

*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)*

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**Санкт – Петербург - 2017**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный горный университет».

**Официальные оппоненты:**

*Трубицына Нэля Вадимовна*  
доктор технических наук, ООО «ВостЭКО», заместитель  
директора по научной работе

*Филин Александр Эдуардович*  
доктор технических наук, Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС», кафедра  
«Техносферная безопасность», профессор

*Фомин Анатолий Иосифович*  
доктор технических наук, доцент, АО «Научный центр ВостНИИ  
по безопасности работ в горной промышленности», отдел  
подготовки и аттестации научных кадров, ведущий научный  
сотрудник

*Ведущая организация* – федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Защита состоится 20 марта 2017 г. в 13 час. 00 мин. на  
заседании диссертационного совета Д 212.224.09 при  
Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106,  
Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Санкт-Петербургского горного университета и на сайте:  
[www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 20 декабря 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



ФОМИН  
Сергей Игоревич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**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 при ограничениях, накладываемых требованиями охраны труда (ОТ) и промышленной безопасности (ПБ). Анализ смертельного травматизма и аварийности показывает, что общая тенденция к их снижению нарушается крупными авариями, свидетельствующими о наличии проблем в сфере ОТ и ПБ, для решения которых автор предлагает применять организационно-технические меры, основанные на использовании многофакторного комплексного контроля параметров производственных и природных процессов и развитой обработке данных, осуществляемых в системах управления ОТ (СУОТ) и ПБ (СУПБ). 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.

Несмотря на то, что МФСБ проектируются, серийно выпускаются и эксплуатируются на угольных шахтах, до сих пор 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, коммуникационных, компьютерных и информационных 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 нормативной документации (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 должно основываться на концепции 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 функционирования шахты.

**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 горнотехнической 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 иницирующих 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 (по ГОСТ Р МЭК 61508) внешние средства снижения риска, системы, связанные с безопасностью и другие средства снижения риска, 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.

#### **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 иницирующих 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, их подсистемах и различных видах их 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 её работникам шахты и в контролирующие и надзорные органы.

#### **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.

#### **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 её подсистем в целях повышения уровня ОТ и ПБ и включением результатов исследований в разработанные отраслевые НД и национальные стандарты.

#### **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 системы менеджмента риска.

2. Предложено решение научной проблемы текущего количественного оценивания риска деятельности работников, эксплуатации шахты, её 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 охраны труда и промышленной безопасности.

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 «ИНГОРТЕХ», 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.

#### **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., 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 представлялись на Международных выставках-ярмарках «Уголь-Майнинг России» и были отмечены дипломами, серебряной, золотой медалями и Гран-при.

#### **Публикации**

Результаты диссертации освещены в 34 печатных работах, из них 18 статей в изданиях, входящих в Перечень российских рецензируемых журналов ВАК, 6 в изданиях, не входящих в перечень ВАК, 1 программа для ЭВМ, 10 в сборниках тезисов и материалах конференций.

#### **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.

#### **Объем и структура**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списков сокращений и условных обозначений, терминов и литературы, 6 приложений. Общий объем диссертации: 259 страниц текста и список литературы из 280 наименований. В состав основной части входят 50 рисунок и 10 таблиц.

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи и идея исследований, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, практическая реализация результатов исследований и апробация работы.

**В первой главе** на основе обзора опасностей, угроз и рисков деятельности работников и функционирования угольной шахты подтверждено, что основными опасными производственными факторами и опасностями являются аэрологические, пожары и «человеческий фактор». Разработано обобщенное математическое описание угольной шахты как ОПО, процессов возникновения и развития опасных явлений и аварий, целей управления шахтой и рисками деятельности работников и эксплуатации шахты.

**Вторая глава** посвящена исследованию надежности систем АГЗ, как основного средства коллективной защиты работников от воздействия опасных аэрологических факторов. Показано, что системы АГЗ не способны обеспечить требуемое снижение риска, что осуществимо с использованием МФСБ. При этом МФСБ рассматривается как многоуровневая система коллективной и индивидуальной защиты и как часть СУОТ и СУПБ, важнейшей задачей которых является текущее количественное оценивание риска, для которого сформулированы общие требования. Рассмотрена задача оптимального синтеза МФСБ с целью управления рисками

деятельности работников и эксплуатации шахты.

**В третьей главе** разработана концептуальная модель количественного оценивания риска деятельности работника и эксплуатации угольной шахты, на основании которой сформулированы принципы построения и эксплуатации МФСБ и разработана ее концептуальная модель как многоуровневой системы коллективной защиты от воздействия опасных и вредных факторов и системы менеджмента риска, обеспечивающей повышение уровня ОТ и ПБ.

**Четвертая глава** посвящена разработке новых и улучшению существующих методов контроля опасных факторов производства, оперативного обнаружения и определения местоположения пожаров, контроля, прогнозирования и управления аэрологическим риском.

**В пятой главе** предложены методы повышения функциональной надежности и информационной достоверности средств контроля опасных и вредных факторов. Описана разработанная МФСБ, результаты ее внедрения и эксплуатации.

**В заключении** сформулированы основные научные и практические результаты работы и направления дальнейших исследований.

### **ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**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.**

Разработана концептуальная модель возникновения и развития опасных явлений (рисунок 1): 1) на ОПО постоянно присутствуют опасности; в ходе технологических (ТП) и производственных процессов (ПП) опасности **D** преобразуются в угрозы **T** –

неуправляемые процессы высвобождения энергии и вещества, возможности реализации которых характеризуются рисками  $R$ , которые связаны с уязвимостями ОПО  $V$ , влияющими на вероятность  $p$  и величину ущерба  $Y$ ; 2) опасные явления  $A$  возникают при совпадении во времени и пространстве ИУС, воздействие на которые возможно через управление ТП и ПП; 3) опасные явления развиваются по разным сценариям с различными итоговыми ущербами, при этом существуют возможности влиять на их развитие путем управления ТП и ПП. С учетом этого разработано описание угольной шахты как ОПО и целей ее функционирования:

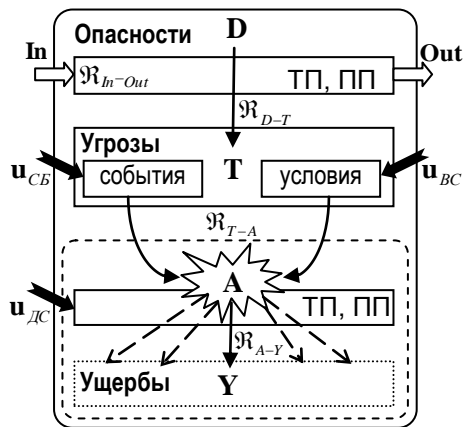


Рисунок 1 – Модель развития опасного явления (аварии)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ОПО} \equiv \{ \mathