74.
149. Королев, В. Ю. Математические основы теории риска / В. Ю. Королев, В. Б. Бенинг, С. Я. Шоргин. – М. : Физматлит, 2007. – 542 с.
150. Костенко, Т. В. Оценка рисков и повышение безопасности горноспасательных работ в шахтах, опасных по газу [Электронный ресурс] / Т. В. Костенко – режим доступа: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/13156>.
151. Костеренко, В. Н. Факторы, оказывающие влияние на возникновение взрывов газа метана и угольной пыли в шахтах / В. Н. Костеренко, А. Н. Тимченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 368-377.
152. Кузьменко, С. О. Анализ взаимосвязей параметров состояния горно-технологического объекта на основе вейвлет-методов обработки данных / С. О. Кузьменко, А. В. Вильгельм // Изв. вузов. Горный журнал. – 2008. – № 4. – С. 97-101.
153. Кукало, И. А. Оценка рисков физической безопасности линейной части магистрального нефтепровода / И. А. Кукало, С. П. Гривцов // Изв. Томского пол. ун-та. – 2014. – Т. 324. – № 5. – С. 30-42.
154. Кукиб, Б. Н. Анализ состояния безопасности взрывных работ в угольных шахтах России / Б. Н. Кукиб, Б. Н. Кутузов // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 8. – С. 52-56.
155. Куклев, Е. А. Прогнозирование уровня безопасности авиационных систем на основе моделей рисков возникновения критических функциональных отказов / Е. А. Куклев, В. Г. Евдокимов // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3(45). – С. 51-53.
156. Лапин, Э. С. «Микон-ГЕО» - система оперативного обнаружения и контроля состояния зон развития опасных геогазодинамических явлений при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом / Э. С. Лапин, В. Б. Писецкий, А. Г. Бабенко и др. // Безопасность труда в промышленности. – № 4. – 2012. – С. 18-22.
157. Лапин, Э. С. Опыт использования, тенденции и перспективы развития шахтных информационно-управляющих систем / Э. С. Лапин, Е. Я. Диколенко, А. Г. Бабенко и др. // Уголь. – 2003. – № 3. – С. 49-51.
158. Лебецки, К. А. Пылевая взрывоопасность горного производства / К. А. Лебецки, С. Б. Романченко. – М. : Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 464 с.

159. Лепский, А. Е. Сравнение искаженных гистограмм вероятностными методами / А. Е. Лепский // Машинное обучение и анализ данных. – 2014. – Том 1. – № 8. – С. 949-965.
160. Либерман, А. Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор / А. Н. Либерман. – СПб. : Новый век, 2006. – 103 с.
161. Линденау, Н. И. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах / Н. И. Линденау, В. М. Маевская, В. Ф. Крылов. – М. : Недра, 1977. – 387 с.
162. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов : учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – М. : Финансы и статистика, 2003 г. - 416 с: ил.
163. Лукашов, О. Ю. Исследование нестационарных аэродинамических процессов, возникающих при пожаре в наклонной выработке угольной шахты / О. Ю. Лукашов, А. А. Глазунов, А. Ю. Крайнов и др. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2009. – Т. 52. – № 7/2. – С. 142–145.
164. Мартынов, В. И. Беспроводная связь под землей: микросотовые системы или излучающий кабель? [Электронный ресурс] / В. И. Мартынов // Горная Промышленность. – 2006. – № 2. – режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/prombez/1149-besprovodnaya-svyaz-pod-zemlejmikrosotovye-sistemy-ili-izluchayushchij-kabel>.
165. Математическое моделирование горения и взрыва высокоэнергетических систем / под ред. И. М. Васенина. – Томск: изд-во Том. ун-та, 2006. – 322 с.
166. Махутов Н. А. Научные основы анализа и снижения рисков чрезвычайных ситуаций в районах Сибири и Севера / Н. А. Махутов, М. П. Лебедев, А. М. Большаков и др. // Арктика: экология и экономика. – 2013. – № 4. – С. 4-15.
167. Медведев, А. Е. Методики оценки риска на угольных шахтах / А. Е. Медведев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. – № 8. – С. 86-90.
168. Метан в шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование / А. Д. Рубан, В. С. Забурдяев, Г. С. Забурдяев и др. – М. : ИПКОН РАН. 2006. – 312 с.
169. Методика оценки уровня опасности предприятий горнодобывающей отрасли / П. В. Емелин, Г. С. Сатарова, Г. Д. Когай и др. // Уголь. – 2012. – № 6. – С. 68-69.
170. Методические рекомендации о порядке проведения аэрогазового контроля в угольных шахтах (РД-15-06-2006). Серия 05 (Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности). Выпуск 13 / Бабенко А. Г. , Лапин Э. С. , Литвинов А. Р. и др. – М. : Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. – 72 с.
171. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01). Сер. 03. Вып. 10 / Кол. авт. – М. : ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 40 с.

172. МИ 3286-2010. Рекомендация. Проверка защиты программного обеспечения и определение ее уровня при испытаниях средств измерения с целью утверждения типа. – М. : ФГУП «ВНИИМС», 2010. – 33 с.
173. Микрин, Е. А. Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы). В 3 ч. Ч. 1. Методологические основы организационного управления / Е. А. Микрин, В. В. Кульба и др. ; под ред. Е. А. Микрин, В. В. Кульба. – Физматлит, 2011. – 464 с.
174. Микрин, Е. А. Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы). В 3 ч. Ч. 2. Методы анализа и проектирования информационных систем / Е. А. Микрин, В. В. Кульба и др. ; под ред. Е. А. Микрин, В. В. Кульба. – Физматлит, 2012. – 496 с.
175. Микрин, Е. А. Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы). В 3 ч. Ч. 3. Методы повышения качества информационного обеспечения систем организационного управления / Е. А. Микрин, В. В. Кульба и др. ; под ред. Е. А. Микрин, В. В. Кульба. – Физматлит, 2012. – 528 с.
176. Мустафин, М. Г. Влияние скорости продвижения очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта / М. Г. Мустафин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 1. – С. 17-22.
177. Можаяев, А. С. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода моделирования систем / А. С. Можаяев, В. Н. Громов. – СПб. : ВИТУ, 2000. – 145 с.
178. Мониторинг напряженно-деформированного состояния массива твердого полезного ископаемого, основанный на принципах сейсмической локации массива впереди забоя выработки. Экспериментальные исследования поставленных перед НИР задач: Отчет о НИР (2-й этап) / УГГУ; гос. контракт № 07.514.11.4090 – рук. работ Э.С. Лапин; исполн. : Г. Бабенко [и др.] – Екатеринбург, 2012. – 102 с.
179. Мониторинг напряженно-деформированного состояния массива твердого полезного ископаемого, основанный на принципах сейсмической локации массива впереди забоя выработки. Обобщение и оценка результатов исследований: отчет о НИР (3-й этап) / УГГУ; гос. контракт № 07.514.11.4090 – рук. работ Э.С. Лапин; исполн. : Г. Бабенко [и др.] – Екатеринбург, 2012. – 114 с.
180. Мощевикин, А. П. Точность расчета локации в беспроводных сетях датчиков стандарта nanoLOC / А. П. Мощевикин, А. С. Галов, А. С. Волков // Информационные технологии. – 2012. – № 9. – С. 37-41.

181. Немчинов, Д. В. Оценка риска аварии с использованием экспертных систем / Д. В. Немчинов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2007. – № 1. – С. 40-45.
182. Немчинов, Д. В. Снижение риска аварийной ситуации на производственном объекте [Электронный ресурс] / Д. В. Немчинов, О. М. Проталинский // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 1. – С.111-116. – режим доступа: <http://cyberleninka.ru/journal/n/vesnik-astrhanskogo-gosudarstvennogo-tehnicheskogo-universiteta-seriya-upravlenie-vychislitelnaia-tehnika-i-informatika>.
183. ОАО «СУЭК-Кузбасс» установил новый российский рекорд по добыче угля // [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://adi19.ru/2013/04/01/oaosuek-kuzbass-ustanovil-novyj-rossijskij-rekord-po-dobyche-uglya/>.
184. Орлов, А. И. О развитии статистики объектов нечисловой природы [Электронный ресурс] / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – №93 (09). – режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/19.pdf>.
185. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование: учебник: В 3 ч. Ч. 2. Экспертные оценки / А. И. Орлов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 486 с.
186. Орлов, Ю. Нестационарные временные ряды. Методы прогнозирования с примерами анализа финансовых и сырьевых рынков / Ю. Орлов, К. Осминин. – М. : ЛИБРОКОМ, 2011. – 384 с.
187. Павленко, М. В. Оценка риска воспламенения метановоздушной смеси в зонах подверженных комплексному воздействию на угольный массив / М. В. Павленко, Ю. В. Васючков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 266-272.
188. Палеев, Д. Ю. Математическое моделирование активного воздействия на взрывоопасные области и очаги горения в угольных шахтах / Д. Ю. Палеев, О. П. Брабандер. – Томск : ТГУ, 1999. – 202 с.
189. Палеев, Д. Ю. О численном методе решения стационарной задачи проветривания горных выработок и выработанного пространства шахты / Д. Ю. Палеев, М. Ю. Балаганский, А. Н. Кнышенко // Вестник ВостНИИ. – 2010. – № 1. – С. 31-34.
190. Палеев, Д. Ю. Состояние и перспективы внедрения компьютерных программ обеспечения безопасности на угольных шахтах России / Д. Ю. Палеев, Ю. Ф. Руденко, В. Н. Костеренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – С. 164-168.
191. Парасич А. В., Парасич В. А. Методы на основе цветовых гистограмм в задачах обработки изображений [Электронный ресурс] // Nauka-rastudent.ru. – 2015. – № 06 (18) – режим доступа: <http://nauka-rastudent.ru/18/2742/>.

192. Перепелицын, А. И. Система управления промышленной безопасностью / А. И. Перепелицын // Федеральный справочник. – Том № 23. – С. 227-232.
193. Петрухин, М. П. Борьба с угольной пылью в шахтах / М. П. Петрухин, Г. С. Гродель, Н. И. Шеляев. М. : Недра, 1981. – 271 с.
194. Писаренко, В. Г. Актуальные направления развития интеллектуализированной робототехники для снижения аварийности на шахтах / В. Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 308-316.
195. Плотников В. М. О мнимой достоверности «Методики газодинамического расчета параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли» / В. М. Плотников // Индустрия Казахстана. – 2005. – № 1.
196. ПНСТ 16-2014 Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система контроля аэрологического состояния горных выработок. Общие технические требования и методы испытаний. – М. : Стандартинформ. – 2015. – 36 с.
197. ПНСТ 17-2014 Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система наблюдения и оповещения об аварии людей. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ. – 2015. – 24 с.
198. ПНСТ 18-2014 Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система поиска застигнутых аварией людей и определение их местоположения. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ. – 2015. – 24 с.
199. Попова, О. А. Численное решение систем линеаризованных алгебраических уравнений со случайными коэффициентами / О. А. Попова // Вестник ВСГУТУ. – 2013. – № 2. – С. 5-11.
200. Подображин, С. Н. Пути обеспечения комплексной безопасности горных работ / С. Н. Подображин, А. Г. Бабенко, В. И. Шилов // Безопасность труда в промышленности. – 2008 г. – № 8. – С. 20-23.
201. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах . Серия 05. Вып. 23. – М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 110 с.
202. Положение о надзорной и контрольной деятельности в системе Госгортехнадзора России (РД 04-354-00) (утв. Приказом Госгортехнадзора РФ от 26.04.2000 № 50) (ред. от 17.07.2001).
203. Пономарев А. А. Мониторинг текущей опасности технологического объекта на основе обобщенного показателя / А. А. Пономарев // Изв. Томского пол. ун-та. – 2009. – № 5. – Том 315. – С. 159-163.
204. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 № 76 (ред. от 16.09.2013) «О введении в действие ГН 2.2.5.1313-03» (вместе с «ГН 2.2.5.1313-03.

- Химические факторы производственной среды. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003) (Зарегистрировано в Минюсте России 19.05.2003 № 4568). Российская газета, № 119/1, 20.06.2003 (специальный выпуск), Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.13-03, издание официальное, Москва, – 2003.
205. Постановление Правительства Российской Федерации от 26 июня 2013 г. № 536 «Об утверждении требований к документационному обеспечению систем управления промышленной безопасностью» [Электронная публикация] // Интернет-портал «Российской газеты». – режим доступа: <http://www.rg.ru/2013/07/08/dokumentaciya-site-dok.html>.
206. Попов, В. Б. Новые представления о природе начального теплового импульса при возникновении очагов самовозгорания угля в шахтах / В. Б. Попов, В. А. Скрицкий, В. И. Храмов и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 3. – С. 36–38.
207. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 (ред. от 02.04.2015) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.12.2013 № 30961).
208. Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин / Отв. ред. Н. А. Махутов. – М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – 576 с.
209. Пучков, Л. А. Аэродинамика подземных выработанных пространств / Л. А. Пучков. – М. : МГГУ, 1993. – 267 с.
210. Развитие многофункциональной системы безопасности (МФСБ) на подземных угледобывающих предприятиях. Концепция [Электронный ресурс] / ВостНИИ, 2014. – режим доступа: <http://www.nc-vostnii.ru/forum/viewtopic.php?f=28&t=46&start=30>.
211. Распоряжение Ростехнадзора от 19 марта 2013 г. № 31-рп «Об утверждении Временного порядка ведения реестра опасных производственных объектов» [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://tk-expert.ru/lib/297/>.
212. Разработка системы приема – передачи данных об аэрологической обстановке на шахтах, опасных по газу, интегрированной в информационную систему НЦУКС. Описание программно-аппаратного комплекса системы мониторинга аэрологической обстановки на шахтах опасных по газу метан и повышения уровня реагирования при возникновении чрезвычайных ситуаций. Технические предложения по его эксплуатации: отчет о НИР (1-й этап) / ООО «ИНГОРТЕХ»; тема № 20/5.1-53/А9-1 – рук. работы А. Г. Бабенко; исполн. : А. Г. Бабенко, А. В. Вильгельм, Ю. И. Мамаев и др. – Екатеринбург, 2011. – 67 с.
213. Разработка системы приема – передачи данных об аэрологической обстановке на шахтах, опасных по газу, интегрированной в информационную систему НЦУКС. Руководство по эксплуатации программно-аппаратного комплекса для системы МЧС России, позволяющем в

- режиме реального времени, на основе обработки данных штатных систем автоматической газовой защиты шахт, проводить оценку аэрологической обстановки на угледобывающих предприятиях страны с дифференциацией уровня опасности и отображении полученных результатов в НЦУКС МЧС России: : отчет о НИР (2-й этап) / ООО «ИНГОРТЕХ»; тема № 20/5.1-53/А9-1 – рук. работы А. Г. Бабенко; исполн. : А. Г. Бабенко, Ю. И. Мамаев, А. В. Вотинцев. – Екатеринбург, 2011. – 56 с.
214. РМГ 29-99. Государственная система обеспечения единства средств измерений. Метрология. Основные термины и определения. – М. : Стандартиформ, 2008. – 58 с.
215. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Серия 27. Вып. 8. – М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 55 с.
216. Рудничная вентиляция: Справочник / под ред. К. З. Ушакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1988. – 440 с.
217. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – СПб. : Политехника. – 2000. – 248 с.
218. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012611572 Прикладное программное обеспечение «IngortechSCADA» («IngortechSCADA»). Правообладатель ООО «ИНГОРТЕХ». Авторы: Мамаев И. Ю., Кочнев М. А., Бабенко А. Г. 10.02.2012 г.
219. Северцев, Н. А. Анализ опасностей сложных технических систем / Н. А. Северцев, И. А. Кубасов, О. А. Бобр // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2006. – Том 2.
220. Северцев, Н. А. Полумарковская модель исследования безопасности систем. Безопасность и надежность системы как объекта, имеющего защиту / Н. А. Северцев, А. В. Бецков, Ю.В. Лончаков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1(5). – С. 2-8.
221. Северцев, Н. А. Проблемные вопросы безопасности сложных систем и управления рисками с учетом требований к надежности изделий [Электронный ресурс] / Н. А. Северцев, Е. А. Куклев, Г. Н. Гипич // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2008. – Том 1. – режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/problemnye-voprosy-bezopasnosti-slozhnyh-sistem-i-upravlenie-riskami-s-uchyotom-trebovaniy-k-nadyozhnosti-izdeliy>.
222. Семи́н, В. Г. Обобщенный алгоритм управления рисками автоматизированных систем / В. Г. Семи́н // Динамика сложных систем. – 2012. – Т. 6. – № 4. – С. 90-96.
223. Симановский, Ю. А. Системы автоматизированного табельного учета и определения местоположения персонала и техники в шахтах и на рудниках в комплексе «Талнах» [Электронный ресурс] / Ю. А. Симановский, С. В. Барабанщикова // Горная Промышленность. –

2006. – № 3. – режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/prombez/1093-sistemy-avtomatizirovanogo-tabelnogo-ucheta-i-opredeleniya-mestopolozheniya-personala-i-tehniki-v-shakhtakh-i-na-rudnikakh-v-komplekse-talnakh>.
224. Система непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния массива твердого полезного ископаемого: Заявка 2012134020 Росс. Федерация / Лапин Э. С., Писецкий В. Б., Лапин С. Э., Патрушев Ю. В., Зудилин А. Э., Бабенко А. Г., Александрова А. В. (Россия); заявители Минобрнауки РФ, ГОУ ВПО «Уральский государственный горный ун-т». заявл. 08.08.12; опубл. 10.03.01.
225. Смирнов, О. В. Активная параметрическая идентификация упрощенной аэрогазодинамической модели горных выработок / О. В. Смирнов, С. Э. Лапин, А. Г. Бабенко // I Международная научно-техническая конференция «Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки», г. Екатеринбург, 6-7 апреля 2016 г.: сборник докладов; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2016. – С. 1–8.
226. Писецкий, В. Б. Методы и технологии прогноза структуры и оценки параметров геодинамического состояния геологической среды по сейсмическим данным в приложениях нефтегазовой, горнодобывающей и строительной отраслях / В. Б. Писецкий, С. Э. Лапин, А. Г. Бабенко и др. // Материалы 13 Всероссийского семинара «Геодинамика. Геомеханика и Геофизика». – Новосибирск, 15-19 июля, 2013. – С. 31.
227. Скопинцева, О. В. К вопросу оценки аэрологического риска при различных схемах вентиляции выемочных участков угольных шахт / О. В. Скопинцева, С. В. Баловцев // Научный вестник МГГУ. – 2013. – № 1(34). – С. 87-100.
228. Скопинцева, О. В. Показатели аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт / О. В. Скопинцева, С. В. Баловцев, В. Н. Михайлова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 5. – С. 229-233.
229. Скрицкий, В. А. Взрывы метана в шахтах: трагедия на «Ульяновской» / В. А. Скрицкий // Горная Промышленность. – 2008. – № 3(79). – С. 63–67.
230. Скрицкий, В. А. Эндогенные пожары в угольных шахтах, природа их возникновения, способы предотвращения и тушения / В. А. Скрицкий, А. П. Федорович, В. И. Храмцов. – Кемерово, Кузбассвуиздат, 2006. – 175 с.
231. Скочинский, А. А. Рудничная вентиляция : учебник для вузов / А. А. Скочинский, В. Б. Комаров. – М. : Углетехиздат, 1951. – 563 с.
232. Скочинский, А. А. Рудничные пожары / А. А. Скочинский, В. М. Огиевский. – М. : Углетехиздат, 1954. – 361 с.

233. Смит, Дэвид Дж. Безотказность, ремонтпригодность и риск. Практические методы для инженеров, включая вопросы оптимизации надежности и систем, связанных с безопасностью: пер. с англ. / Дэвид Дж. Смит. – М. : Технологии, 2007. – 431 с.
234. СНиП 2.01.54-84. Защитные сооружения гражданской обороны в подземных горных выработках/Минземстрой России – М. : ГУП ЦПП, 1998. – 20 с.
235. Соложенцев, Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике / Е. Д. Соложенцев. – СПб. : Издательский дом «Бизнес-пресса». – 2004. – 432 с.
236. Стаднюк, Е. Д. Изучение влияния скорости продвижения очистного забоя на шаг первичной посадки основной кровли [Электронный ресурс] / Е. Д. Стаднюк // Сборник научных трудов «Геотехническая механика». – 2013. – Вып. 111. – режим доступа: <http://geotm.dp.ua/index.php/ru/2013-god/vypusk-111>.
237. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» (ТР ТС - 012 - 2011) [Электронный ресурс] / Росстандарт (портал). – режим доступа: [http://webportalsrv.gost.ru/portal/GostNews.nsf/acaf7051ec840948c22571290059c78f/31df4d876b7c282244257a37003e01d3/\\$FILE/TR_TS_012-2011_text.pdf](http://webportalsrv.gost.ru/portal/GostNews.nsf/acaf7051ec840948c22571290059c78f/31df4d876b7c282244257a37003e01d3/$FILE/TR_TS_012-2011_text.pdf).
238. Угольные катастрофы в исторической России (Российская империя, СССР, Российская Федерация, Украина, Республика Казахстан) [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://riskprom.ru/publ/sovremennye_opasnosti_krupnykh_promyshlennykh_avarij_kpa/chast_3_2_ugonye_katastrofy_v_istoricheskoy_rossii_rossijskaja_imperija_sssr_rossijskaja_federacija_ukraina_republika_kazakhstan/36-1-0-210.
239. Ударные волны / Д. Ю. Палеев [и др.]. – М. : Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 312 с.
240. Устав ВГСЧ по организации и ведению горноспасательных работ. – М. : Недра, 1986. – 254 с.
241. Ушаков, В. К. Методы оценки аэрологического риска на угольных шахтах / В. К. Ушаков, С. В. Баловцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – С. 173-178.
242. Ушаков, К. З. Рудничная аэрология / К. З. Ушаков, А. С. Бурчаков, И. И. Медведев. – М. : Недра, 1978. – 440 с.
243. Фалеев, М.И. Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах / М. И. Фалеев, В. И. Измалков // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3. – № 1. – С. 4-12.
244. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкцией по борьбе с пылью в угольных шахтах». Серия 05. Вып. 54. – М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. – 64 с.

245. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по разгазированию горных выработок, расследованию, учету и предупреждению загазирования». Серия 05. Вып. 31. – М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 28 с.
246. Федеральный закон РФ от 27 июля 2006 года № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [Электронный ресурс] // Российская Газета. Федеральный выпуск № 4131. – режим доступа: <http://www.rg.ru/2006/07/29/informacia-dok.html>.
247. Федеральный закон от 21 июля 1997 года № 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [Электронный ресурс] // Российская Газета. Федеральный выпуск № 6024. – режим доступа: <http://www.rg.ru/2013/03/06/prombez-dok.html>.
248. Федеральный закон от 27 июля 2010 года № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» [Электронный ресурс] // Российская Газета. Федеральный выпуск № 5248. – режим доступа: <http://www.rg.ru/2010/08/02/osgo-dok.html>.
249. Федеральный закон от 30 декабря 2001 года № 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015) «Трудовой кодекс Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Российская газета, 2001 г., № 256; Ведомости Федерального Собрания Российской Федерации, 2002 г., № 5, ст. 251; Собрание законодательства Российской Федерации, 2002 г., № 1, ст. 3; Парламентская газета от 5.1.2002 г., №№ 2-5. – режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_34683/
250. Федорец, А. Г. Методические основы количественного оценивания производственных рисков / А. Г. Федорец // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2008. – № 2(20). – С. 10-16.
251. Федоров, В. Н. К вопросу о техническом регулировании производственных процессов современной шахты / В. Н. Федоров // Уголь. – 2010. – № 2. – С. 49-51.
252. Федоренко, Е. И. Проблема подземных пожаров и их тушение на больших глубинах в угольных шахтах / Е. И. Федоренко, С. С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 197-207.
253. Федоров, Ю.Н. Основы проектирования АСУТП взрывоопасных производств. В 2 ч. Ч. 1. Методология / Ю.Н. Федоров. – М. : СИНТЕГ, 2006. – 720 с.
254. Федоров, Ю.Н. Основы проектирования АСУТП взрывоопасных производств. В 2 ч. Ч. 2 «Проектирование» / Ю.Н. Федоров. – М. : СИНТЕГ, 2006. – 632 с.

255. Смит, Дэвид Дж. Функциональная безопасность. Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов : пер. с англ. / Дэвид Дж. Смит, Кеннет Дж. Л. Симпсон. – М. : Издательский Дом «Технология», 2004. – 208 с.
256. Хенли, Д. Надежность технических систем и оценка риска : пер. с англ. / Д. Хенли, Х. Кумамото. – М. : Машиностроение. 1984. – 528 с.
257. Хроника крупных аварий на шахтах в России и за рубежом. 2000-2007 гг. [Электронный ресурс] // РИА НОВОСТИ. – режим доступа: <http://www.rian.ru/spravka/20070320/62283456.html>.
258. Чжан, Ц. Оценка опасности взрывов смесей метана с воздухом в шахтах / Ц. Чжан, В. Ли, Б. Цинь и др. // ФГВ. – 2010. – Т. 46. – № 6. – С. 66-72.
259. Шаров, В. Д. Применение байесовского подхода для уточнения вероятностей событий в автоматизированной системе прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий / В. Д. Шаров // Управление большими системами. – 2013. – Вып. 43. – С. 240-253.
260. Шалаев, В. С. Средства взрывозащиты горных выработок угольных шахт и их испытания / В. С. Шалаев, Ю. В. Шалаев, Н. Ф. Флоря // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 5. – С. 46-50.
261. Шевцов, Н. Р. Взрывозащита горных выработок (курс лекций): учебное пособие / Н. Р. Шевцов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: ДонГУ, 2002. – 280 с.
262. Шлимович, Ю. Б. Разработка научно-методического обеспечения производственного контроля промышленной безопасности на предприятиях угледобывающей отрасли: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Шлимович Юрий Борисович. – Челябинск, 2001. – 118 с.
263. Шкундин, С. З. Расчет вентиляционных сетей угольных шахт методом межузловых депрессий / С. З. Шкундин, А. Л. Иванников, И. Н. Зинченко // Уголь. – 2009. – № 1. – С. 35-37.
264. Шрагер, Э. Р. Газодинамический метод расчета нестационарного проветривания угольной шахты / Э. Р. Шрагер, А. Ю. Крайнов, И. М. Васенин и др. // Материалы «Всероссийской научной конференции», Томск : Изд. Томского ун-та, 2009. – С. 43–45.
265. Шульга Ю. И. Системы безопасности Украины, их возможности и перспективы / Ю. И. Шульга, В. Г. Здановский, Н. В. Кривцов и др. // Проблемы охорони рпаці в Україні: зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 18. – С. 3-11.
266. Шульц, В. Л. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем. В 2 ч. Ч. 2. / В. Л. Шульц, В. В. Кульба и др. – М. : Наука, 2012. – 358 с.
267. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления: пер. с англ. / П. Эйкхофф. – М. : Мир, 1975. – 683 с.

268. Юрков, Н. К. Методология экспертных систем в анализе надежности сложных технических систем / Н. К. Юрков, В. Б. Алмаметов, Ю. А. Држевецкий // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2010. – Том 2. – режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-ekspertnyh-sistem-v-analize-nadezhnosti-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem>.
269. Яковлев, О. В. Концептуальные основы мониторинга рисков в условиях системных конфликтов / О. В. Яковлев // Проблемы анализа риска. – 2007. – Том 4. – № 3. – С. 281-291.
270. Application of IEC 61508 and IEC 61151 in the Norwegian petroleum industry [Электронный ресурс] // The Norwegian Oil Association, 2004. – режим доступа: http://www.itk.ntnu.no/sil/Guideline_IEC_appendices.pdf.
271. Moschevikin, A. RealTrac Technology at the EvAAL-2013 Competition / A. Moschevikin, A. Galov, A. Volkov, etc. // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. Vol. 7, 2015, pp. 353-373.
272. Babenko A., Orjehovski S., Lapin S. Aero gas protection systems functional safety and multifunctional systems of coal mines safety // Сборник трудов 22 всемирного горного конгресса (ICAMC), Стамбул, Турция. 11-16 сентября 2011. – С. 453-456.
273. Babenko A., Orgohovski S., Lapin S., Kulin L. Mining safety increase by means of integrated implementation of requirements for gas control and personal equipment of miners // Сборник трудов 21 всемирного горного конгресса, г. Краков, Польша, 7-11 сентября 2008. – С. 119-127.
274. CPR-18E. Guidelines for quantitative risk assessment (Purple book) [Текст]. - 2-nd ed. – Haque: VROM, 2005.
275. Dolado H., Jenkinson T., Sosvilla-Rivero S. Cointegration and Unit Roots //Journal of Economic Surveys. 1990. №4, P. 243-273.
276. Hamilton, J. D., Time Series Analysis, 1994, Princeton University Press, Ch 1, 2, 3.
277. Pollock, D.S.G., 1999. Time-Series Analysis, Signal Processing and Dynamics. The Academic Press, London.
278. Stock J.H. Unit roots, structural breaks and trends // Handbook of econometrics. 1994. V. IV. P. 2740-2841.
279. Smith D.J. Reliability, Mainainability and Risk, Seventh Edition: Practical Methods for Engineers including Realiability Centered Maintenance and Safety-Related Systems. – Butterwirth-Heinemann, 2005. – 368 p.
280. Watson M.W. Vector Avtoregression and Cointegration // Handbook of Economet-rics. 1994. Vol. 4. Amsterdam: North-Holland. p. 2844–2915.

Приложение А

Таблица А.1 – Перечень обнаруживаемых отказов элементов системы АГЗ

Неисправность	Причины	Классификация по:		
		виду отказа	степени опасности	способу обнаружения
Отказы подсистемы датчиков				
Недостовверная информация о концентрации метана	Деградация чувствительного элемента	В	О	П / СД
	Деградация, отказ электронных компонентов	В	О	П
	Ошибка, «зависание» ПО	С	О	СД
	Неправильная градуировка	С	О	П / СД / НС
	Неправильная эксплуатация	С	О	П
Отсутствие информации о концентрации метана	Выход из строя внутреннего источника питания	В	Б	СД
	Выход из строя электроники внутреннего источника питания	В	Б	НС
	Обрыв, короткое замыкание внешней линии питания	В	Б	НС
Отсутствие показаний на дисплее	Деградация, отказ электронных компонентов	В	Б	П
Отказы логической подсистемы				
Выдача «разрешения» при отсутствии или недостоверной информации о концентрации метана	Ошибка, «зависание» ПО	С	О	П / СД / НС
	Деградация, отказ электронных компонентов	В	О	П / СД / НС
	Обрыв, короткое замыкание линий связи с АЭ	В	Б	НС
Отсутствие «разрешения» при достоверной информации о безопасной концентрации метана	Выход из строя внутреннего источника питания	В	Б	НС
	Обрыв, короткое замыкание внешней линии питания	В	Б	НС
Отсутствие телеизмерения	Обрыв, короткое замыкание линии связи с наземным оборудованием	В	Б	НС
	Деградация, отказ электронных компонентов	В	Б	НС
Отказы подсистемы оконечных элементов (АЭ)				
Наличие напряжения на выходе при отсутствии «разрешения»	Обрыв, короткое замыкание линии связи с АЭ	В	Б	НС
	Выход из строя электрической схемы управления АЭ	В	Б	НС
Невозможность замыкания силовых контактов при «разрешении»	Выход из строя электрической схемы управления АЭ	В	Б	НС
	Отсутствие питающего напряжения АЭ	В	Б	НС
	Обрыв, короткое замыкание внешней линии питания	В	Б	НС

Продолжение таблицы А.1

Неисправность	Причины	Классификация по:		
		виду отказа	степени опасности	способу обнаружения
Невозможность размыкания силовых контактов при отсутствии «разрешения»	Сваривание контактов	В	О	П
	Деградация, отказ электронных компонентов	В	О	НС
П р и м е ч а н и е : В – внезапный, С – систематический, О – опасный, Б – безопасный, НС – независимые средства, П – персонал, СД – самодиагностика.				

Приложение Б

Таблица Б.1 – Действия, ситуации и события, приводящие к неисправностям и отказам средств АГК и АГЗ

№	Действия, ситуации и события	Характеристика опасности	Классификация опасности
1	Преднамеренная неправильная калибровка или невыявленная в ходе эксплуатации раскалибровка датчика	Появление недостоверной информации о контролируемом газе, несрабатывание АГЗ	Опасный отказ технических средств АГЗ
2	Отказ ПО датчика	– / –	– / –
3	Препятствие поступлению газовой смеси к чувствительному элементу	– / –	– / –
4	Увлажнение газовой смеси, поступающей к чувствительному элементу	– / –	– / –
5	Деградация, отказ электронных компонентов датчиков АГК	– / –	– / –
6	Несоответствие условий срабатывания АГЗ (порогового уровня) условиям применения датчика	Несрабатывание АГЗ	Опасный отказ организационного обеспечения АГЗ, нарушение требований [201]
7	Несоответствие расположения (по месту и высоте) чувствительного элемента датчика в горной выработке	Появление недостоверной информации о контролируемом газе, несрабатывание АГЗ	Опасный отказ организационного обеспечения АГК, АГЗ, нарушение требований [207]
8	Обрыв, замыкание линии передачи данных между датчиком и ПУ (ПЛК)	Прекращение поступления и выпадение из учета части данных АГК, возможные ошибки при расчете метанообильности и фиксации загазирования	Безопасный обнаруживаемый отказ технических средств АГК, АГЗ, нарушение требований [201] в части обеспечения непрерывности контроля
9	Обрыв, замыкание линии передачи данных между ПУ и наземным ПТК	– / –	– / –
10	Обрыв, замыкание линии управления между ПУ и АЭ	Безопасно при соответствии средств АГЗ требованиям [201, 207]	Безопасный обнаруживаемый отказ технических средств АГЗ
11	Преднамеренное изменение измерительного сигнала от датчика АГК-АГЗ в линиях связи	Появление недостоверной информации о контролируемом газе, несрабатывание АГЗ	Опасный отказ технических средств АГК-АГЗ, нарушение требований ПБ в части обеспечения объективности контроля

Продолжение таблицы Б.1

№	Действия, ситуации и события	Характеристика опасности	Классификация опасности
12	Преднамеренное изменение коммутации измерительных сигналов в соединительных коробках на клеммниках контроллеров	– / –	Опасный обнаруживаемый отказ технических средств АГЗ, нарушение требований [207]
13	Обрыв, замыкание линии питания	Прекращение поступления и выпадение из учета части данных АГК	Безопасный обнаруживаемый отказ технических средств АГК-АГЗ, нарушение требований [207] в части обеспечения непрерывности контроля
14	Отказ ПО ПУ (контроллера)	Появление недостоверной информации о контролируемом газе, несрабатывание АГЗ, возможные ошибки при расчете метанообильности и фиксации загазований	Опасный обнаруживаемый отказ технических средств АГЗ, нарушение требований [207]
15	Деградация, отказ электронных компонентов ПУ (контроллера)	Появление недостоверной информации о контролируемом газе, несрабатывание АГЗ, прекращение поступления и выпадение из учета части данных АГК	Опасный отказ технических средств АГЗ
16	Преднамеренная блокировка АГЗ в АЭ	Несрабатывание АГЗ	Опасный обнаруживаемый отказ технических средств АГЗ, нарушение требований [207]
17	Отказ цепей управления АЭ, деградация, отказ электронных компонентов	– / –	– / –
18	«Сваривание» контактов в АЭ	– / –	– / –
19	Отказ технических средств и кабельной продукции наземного ПТК	Прекращение поступления и выпадение из учета части данных АГК, возможные ошибки при расчете метанообильности и фиксации загазований	Безопасный обнаруживаемый отказ технических средств АГК, нарушение требований [207] в части обеспечения непрерывности контроля
20	Отказ ПО наземного ПТК	– / –	– / –
21	Преднамеренное искажение результатов АГК в БД ПТК	Временное выпадение из учета части данных АГК, возможные ошибки при расчете метанообильности и фиксации загазований	Безопасный обнаруживаемый отказ программного, информационного и организационного обеспечения АГК, нарушение требований [207] в части обеспечения объективности контроля

Продолжение таблицы Б.1

№	Действия, ситуации и события	Характеристика опасности	Классификация опасности
22	Использование несоответствующего оборудования при проведении технического обслуживания и функциональной проверки	Неуправляемость процесса	Нарушения федерального законодательства и эксплуатационной документации
23	Использование несоответствующих процедур при ремонте	- / -	- / -
24	Использование несоответствующих процедур при поверке	- / -	- / -
25	Использование недокументированных процедур применения и обслуживания технических средств, программного и информационного обеспечения систем АГК-АГЗ	- / -	- / -
26	Использование технических средств и ПО системы АГК-АГЗ, полученных нелегальным образом	- / -	Нарушения федерального законодательства
27	Использование в составе системы АГК-АГЗ технических средств и ПО вне сертификатов соответствия по взрывозащите и свидетельств об утверждении типа средства измерения	- / -	Нарушения федерального законодательства, эксплуатационной и сертификационной документации
28	Несанкционированное или недокументированное внесение изменений в метрологически значимые [90] программы и данные	Появление недостоверной информации о контролируемом газе, исчезновение, фальсификация данных, ошибки при расчете метанобильности и фиксации загазований	- / -
29	Несоответствие технических средств и ПО системы АГК-АГЗ новым требованиям НД	Несоответствие процесса требованиям НД	Нарушения федерального законодательства
30	Отсутствие точной синхронизации времени в масштабах шахты на полевом уровне	Появление недостоверной информации о контролируемых параметрах, отсутствие возможности комплексного анализа данных с точной временной привязкой	Безопасный отказ

Таблица Б.2 – Возможные воздействия на средства АГК и АГЗ, ухудшающие их функциональную надежность и информационную достоверность, и варианты противодействия

№	Воздействие	Способ воздействия	Результат воздействия	Применяемые в настоящее время способы защиты
1	Препятствие поступлению ГС к чувствительному элементу	1. Заклеивание, оборачивание в материал, препятствующий или затрудняющий движение ГС и т. п.	1. Метанометр отображает заниженную концентрацию метана. 2. Несрабатывание АГЗ	1. Внутренний постоянный аудит эксплуатирующей организации. 2. Контрольная проверка – периодическая «продувка»
2	Увлажнение ГС	1. Окунание измерительной головки в воду. 2. Впрыск воды в чувствительный элемент. 3. Оборачивание измерительной головки во влажный материал и т. п.	– / –	1. Внутренний постоянный аудит эксплуатирующей организации. 2. Применение гидрофобных фильтров. 3. Компенсация влияния влажности ГС на результаты измерений. 4. Контрольная проверка – периодическая «продувка».
3	Изменение месторасположения измерительной головки	1. Опускание измерительной головки к подшве (в месте, которое не соответствует требованиям [207]). 2. Расположение измерительной головки (метанометра) не в точке контроля по требованиям [207].	– / –	1. Внутренний постоянный аудит эксплуатирующей организации.
4	Неправильная калибровка	1. Применение ПГС с завышенной концентрацией метана, например, при использовании МВС с метаном 2,5 % об. долей на датчике устанавливают показания 2,0 % об. долей или вместо чистого воздуха применяют МВС с ненулевой концентрацией метана и т. п.	– / –	1. Внутренний постоянный аудит эксплуатирующей организации. 2. Контрольная проверка – периодическая «продувка». 3. Документирование процедур использования ГС и «продувок».

Продолжение таблицы Б.2

№	Воздействие	Способ воздействия	Результат воздействия	Применяемые в настоящее время способы защиты
5	Изменение измерительного сигнала	1. Установка делителей / шунтов в линиях связи	1. Показания от метанометра занижены. 2. Отсутствие контроля метана. 3. Несрабатывание АГЗ	1. Использование датчиков с цифровым интерфейсом. 2. Внутренний постоянный аудит эксплуатирующей организации. 3. Контрольная проверка – периодическая «продувка».
6	Замена источника измерительного сигнала	1. Временная замена правильно настроенного датчика метана на метанометр с неправильными настройками. 2. Использование «нелегального» метанометра (не прошедшего документированных процедур закупки, поверки, ремонта, обслуживания). 3. Замена типа датчика, например, метана на оксид углерода и т. п. 4. Использование искусственного источника сигнала (батарейки или простой электронной схемы с генерацией случайного сигнала)	– / –	1. Использование датчиков с цифровым интерфейсом. 2. Внутренний постоянный аудит эксплуатирующей организации. 3. Контрольная проверка – периодическая «продувка».
7	Неправильный внутренний аудит	1. Применение для «продувки» МВС с недокументированными характеристиками	Отсутствие достоверной информации о текущих метрологических характеристиках метанометра	1. Документирование процедур использования ГС и «продувок».

Таблица Б.3 – Способы воздействия на датчики АГК-АГЗ и варианты внутреннего технического противодействия на уровне датчиков

№	Воздействие, свойство	Способ воздействия	Рациональные способы нейтрализации	Примечания
1	Препятствие поступлению ГС к чувствительному элементу метанометра	1. Герметизация газовой камеры 2. Уменьшение скорости газообмена	1. Частотный, автокорреляционный анализ результатов измерений. 2. Использование цифровых интерфейсов.	
2	Увлажнение ГС	1. Каплеобразование из-за окутания измерительной головки в воду. 2. Каплеобразование из-за впрыска воды к чувствительному элементу. 3. Оборачивание измерительной головки во влажный материал и т. п.	1. Использование гидрофобных (водоотталкивающих) газопроницаемых фильтров. 2. Механическая защита чувствительного элемента и фильтров. 3. Компенсация влажности на уровне принципа измерения.	1. Встраивание в измерительную головку метанометра датчика влажности с типовой погрешностью измерения $\pm(2,5-3,5) \%RH$ не позволяет в критичных точках контроля (при наличии орошения) выявлять повышение влажности на фоне типичных значений 95-98 %RH при допустимых 100 %RH по [74]. 2. Любая защита чувствительных элементов приводит к увеличению времени установления датчика, которое нормировано в [196, 201].
3	Изменение месторасположения выносной измерительной головки	1. Опускание выносной измерительной головки к подошве (в месте, которое не соответствует требованиям [207]). 2. Расположение выносной измерительной головки (метанометра) не в точке контроля по требованиям [207].	1. Контроль изменения разницы атмосферных давлений в местах установки выносной измерительной головки и приборной части датчика. 2. Точное позиционирование датчика с помощью СН относительно фиксированных в пространстве шахты точек с известным положением с абсолютной погрешностью не более $\pm 1,5$ м. 3. Использование цифровых интерфейсов.	1. Контроль давления ГС осуществим с разрешающей способностью ± 20 Па, что позволяет выявлять изменение высоты установки измерительной головки (метанометра) на 1 м. Фиксация приборной части должна обеспечиваться организационными мерами. 2. Использование в измерительной головке датчиков касания, освещенности, акселерометров, гироскопов, магнетометров не гарантирует выявления изменения положения.

Продолжение таблицы Б.3

№	Воздействие, свойство	Способ воздействия	Рациональные способы нейтрализации	Примечания
4	Неправильная калибровка	1. Применение ПГС с завышенным содержанием метана или использование вместо чистого воздуха МВС с ненулевым содержанием метана.	1. Ограничение доступа к режиму калибровки (пароль, внешний элемент пользовательского интерфейса: клавиатура и пр.). 2. Автоматизация процесса калибровки с помощью специальных калибровочных комплексов, исключающих работника из процесса. 3. Использование цифровых интерфейсов. 4. Передача информации на наземный ПТК о калибровке, работнике (введенном пароле), использованных при калибровке параметрах калибровочной ПГС.	1. Применение ПГС с завышенным содержанием метана и неправильную настройку датчика при калибровке невозможно выявить встроенными в метанометр средствами, – для этого требуются эталоны: эталонный газоанализатор или эталонная ГС.
5	Изменение измерительно-го сигнала	1. Установка делителей (шунтов) в линиях связи	1. Использование цифровых интерфейсов.	
6	Неправильный внутренний аудит	1. Применение для «продувки» МВС с недокументированными характеристиками	1. Формализация и документирование процедур «продувки».	

Продолжение таблицы Б.3

№	Воздействие, свойство	Способ воздействия	Рациональные способы нейтрализации	Примечания
6	Замена источника измерительного сигнала	<p>1. Временная замена правильно настроенного метаномера на датчик с неправильными настройками.</p> <p>2. Использование «нелегального» метаномера (не прошедшего документированных процедур закупки, поверки, ремонта, обслуживания).</p> <p>3. Замена типа датчика (метана на оксид углерода и т. п.)</p> <p>4. Использование искусственного источника сигнала (батареи или простой электронной схемы с генерацией случайного сигнала).</p>	<p>1. Использование цифровых интерфейсов.</p> <p>2. Передача в цикле измерения наземному ПТК уникального идентификатора датчика (тип устройства и заводской номер).</p> <p>3. Контроль идентификатора датчика и его положения с помощью СН относительно фиксированных в пространстве шахты точек с известным положением.</p> <p>4. Контроль характеристик измерительного сигнала (дисперсия, среднее значение, тип функции ПРВ, полоса пропускания и т. п.)</p>	<p>1. Контроль характеристик измерительного сигнала не гарантирует определения факта замены датчика из-за отсутствия независимых средств измерения контролируемого параметра.</p> <p>2. Постоянный контроль уникального идентификатора требует использования цифрового интерфейса, интегрированных систем проектирования и управления и организационных усилий.</p> <p>3. Запрет на использование «нелегальных» однотипных датчиков является чрезмерным, так как не имеет прямого отношения к ПБ, но характеризует организацию ПП, в частности отсутствие документированных процедур жизненного цикла.</p>

Приложение В

Таблица В.1 – Основные технические характеристики системы «Микон III»

Параметр	Значение
Количество линий связи Ethernet 10/100BaseTX, Ethernet 100BaseFX, BS6556, RS-485	не ограничено
Количество: - КУШ-ПЛК на одной линии связи EthernetTX - ПВУ на одной линии связи BS6556 - полевых устройств на одной линии связи RS-485	1 14 247
Скорость передачи данных между подземными и наземными вычислительными устройствами, кБод: - через интерфейс BS6556/SAP, RS-485/SAP - через интерфейс RS-485/ModbusRTU - через низкоскоростные каналы связи СПИН - через высокоскоростные каналы связи СПИН	0,6 0,300-19,2 0,6-115,2 0,005-100000
Количество аналоговых и дискретных датчиков	не ограничено
Количество релейных выходов	не ограничено
Максимальное расстояние, км: - от полевого устройства до контроллеров - между устройствами на линии BS6556 - между устройствами на линии RS-485 - между устройствами на линии СПИН	3 16 без ограничения без ограничения
Количество ЦЭВМ в локальной сети, не менее	2
Входной сигнал: - напряжение, В - ток (с шунтом 100±0,5 Ом), мА - ток (с шунтом 400±0,5 Ом), мА - частота (±12 В), Гц - цифровой код	0,4-2,0 4-20 (0-20) 1-5 (0-5) 0-120 MicroLAN, RS-485/ModbusRTU
Искробезопасный / искроопасный выходной сигнал: - максимальное коммутируемое напряжение, В - максимальный коммутируемый ток, А - максимальная коммутируемая мощность, Вт	400 / 660 0,55 / 5 3 / 130
Искробезопасное напряжение/ ток питания, В / А	12 / 1
Искроопасное напряжение питания переменного тока, В	36 / 127 / 220 / 380 / 660
Допустимые отклонения питающего напряжения, %	от минус 15 до плюс 10
Длительность питания от аккумуляторных батарей, ч, не менее	16
<p>П р и м е ч а н и е – Основные метрологические характеристики системы «Микон III» приведены в Приложении Д.</p>	

Таблица В.2 – Состав системы «Микон III»

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Подземная часть		
Подземные узлы связи	СПИН XXXYZ-К*SW.11	Прим. 1
Подземные преобразователи интерфейса	СПИН XXXYZ-ПИСW.11	
Контроллер универсальный шахтный	КУШ-XXX.UWYZ-VV, КУШ-УМН/MU-XX.YW.ZZ	
Повторитель-барьер искробезопасности	ПБИ-485.01.**	

Продолжение таблицы В.2

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Шахтный источник питания	ШИП-С.К.S.YY/VV, ШИП-А.k.s.yy/vv	Прим. 1
Подземное вычислительное устройство	VAL101P	
Блок промежуточного реле	БПР	
Блок автоматического ввода резерва	БАВР	
Блоки трансформаторные	БТ-1, БТ-3 и БТ-6	
Датчик метана	ДМС 01 ДМС 03, ИДИ-10	
Измерители скорости воздушного потока	СДСВ 01.YY.XX	
Датчик оксида углерода	СДТГ 01, СДОУ 01, ДОУИ	
Датчик диоксида углерода	ИДИ-20	
Измерители запыленности стационарные	ИЗСТ-01	
Датчик водорода	СДТГ 02, СДТГ 03	
Датчик оксида азота	СДТГ 05	
Датчик диоксида азота	СДТГ 06	
Датчик кислорода	СДТГ 11	
Датчик горючих газов (водорода)	ДМС 03Э	
Датчик давления стационарный	СДД 01.*****	
Датчики виброперемещения и зазора	ИВД-2	
Датчик СКЗ виброскорости	ИВД-3	
Датчик температуры	ДТМ	
Устройство сигнализирующее	СУ-XX	
Ящик монтажный	ЯСУ-XX.Y.ZZ	
Датчики горючих и токсичных газов интеллектуальные стационарные ИТС2	ИТС2-CH4-**, ИТС2-ГГ-**, ИТС2-CO-**, ИТС2-CXHY-**, ИТС2-O2-**, ИТС2-H2S-**, ИТС2-CO2-**, ИТС2-NO-**, ИТС2-NO2-**, ИТС2-H2-**	
Муфты оптические	СПИН 10000-МО0*.11	
Наземная часть		
Шкаф для монтажа наземных элементов	Прим. 1	
ЦЭВМ - сервер (основной и резервный)		
ЦЭВМ - АРМ оператора и диспетчера		
Устройство бесперебойного питания		
Наземные узлы связи	СПИН XXXYZ-К*WW.21	Прим. 1
Наземные преобразователи интерфейса	СПИН XXXYZ-ПИWW.21	
Наземные источники питания	СПИН XXXYZ-ИПWW.21	
Медиаконвертер	JetCON1501 (или аналог)	
Повторители-барьеры искробезопасности	ПБИ-485.02.**	
Муфты оптические	СПИН 10000-МО0*.11	
Программное обеспечение		
Операционная системы, СУБД, утилиты	Прим. 2	
Программное обеспечение		
- ПО сервера	rtVarSrv	1
- ПО связи с ПВУ	ValSrv	1
- ПО связи с ModbusRTU-устройствами	Lectus Modbus OPC/DDE сервер	Прим. 2
- системы управления базой данных	Прим. 1	
- ПО администрирования	Конфигуратор (rtConfig)	1
- ПО АРМ оператора	Оболочка оператора (rtRTS)	1

Продолжение таблицы В.2

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
- дополнительные программные утилиты	Прим. 2	1
Средства прикладного программирования	VPP, CODESYS	Прим. 2
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1 Точная спецификация технических средств, входящих в комплект системы для конкретного горно-технологического объекта, определяется Техническим проектом на внедрение системы.</p> <p>2 Точная спецификация программных средств, входящих в комплект системы для конкретной шахты, определяется Техническим проектом.</p>		

Таблица В.3 – Основные технические характеристики СПГТ-41

Наименование параметра	Значение
Количество элементов, обеспечивающих позиционирование, шт., не более:	
- количество радиометок	4095
- количество УРПТ-485 на одной линии связи RS-485	247
- количество магистралей связи RS-485	256
- количество АТО	65 536
- количество МУР	65 536
Параметры высокочастотного канала связи:	
- тип связи	двухсторонняя
- режим связи	полудуплекс
- скорость передачи данных, кБод, не менее	1024
- гарантированная / максимальная дальность считывания радиометок (в прямой видимости), м	25 / 100
- диапазон частот, МГц	2400-2525
- максимальная скорость перемещения метки, м/с	12
Параметры канала связи «считыватель – сервер»:	
- тип связи	двухсторонняя проводная
- режим связи	полудуплекс
- интерфейс	RS-485
- протокол	Modbus RTU
- скорость передачи данных, кБод	19,2
Параметры канала связи «сервер – АРМ и другие пользователи»:	
- тип локальной вычислительной сети	Ethernet 10/100 TX
- количество пользователей	ограничение локальной сети
Время обновления информации о местоположении меток на планах горных выработок АРМ диспетчера, с	5 (задается программно)
Параметры системы связи стандарта RS-485:	
- максимальная длина сегмента магистрали связи, м	1200-3500
- максимальное количество УРПТ-485 на магистрали:	
- без повторителей (на одном сегменте), шт., не более	14
- с повторителями, шт., не более	247
Возможность резервирования линии связи / питания	да / да
Искробезопасное напряжение питания	12 В от ШИП
Время работы с аккумуляторной поддержкой, час, не менее	10

Продолжение таблицы В.3

<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1. Только для головных светильников, обеспечивающих измерение параметров аэрогазового состояния и взаимодействующих с радиометками.</p> <p>2. Перечень головных светильников может быть расширен.</p> <p>3. УРПТ-485.1.ZZ-W в исполнении PO ExiaI X используется на шахтах (рудниках) опасных по газу и пыли. Считыватели УРПТ-485.Y.ZZ-W в рудничном нормальном исполнении предназначены для применения на некатегорийных шахтах (рудниках).</p> <p>4. Возможно использование других искробезопасных источников питания, параметры искробезопасных электрических цепей которых соответствуют требованиям к источникам питания системы СПГТ-41.</p> <p>5. Ограничение максимального количества считывателей на одной магистрали связи до 247 определяется особенностями адресации протокола Modbus RTU.</p> <p>6. Максимальная длина сегмента зависит от типа кабеля, его качества и качества монтажа.</p> <p>7. Считыватели по интерфейсу RS-485 могут быть подключены непосредственно или через ПБИ-485 к модулям преобразователя интерфейса СПИН 000M0-ПИ02.00 в составе наземных и подземных преобразователей интерфейса, наземных и подземных узлов связи СПИН.</p>	
---	--

Таблица В.4 – Состав СПГТ-41

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Подземная часть		
Метка системы позиционирования	СУБР-1МСП	Прим. 1
Антенна	ТИС 8.4.0.00.000	
Мобильное устройство регистрации	МУР	
Автономная точка отметки	АТО	
Считыватель	УРПТ-485.1.ZZ-W	
Считыватель с функцией транспортного учета	УРПТ-485.3.ZZ-W	
Повторитель	ПБИ-485.01.ZZ	
Барьер искробезопасности	ПБИ-485.02.ZZ	
Наземная часть		
ЦЭВМ – сервер (основной и резервный)	Прим. 1	
ЦЭВМ – АРМ диспетчера		
ЦЭВМ – АРМ ламповщика		
ЦЭВМ – АРМ инженерный		
ЦЭВМ – АРМ табельщика		
Устройство бесперебойного питания		
Программное обеспечение СПГТ-41		
Программное обеспечение сервера		1
Программное обеспечение АРМ диспетчера		1
Программное обеспечение АРМ ламповщика		1
Программное обеспечение АРМ табельщика		1 (Прим. 1)
Программное обеспечение АРМ инженерный		1 (Прим. 1)
Редактор мнемосхем		1

Продолжение таблицы В.4

П р и м е ч а н и я	
1. Точная спецификация технических и программных средств для конкретного ГТО определяется Техническим проектом на внедрение системы.	
2. Для связи ШТД-РТД с наземным ПТК используются СПИН XXXYZ-К*SW.11, СПИН XXXYZ-К*SW.21 и СПИН XXXYZ-К*WW.21 из состава системы «Микон III».	
3. Для обеспечения искробезопасного питания используются ШИП-С.К.S.YY/VV, ШИП-А.к.s.yu/vv и СПИН 00000-ИП01.21.3 из состава системы «Микон III».	
4. Для монтажа кабелей используется ЯСУ-XX.Y.ZZ из состава системы «Микон III».	

Таблица В.5 – Основные технические характеристики СМС «ИСЕТЬ»

Характеристика	Значение
Максимальное количество одновременно работающих, шт., не более:	
- ИКН	500
- ШТД-РТД в режиме ретранслятора	1500
- ШТД-РТД в режиме шлюза	50
Количество ЦЭВМ в локальной сети, шт., не менее:	
- при реализации только локальной связи	0
- при реализации диспетчерской связи	1
- при реализации локального позиционирования	1
Интерфейсы связи:	
- между ИКН, ИКН и ШТД-РТД, ШТД-РТД	nanoNET
- между ШТД-РТД и устройствами СПИН (искробезопасный)	Ethernet 10/100BaseT
Скорость передачи данных между, МБод, не более:	
- устройствами 1 и 2 уровня (ИКН, ИКН и ШТД-РТД, ШТД-РТД)	2
- устройствами 2 уровня (ШТД-РТД)	2
- устройствами 2 и 3 уровня (ШТД-РТД и СПИН)	100
- устройствами 3 и 4 уровня (СПИН и ЦЭВМ)	100
Максимальная суммарная протяженность горных выработок, в которых обеспечивается голосовая связь, передача данных и локальное позиционирование, км, не более	150
Среднее/максимальное расстояние между ретрансляторами, м	100 / 300
Максимальное количество работников, транспорта и подвижного оборудования, оснащенных радиоустройствами и одновременно находящихся в шахте, шт., не более	1000
Искробезопасное питание постоянного тока	12 В от ШИП
Максимальная потребляемая мощность ШТД-РТД, Вт	0,9
Время работы с аккумуляторной поддержкой, час, не менее	16

Таблица В.6 – Состав СМС «ИСЕТЬ»

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Подземная часть системы		
Ретранслятор-точка доступа – шлюз-точка доступа	ШТД-РТД	Прим. 1
Интерком носимый	ИКН	
Анализатор	RTL-анализатор	
Наземная часть системы		
Шкаф для монтажа наземных элементов	Прим. 1	
ЦЭВМ - сервер (основной и резервный)		
ЦЭВМ - АРМ оператора		

Продолжение таблицы В.6

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Устройство бесперебойного питания	Прим. 1	
Сетевое оборудование		
Программное обеспечение		
Системное программное обеспечение, СУБД	Прим. 1	
Сервер связи, софт-телефон		
Система визуализации для позиционирования		
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1. Точная спецификация технических и программных средств для конкретного ГТО определяется Техническим проектом на внедрение системы.</p> <p>2. Устройства поставляются с комплектными кабелями.</p> <p>3. Для связи ШТД-РТД с наземным ПТК используются СПИН XXXYZ-К*SW.11, СПИН XXXYZ-К*SW.21 и СПИН XXXYZ-К*WW.21 из состава системы «Микон III».</p> <p>4. Для обеспечения искробезопасного питания используются ШИП-С.К.S.YY/VV, ШИП-А.к.s.yu/vv и СПИН 00000-ИП01.21.3 из состава системы «Микон III».</p> <p>5. Для монтажа кабелей используется ЯСУ-XX.Y.ZZ из состава системы «Микон III».</p>		

Таблица В.7 – Основные технические характеристики системы «Микон-ГЕО»

Характеристика	Значение
Количество объектов контроля, шт.	не ограничено
Количество ИПКС на одном участке, шт.	N
Количество ИПСМ на одном участке, шт., не более	N×10
Количество ИДУ на одном участке, шт.	по ТП
Количество ПУ, шт.	по ТП
Количество серверов, шт., не менее	1
Количество АРМ, шт., не менее	по ТП
Расстояние между, км, не более:	
- ИПКС-ИПСМ (данные сейсмоконтроля)	0,075
- ИПСМ-ИПСМ (данные сейсмоконтроля)	0,025
- ИДУ-ИПКС (сигнал синхронизации)	0,1
- ИПКС-ИПКС (сигнал синхронизации)	3
- ИПКС-СПИН (данные сейсмоконтроля и сигнал синхронизации)	0,01
- СПИН-СПИН (данные сейсмоконтроля и сигнал синхронизации)	не ограничено
Скорость передачи данных, кБод, не более:	
- интерфейс специализированный (ИПКС-ИПСМ и ИПСМ-ИПСМ)	115,2
- искробезопасный Ethernet 10/100BaseTX (ИПКС-СПИН)	1000
- между устройствами СПИН	1000
Длительность питания от аккумуляторных батарей, час, не менее	16

Таблица В.8 – Состав системы «Микон-Гео»

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Подземная часть Системы		
Искробезопасный полевой сейсмический модуль	ИПСМ	Прим. 1
Искробезопасный полевой контроллер синхронизации	ИПКС	
Искробезопасный датчик удара	ИДУ	
Наземная часть Системы		
ЦЭВМ – сервер	Прим. 1	
ЦЭВМ - АРМ специалиста		

Продолжение таблицы В.8

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Устройство бесперебойного питания		
Сетевое оборудование		
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1. Точная спецификация технических средств, входящих в комплект Системы для конкретного горно-технологического объекта, определяется Техническим проектом.</p> <p>2. Устройства поставляются с комплектными кабелями.</p> <p>3. Для связи ШТД-РТД с наземным ПТК используются СПИН ХХХУZ-К*SW.11, СПИН ХХХУZ-К*SW.21 и СПИН ХХХУZ-К*WW.21 из состава системы «Микон III».</p> <p>4. Для обеспечения искробезопасного питания используются ШИП-С.К.S.YY/VV, ШИП-А.k.s.yu/vv и СПИН 00000-ИП01.21.3 из состава системы «Микон III».</p> <p>5. Для монтажа кабелей используется ЯСУ-ХХ.Y.ZZ из состава системы «Микон III».</p>		

Таблица В.9 – Основные технические характеристики СПАС «Микон»

Характеристика	Значение
Максимальная дальность обнаружения радиомаяка антенной, м:	
- при низком уровне шумов	30
- при наличии металлических элементов (трубопроводов, рельсов, ...)	50
Дальность обнаружения радиомаяка антенной-искателем, м	0,1-2
Неточность определения расстояния, % прив.	
- с антенной	±20
- с антенной-искателем	±10
Неточность определения направления, град	
- с антенной	±15
- с антенной-искателем	±10
Длительность работы, час, не менее:	
- MinSearch-08	8
- ГПС-1 (PGLR)	32

Таблица В.10 – Состав СПАС «Микон»

Наименование устройства	Тип устройства	Кол-во
Подземная часть Системы		
Радиомаяк	ГПС-1	Прим. 1
Радиомаяк	PGLR	
Поисковое устройство	MinSearch-08	
Вызывное устройство	ВУ-1	
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1. Точная спецификация технических средств, входящих в комплект Системы для конкретного горно-технологического объекта, определяется Техническим проектом.</p> <p>2. Радиомаяки встраиваются в головные светильники, которые должны быть оборудованы радиоблоками СУБР-1МСП, обеспечивающими прием сигналов от комплекса СУБР-1П.</p>		

Таблица В.11 – Основные технические характеристики блока газового анализа БГА

Характеристика	Значение
Диапазоны преобразования контролируемых газов: - метана, % об. долей - оксида углерода, млн ⁻¹ - кислорода, % об. долей	0-2,5; 0-2,5 и 5-100; 0-5 и 5-100 0-200 0-25
Пределы допускаемой основной погрешности измерений - метана: - абсолютной в диапазоне преобразования от 0 до 2.5 % об.доли, % об.доли - относительной в диапазоне преобразования от 5 до 100 % об.доли, % - оксида углерода: - абсолютной в диапазоне преобразования от 0 до 50 млн ⁻¹ , млн ⁻¹ - относительной в диапазоне преобразования от 50 до 200 млн ⁻¹ , % - кислорода, абсолютной в диапазоне измерения, % об. долей	± 0,1 ± 5,0 ± 5,0 ± 10,0 ± 0,6
Диапазоны установки порогов срабатывания сигнализации для: - метана, % об. долей - оксида углерода, млн-1 - кислорода, % об. долей	0,5-2,0 17-100 18-20
Время установления показания T _{0,9} , с: - для метана и кислорода - для оксида углерода	30 45
Длительность непрерывной работы, час, не менее	24
Питание	от встроенного аккумулятора
П р и м е ч а н и я 1 В зависимости от исполнения в БГА реализуются различные каналы преобразования. 2 БГА эксплуатируется в составе СГМ «ИСЕТЬ».	

Приложение Г

Конфигуратор: C:\RTS\Cfg\GraphRepTest.rdb

Е Редактирование С Настройка У Утилиты

Дублировать Добавить Удалить 120

Основное

Переменные

ИНДИКАЦИЯ Тип сигнала ДМС03/02 Тип переменной Аналоговая
 Контролируемый диапазон 0.000 ... 5.000 %об. Контролируемый параметр метан
 Электрический диапазон 0.400 ... 2.000 В

Обозначения и отчетность

ВКЛЮЧЕН Шаблон M Название M11#1 Обозначение M11#1 Обозначение M11#1 ОПС

Отчет АГК - выключный участок "3" Обозначение M11#1

Положение и подключение

ИЗМЕРЕНИЕ Объект контроля ВУ "30 ЮЛ" Протокол SAP/01
 Точка контроля Поступающая струя выключного участка (30 ЮЛШ, 10-20 м от ЦЛШ II ступ. по ходу вент. струи) Адрес 3 Состояние ВКП
 Контроллер VAL#5200 Адрес 3 Состояние ВКП
 N вход/выхода 1 Отчет Отчет АГК - выключный участок "30 ЮЛ"

Пороговые уровни

Аварийно низкий порог (LL) 0 %об. Аварийно высокий порог (HH) 0.5 %об.
 Предварийно низкий порог (L) 0 %об. Предварийно высокий порог (H) 0.45 %об.
 Предельная скорость измерения 0 %об./сек

Сигнализация и отображение

Цветовая схема Датчик метана Технологический журнал Датчик метана
 Схема тревог Датчик метана Системный журнал Аналоговый датчик
 Голосовая схема Датчик метана Журнал управления

Дополнительные параметры

Запись в БД При изменении и через 1 мин Дата проверки 30 декабря 1899
 Зав. номер №1236 Дата градуировки 30 декабря 1899

Примечание

Формула расчета

Типы контроллеров

Типы сигналов

Типы точек контроля

Инд	ИЗМ	С11#1	СДСВ01.01.01/03	Аналоговая	0.000...5.000 м/с	0.400...2.000 В	VAL#5200	SAP/01	10 ВУ "30 ЮЛ"	Исходящая струя выключног
Инд	ИЗМ	С11#2	СДСВ01.01.01/03	Аналоговая	0.000...5.000 м/с	0.400...2.000 В	VAL#5200	SAP/01	11 ВУ "30 ЮЛ"	Поступающая струя очистной
Инд	ИЗМ	D11#48	Дискретный вход ПБУ (НОК)	Дискретная	0.000...0.000 0	-1.000...-1.000 0	VAL#5200	SAP/01	48 ВУ "30 ЮЛ"	Неиспользуется
Инд	ИЗМ	DO11#1	Релейный выход ПБУ (НОК)	Дискретная	0.000...0.000 0	-1.000...-1.000 0	VAL#5200	SAP/01	57 РПП-6 гор. -450 КРУВ-6 (РПП-6 гор. -450 м)	
Инд	ИЗМ	M11#1	ДМС03/02	Аналоговая	0.000...5.000 %об	0.400...2.000 В	VAL#5200	SAP/01	1 ВУ "30 ЮЛ"	Поступающая струя выключн
Инд	ИЗМ	M11#7	ДМС03/02	Аналоговая	0.000...5.000 %об.	0.400...2.000 В	VAL#5200	SAP/01	8 ВУ "30 ЮЛ"	Исходящая струя выключног
Инд	ИЗМ	M11#8	ДМС03/02	Аналоговая	0.000...5.000 %об.	0.400...2.000 В	VAL#5200	SAP/01	9 ВУ "30 ЮЛ"	Подстанция (29 ЮЛШ, 10-15 м
Инд	ИЗМ	OY11#1	СДТ01.01.01	Аналоговая	0.000...50.000 ppm	0.400...2.000 В	VAL#5200	SAP/01	12 ВУ "30 ЮЛ"	Исходящая струя очистной в
Инд	ИЗМ	OY11#2	СДТ01.01.01	Аналоговая	0.000...50.000 ppm	0.400...2.000 В	VAL#5200	SAP/01	13 ВУ "30 ЮЛ"	Исходящая струя выключног
Инд	ИЗМ	SNAS11#3	Дискретный вход ПБУ (НОК)	Дискретная	0.000...0.000 0	-1.000...-1.000 0	VAL#5200	SAP/01	32 ВУ "30 ЮЛ"	Насос (водопития гор.-420 м)

Загружены данные: C:\RTS\Cfg\GraphRepTest.rdb

Рисунок Г.1 – Общий вид конфигууратора (rtConfig)

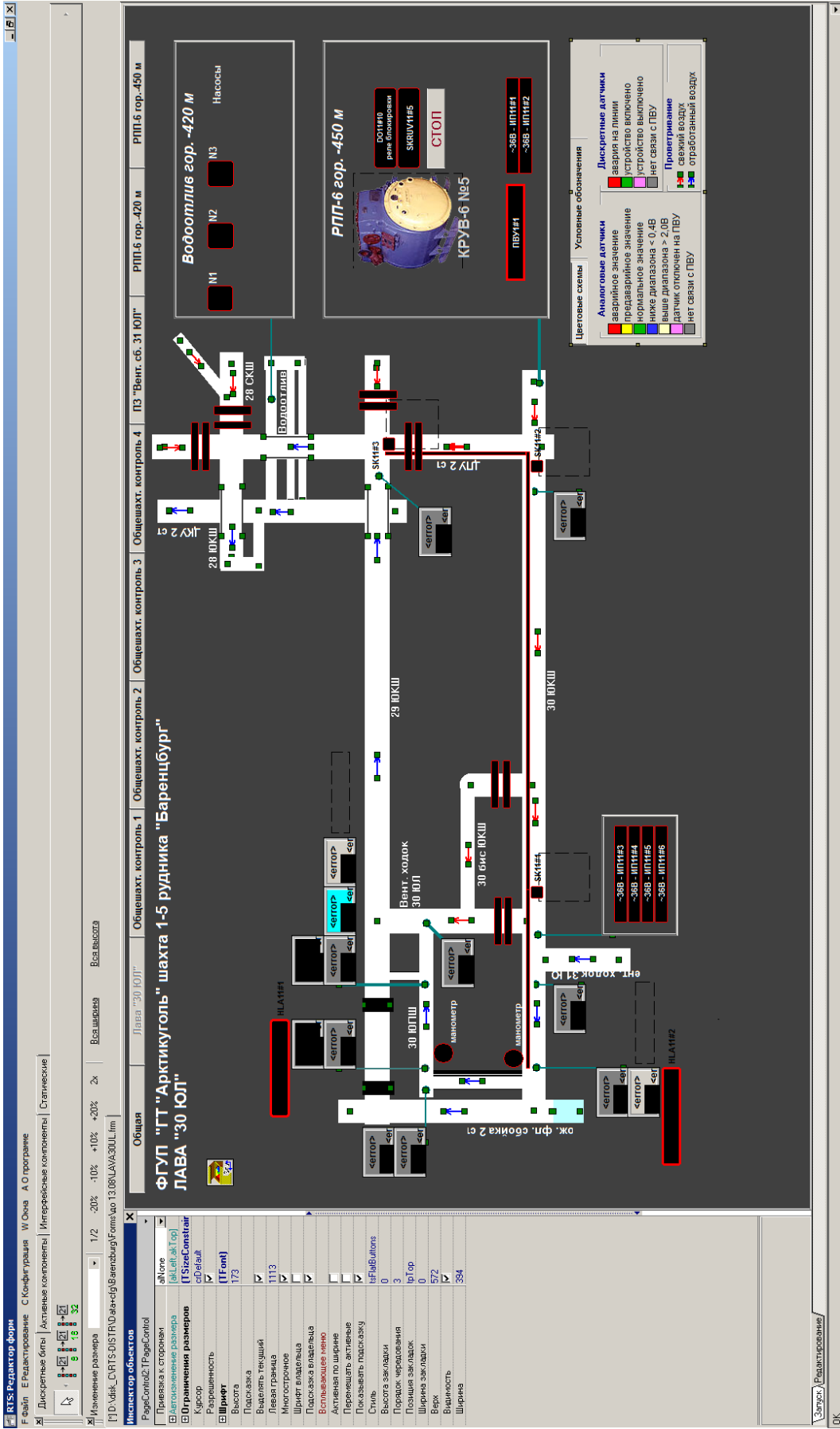


Рисунок Г.2 – Общий вид редактора мнемосхем (rtDesigner) в режиме редактирования



Рисунок Г.3 – Общий вид оболочки оператора (rtRTS) и окно просмотра архивного графика

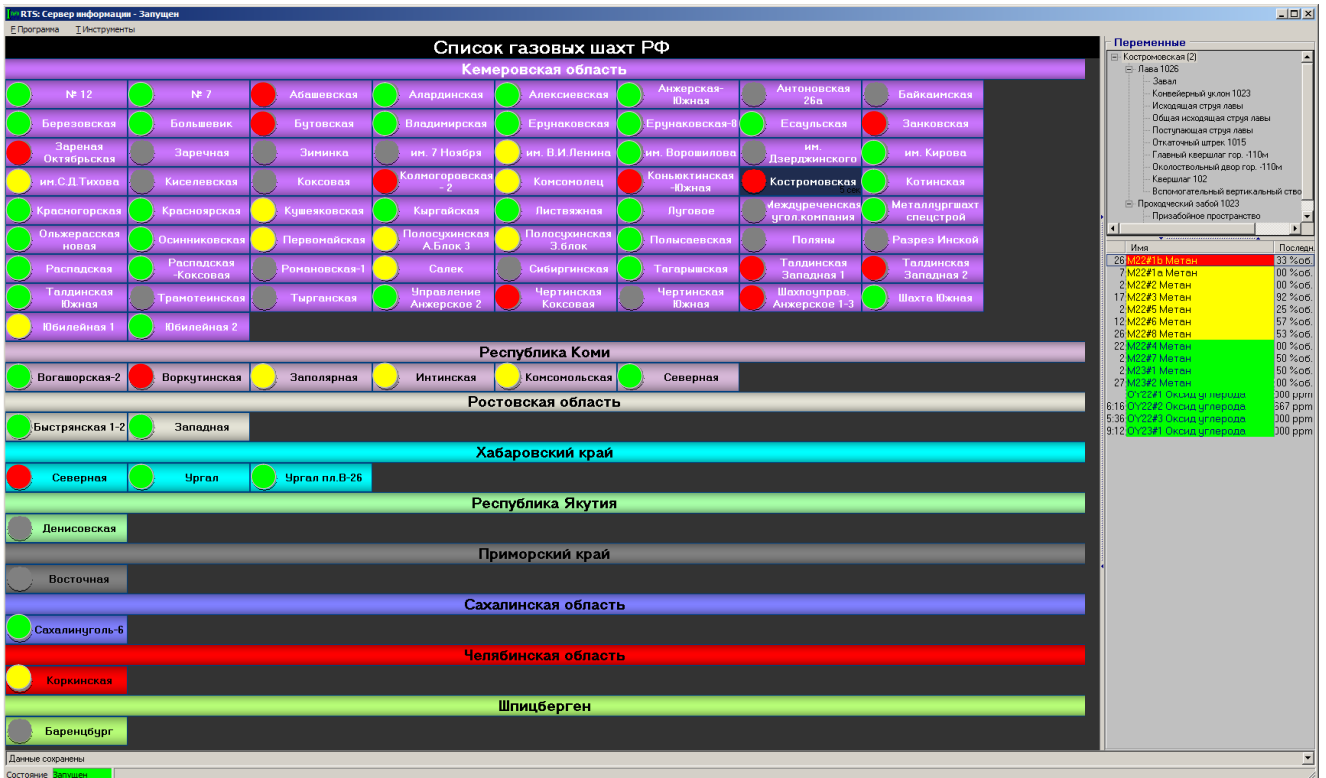


Рисунок Г.5 – Общий вид пользовательского интерфейса модуля rtISrv комплекса передачи данных АГК в ЦУКС МЧС РФ и Ростехнадзор

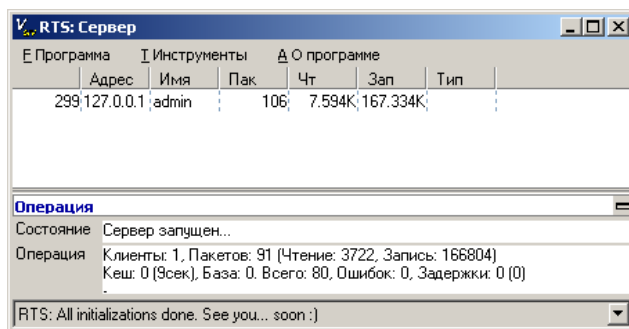


Рисунок Г.6 – Общий вид сервера данных реального времени (rtVarSrv)

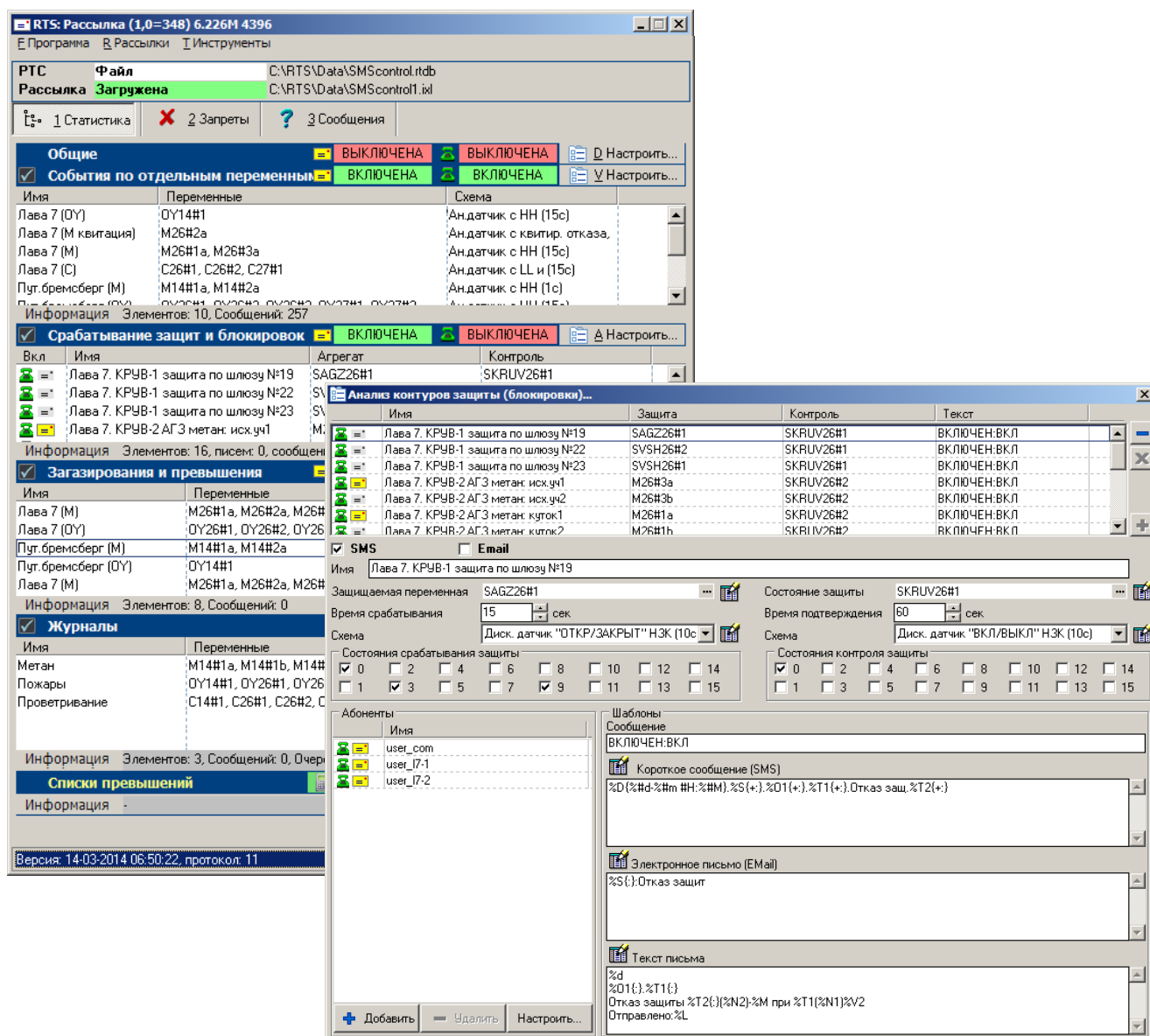


Рисунок Г.7 – Общий вид утилиты SMS- и Email-информирования (rtSMSSrv) и закладки конфигурирования SMS- и Email-сообщений по результатам анализа срабатывания контуров противоаварийного управления, ПАЗ и АГЗ

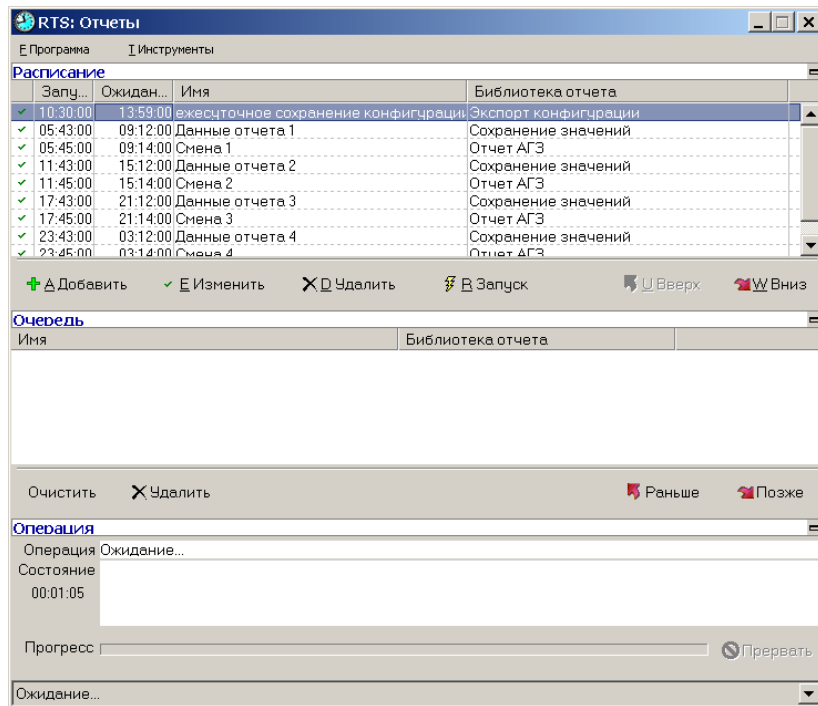


Рисунок Г.8 – Общий вид планировщика (rtReport)

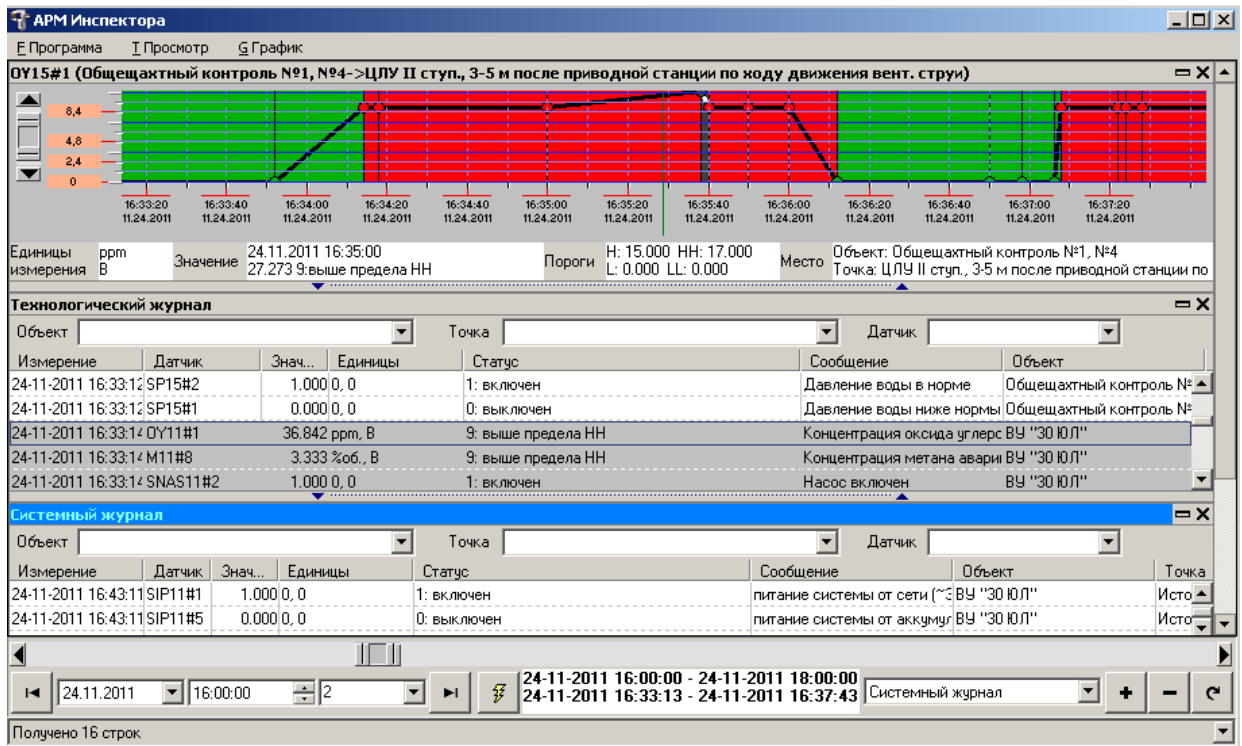


Рисунок Г.9 – Общий вид программы АРМ для работников контрольных и надзорных органов (rtInspector) – интерфейс ПАГС

Приложение Д

Таблица Д.1 – Основные метрологические характеристики измерительных каналов МФСБ «ИНГОРТЕХ»

Первичный измерительный преобразователь	Определяемый компонент	Диапазон показаний объемной доли определяемого компонента	Диапазон измерений объемной доли определяемого компонента	Пределы допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой вариации, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	Время срабатывания сигнализации, с	Пределы допускаемой погрешности срабатывания сигнализации	Интервал времени непрерывной работы без корректировки показаний, сут	Время установления ($T_{0,9}$), с, не более
ДМС01-(0-5)	Метан (CH ₄)	0-100 % об. долей	0-2,5 % об. долей	± 0,2 % об. долей	0,5	15	± 0,1 % об. долей	30	20
ДМС01-(0-100)	Метан (CH ₄)	0-100 % об. долей	0-60 % об. долей	± 5,0 % об. долей	0,5	15	± 0,1% об. долей	30	20
			60-100 % об. долей	± 15 % об. долей					
ДМС 03	Метан (CH ₄)	0-100 % об. долей	0-2,5 % об. долей	± 0,1% об. долей	0,5	15	± 0,1% об. долей	30	10
			5-100 % об. долей	± 3 % об. долей					
ДМС 03Э	Метан (CH ₄)	0-100 % НКПР	0-57 % НКПР	± 5 % НКПР	0,5	15	±0,3 % НКПР	5	30
ИДИ-10	Метан (CH ₄)	0-100 % об. долей	0-2,5 % об. долей	± 0,2 % об. долей	0,5	не нормирована	± 0,1% об. долей	30	30
			0-5 % об. долей	± 0,5 % об. долей					
			5-100 % об. долей	± 10 % отн. долей					

Продолжение таблицы Д.1

Первичный измерительный преобразователь	Определяемый компонент	Диапазон показаний объемной доли определяемого компонента	Диапазон измерений объемной доли определяемого компонента	Пределы допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой вариации, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	Время срабатывания сигнализации, с	Пределы допускаемой погрешности срабатывания сигнализации	Интервал времени непрерывной работы без корректировки показаний, сут	Время установления ($T_{0,9}$), с, не более
ИТС2-СН4-01, ИТС2-СН4-03	Метан (СН ₄)	0-100 % об. долей	0-2,5 % об. долей	± 0,1% об. долей	0,5	15	± 0,1% об. долей	30	20
			от 5 до 100 % об. долей	± 3,0 % об. долей					
ИТС2-СН4-02, ИТС2-СН4-04	Метан (СН ₄)	0-100 % об. долей	0-2,5 % об. долей	± 0,2 % об. долей	0,5	15	± 0,1% об. долей	30	20
ИТС2-СН4-05, ИТС2-СН4-06	Метан (СН ₄)	0-100 % об. долей	0-100 % об. долей	± 3,0 % об. долей	0,5	15	± 0,1% об. долей	90	20
ИТС2-СН4-25, ИТС2-СН4-26	Метан (СН ₄)	0-100 % об. долей	0-2 % об. долей	± 0,1% об. долей	0,5	15	± 0,1% об. долей	90	30
			2-100 % об. долей	± 5 % отн.					
ИТС2-ГГ-07, ИТС2-ГГ-083)	Смесь горючих газов	0-100 % НКПР	0-57 % НКПР	± 5 % НКПР ²⁾	0,5	15	± 0,1% об. долей	30	20
ИТС2-СХНУ-09, ИТС2-СХНУ-10	Смесь углеводородов	0-100 % НКПР	0-50 % НКПР	± 5 % НКПР	0,5	не нормирована	± 0,1% об. долей	90	40
СДТГ 01, СДОУ 01	Оксид углерода (СО)	0-200 млн ⁻¹	0-50 млн ⁻¹	± (2+ +0,1×Свх) млн ⁻¹	0,5	не нормированы		60	120

Продолжение таблицы Д.1

Первичный измерительный преобразователь	Определяемый компонент	Диапазон показаний объемной доли определяемого компонента	Диапазон измерений объемной доли определяемого компонента	Пределы допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой вариации, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	Время срабатывания сигнализации, с	Пределы допускаемой погрешности срабатывания сигнализации	Интервал времени непрерывной работы без корректировки показаний, сут	Время установления ($T_{0,9}$), с, не более
ДООИ	Оксид углерода (СО)	0-200 млн ⁻¹	0-50 млн ⁻¹	$\pm (3+0,1 \times \times C_{\text{Вх}})$ млн ⁻¹	0,5	не нормированы	60	120	
			0-200 млн ⁻¹						
СДТГ 02	Водород (H ₂)	0-999 млн ⁻¹	0-50 млн ⁻¹	$\pm (2+0,15 \times \times C_{\text{Вх}})$ млн ⁻¹	0,5	не нормированы	30	120	
СДТГ 03	Водород (H ₂)	0-1,0 % об. долей	0-0,5	$\pm 0,1\%$ об. долей	0,5	не нормированы	30	120	
СДТГ 05	Оксид азота (NO)	0-100 млн ⁻¹	0-10 млн ⁻¹	$\pm (0,5+0,1 \times \times C_{\text{Вх}})$ млн ⁻¹	0,5	не нормированы	30	120	
СДТГ 06	Диоксид азота (NO ₂)	0-100 млн ⁻¹	0-10 млн ⁻¹	$\pm (0,2+0,05 \times \times C_{\text{Вх}})$ млн ⁻¹	0,5	не нормированы	30	120	
СДТГ 11	Кислород (O ₂)	0-25%	0-25%	$\pm (0,5+0,1 \times \times C_{\text{Вх}})$ % об. долей	0,5	не нормированы	30	120	
ИДИ-20	Диоксид углерода (CO ₂)	0-2 %	0-2 %	$\pm 0,2\%$ об. долей	0,5	не нормированы	60	30	
ИТС2-СО-11, ИТС2-СО-12	Оксид углерода (СО)	0-500 млн ⁻¹	0-50 млн ⁻¹	± 5 млн ⁻¹	0,5	не нормированы	60	45	
			50-500 млн ⁻¹	$\pm 10\%$ отн.					

Продолжение таблицы Д.1

Первичный измерительный преобразователь	Определяемый компонент	Диапазон показаний объемной доли определяемого компонента	Диапазон измерений объемной доли определяемого компонента	Пределы допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой вариации, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	Время срабатывания сигнализации, с	Пределы допускаемой погрешности срабатывания сигнализации	Интервал времени непрерывной работы без корректировки показаний, сут	Время установления ($T_{0,9}$), с, не более
ИТС2-CO-13, ИТС2-CO-14	Оксид углерода (CO)	0-5000 млн ⁻¹	0-500 млн ⁻¹	± 50 млн ⁻¹	0,5	не нормированы	60	45	
			500-5000 млн ⁻¹	± 10 % отн.					
ИТС2-O2-15, ИТС2-O2-16	Кислород (O ₂)	0-25%	0-25%	± 0,6 % об. долей	0,5	не нормированы	30	30	
ИТС2-H2S-17, ИТС2- H2S-18	Сероводород (H ₂ S)	0-100 млн ⁻¹	0-10 млн ⁻¹	± 1,5 млн ⁻¹	0,5	не нормированы	60	45	
			10-100 млн ⁻¹	± 15 % отн.					
ИТС2-CO2-19, ИТС2-CO2-20	Диоксид углерода (CO ₂)	0-10 %	0-2%	± 0,1% об. долей	0,5	не нормированы	60	30	
ИТС2-NO-21, ИТС2-NO-22	Оксид азота (NO)	0-100 млн ⁻¹	0-20 млн ⁻¹	± (1+0,1× ×C _{вх}) млн ⁻¹	0,5	не нормированы	60	45	
ИТС2-NO2-23, ИТС2-NO2-24	Диоксид азота (NO ₂)	0-100 млн ⁻¹	0-20 млн ⁻¹	± (0,5+0,1× ×C _{вх}) млн ⁻¹	0,5	не нормированы	60	45	
ИТС2-H2-27, ИТС2-H2-28	Водород (H ₂)	0-2000 млн ⁻¹	0-1500 млн ⁻¹	± (2+0,12× ×C _{вх}) млн ⁻¹	0,5	не нормированы	60	100	

Продолжение таблицы Д.1

Первичный измерительный преобразователь	Определяемый компонент	Диапазон показаний объемной доли определяемого компонента	Диапазон измерений объемной доли определяемого компонента	Пределы допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой вариации, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	Время срабатывания сигнализации, с	Пределы допускаемой погрешности срабатывания сигнализации	Интервал времени непрерывной работы без корректировки показаний, сут	Время установления ($T_{0,9}$), с, не более
СДСВ 01	Скорость воздушного потока	от минус 60 до плюс 60 м/с	0,1-0,6 м/с	$\pm 0,1$ м/с	не нормирована			межповоротный интервал	2, 8, 32
			0,6-30 м/с	$\pm (0,09 + 0,02 \times V)$ м/с					
ИЗСТ-01	Массовая концентрация пыли	0-1500 мг/м ³	0-100 мг/м ³	± 20 % прив.	не нормированы				
			100-1500 мг/м ³	± 20 % отн.					
СДД 01	Разности давлений	0-5,89 (40; 100; 500; 1000) кПа	0-5,89 (40; 100; 500; 1000) кПа	± 2 % прив.	0,5	не нормированы			
	Абсолютного давления	53,2-114,4 кПа; 60-2500 кПа; 0-0,6 (1; 2,5; 6; 10) МПа	53,2-114,4 кПа; 60-2500 кПа; 0-0,6 (1; 2,5; 6; 10) МПа						
ИВД-2	Зазор	0,4-6,0 мм	0,4-6,0 мм	± 3 % отн.	не нормированы				
ИВД-3	СКЗ виброскорости	0,8-70 мм/с	0,8-70 мм/с	± 6 % отн.	не нормированы				

Продолжение таблицы Д.1

Первичный измерительный преобразователь	Определяемый компонент	Диапазон показаний объемной доли определяемого компонента	Диапазон измерений объемной доли определяемого компонента	Пределы допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой вариации, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	Время срабатывания сигнализации, с	Пределы допускаемой погрешности срабатывания сигнализации	Интервал времени непрерывной работы без корректировки показаний, сут	Время установления ($T_{0,9}$), с, не более
ДТМ	Температура	от минус 55 до плюс 125 °С	от минус 50 до плюс 125 °С	± 1 °С	не нормированы				
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1 Указан предел допускаемого времени установления показаний по уровню 0,9 ($T_{0,9}$) ПИП / датчика без учета времени задержки канала передачи и отображения информации.</p> <p>2 С_{вх} – объемная доля определяемого компонента на входе ПИП, млн⁻¹ или %, V – скорость движения воздуха, м/с.</p> <p>3 Время прогрева технических средств измерительных каналов: ДМС 01, ДМС 03, ДМС 03Э, СДОУ 01, ДОУИ, СДТГ 01, СДТГ 02, СДТГ 03, СДД 01, ДТМ не превышает 10 мин; для ИТС2-СН4-25, ИТС2-СН4-26 – 1,5 мин; для СДСВ 01, ИВД-2, ИВД-3 и остальные датчики ИТС2 – 1 мин; для ИДИ – 30 мин и для СДТГ 05, СДТГ 06, СДТГ 11 – 200 мин.</p>									

Приложение Е

Таблица Е.1 – Промышленная эксплуатация МФСБ «ИНГОРТЕХ» и ее подсистем и реализуемые планы по внедрению (ноябрь 2015 г.)

Наименование компании	Наименование предприятия	АГК и АГЗ	Обнаружение пожаров	Контроль и управление ГОУ, ДГУ и ДЭС	СПГТ-41	Микон-ГЕО	СМС "ИСЕТЬ"	СУБР-ПП	СПАС Микон	ВЗГВ-У "Старт"	Информационно-аналитическая система	МФСБ	Передача данных от М02 в систему АГК	SMS-, Email информирование	Передача данных из системы АГК в ТУ РТН	Передача данных из системы АГК в ЦУКС ВГСЧ МЧС РФ	ВСЕГО
	Донской антрацит											П					0
Лукойл	НШУ Яреганефть		1		1												2
ООО "Промуглесбыт"	р-з Инской	1						1									2
	р-з Сибиргинский	1										П					1
Дальполиметалл	р-к Восточный		1														1
АК "Алроса" ЗАО	р-к Интернациональный	1		1													2
АК "Алроса" ЗАО	р-к Мир	1						1									2
АК "Алроса" ЗАО	р-к Удачный	1		1				1									3
	Сибирские ресурсы				П			П	П								0
	Ургал	1															1
	УС-30	1										П					1
	ЦОФ Печорская	1															1
Арктикуголь	ш. 1-5 р-к Баренцбург	1	1		1		1	В	В			П			1	1	6
ОАО "СУЭК"	ш. №7	1															1
Южкузбассуголь	ш. Абашевская	1		1	П												2
	ш. Алардинская				П												0
ООО "УК "Заречная"	ш. Алексиевская	1										П					1
	ш. Антоновская			П		П											0
ОАО "УК "Алмазная"	ш. Алмазная	П		1								П					1
УГМК, Кузбассразрезуголь	ш. Байкаимская	1			1	В		1	1	П		П					4
Северный Кузбасс	ш. Березовская	1		1		В											2
	ш. Большевик	1						1	1								3
	ш. Бутовская	1	1	1	1	П		П	П			П					4
ОАО КОКС	ш. Владимирская	1			1	П		1	1			П					4
ОАО "Воркутауголь"	ш. Воргашорская	1						1				П			1	1	4
ОАО "Воркутауголь"	ш. Воркутинская	1		1				1				П			1	1	5
ОАО "ш.Джебарики-Хая"	ш. Джебарики-Хая	1															1

Таблица П.6.1 – Продолжение

Наименование компании	Наименование предприятия	АГК и АГЗ	Обнаружение пожаров	Контроль и управление ГОУ, ДГУ и ДГС	СПГТ-41	Микон-ГЕО	СМС "ИСЕТЬ"	СУБР-П	СПАС Микон	ВЗГВ-У "Старт"	Информационно-аналитическая система	МФСБ	Передача данных от М02 в систему АГК	SMS-, Email информирование	Передача данных из системы АГК в ТУ РТН	Передача данных из системы АГК в ЦУКС ВГСЧ МЧС РФ	ВСЕГО
ОАО "СУЭК"	ш. Егазовская			1													1
Южкузбассуголь	ш. Есаульская	1		1	1	1		1	1				1				7
	ш. Ерунаковская		1														1
ОАО "Воркутауголь"	ш. Заполярная	1						1				П			1	1	4
ш. Сибирская	ш. Заречная	В		1													1
ООО "ШУ Прокопьевское"	ш. Зенковская	1										П					1
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. Зиминка	1		1	1			1	1			П					5
ОАО "СУЭК"	ш. им. 7 ноября	1		1										1			3
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. им. Ворошилова	1		1	1			В	В								3
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. им. Дзержинского	1			1			В	В			П					2
ОАО "СУЭК"	ш. им. Кирова			1				1	1			П					3
Южный Кузбасс	ш. им. Ленина	1		1				1	1			П					4
ОАО КОКС	ш. им. Тихова	1			1	П		В	В			П					2
Интауголь	ш. Интинская	1															1
ОАО по добыче угля "ЧУК"	ш. Капитальная	1															1
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. Киселевская	1			1			1	1			П					4
ООО "ШУ Прокопьевское"	ш. Коксовая-2	1			1			1	1			П					4
ООО "Промуглесбыт"	ш. Колмогоровская-2	1			1			1				П					3
ОАО "СУЭК"	ш. Комсомолец	1		1		В		1	1		П			1			5
ОАО "Воркутауголь"	ш. Комсомольская	1						1				П			1	1	4
Ровер	ш. Конюхтинская-Южная	1															1
ОАО по добыче угля "ЧУК"	ш. Коркинская	1															1
ООО "Белон"	ш. Костромовская	1				В											1
ОАО "СУЭК"	ш. Котинская	1												1			2
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. Красногорская	1		1	1			1	1			П					5
ОАО "СУЭК"	ш. им. А. Д. Рубана	1		1										1			3
УПТК	ш. Кыргайская	1															1
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. Листвяжная	1			1			1				П					3
	ш. Межэгейуголь	1	1		1			1	1								5

Таблица П.6.1. Продолжение

Наименование компании	Наименование предприятия	АКГ и АГЗ	Обнаружение пожаров	Контроль и управление ГОУ, ДГУ и ДГС	СППТ-41	Микон-ГЕО	СМС "ИСЕТЬ"	СУБР-ПП	СПАС Микон	ВЗГВ-У "Старт"	Информационно-аналитическая система	МФСБ	Передача данных от М02 в систему АГК	SMS-, Email информирование	Передача данных из системы АГК в ТУ РГН	Передача данных из системы АГК в ЦУКС ВГСЧ МЧС РФ	ВСЕГО
	ш. Обуховская																0
ОАО "СУЭК"	ш. Октябрьская	1		1	В			В	В					1			3
	ш. Ольжерасская-Новая											П					0
Северный Кузбасс	ш. Первомайская	1				П											1
Металлургшахтспецстрой	ш. Полосухинская	1		1													2
ОАО "СУЭК"	ш. Польшаевская	1	1	1	1	П	1							1			6
Распадский уголь	ш. Распадская			1		В											1
ОАО КОКС	ш. Романовская	1				П						П					1
Эдванс	ш. Ростовская							1									1
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. Салек	1															1
ООО "Сахалинуголь"	ш. Сахалинуголь-6	1			1												2
ОАО "Воркутауголь"	ш. Северная	1		1		П		1		П		П			1	1	5
ОАО "Ургалуголь"	ш. Северная	1		1													2
ш. Сибирская	ш. Сибирская	1			В			В	В								1
ГМК НН, Р-к Комсомольский	ш. Скалистая	1															1
ООО "Шахта Тайлепская"	ш. Тайлепская	1															1
ОАО "СУЭК"	ш. Талдинская-Западная 1	1												1			2
ОАО "СУЭК"	ш. Талдинская-Западная 2	1												1			2
ОАО "Разрез Новоказанский"	ш. Талдинская-Южная	1															1
Дарасунский рудник	ш. Теремки		1														1
	ш. Увальная				1	П											1
	ш. Усковская		1	1									В				2
ОАО по добыче угля "ЧУК"	ш. Центральная	1															1
ООО "Белон"	ш. Чертинская-Коксовая				1			1									2
Эдванс	ш. Шерловская-Наклонная				1			1	1								3
Южкузбассуголь	ш. Юбилейная	1		1	1	1											4
Дарасунский рудник	ш. Юго-Западная		1														1
ОАО ХК "СДС-Уголь"	ш. Южная	1										П					1
ОАО "Приморскуголь"	ШУ Восточное	1			1			В	В					1			3

Таблица П.6.1. Продолжение

Наименование компании	Наименование предприятия	АКГ и АГЗ	Обнаружение пожаров	Контроль и управление ГОУ, ДГУ и ДГС	СПГГ-41	Микон-ГЕО	СМС "ИСЕТЬ"	СУБР-1П	СПАС Микон	ВЗГВ-У "Старт"	Информационно-аналитическая система	МФСБ	Передача данных от М02 в систему АГК	SMS-, Email информирование	Передача данных из системы АГК в ТУ РТН	Передача данных из системы АГК в ЦУКС ВГСЧ МЧС РФ	ВСЕГО
шахта № 12	шахта № 12	1															1
ШУ Анжерское	ШУ Анжерское	1										П					1
ООО "УК "Заречная"	ШУ Карагайлинское	1										П					1
ОАО Заречная	ШУ Октябрьское				1												1
	ОАО "Рудник веселый"				1												1
	ОАО "Стойленский ГОК"				П												0
ОАО Евразруда	Казский филиал				1												1
ОАО Евразруда	Горно-Ошорский филиал				1												1
ОАО Евразруда	Таштагольский филиал				1												1
	МУК-96					П											0
	ИТОГО по функциям	67	10	26	28	2	2	25	13	0	0	0	1	9	6	6	195
<p>П р и м е ч а н и е – «П» – этап проектирования, «В» – внедрение.</p>																	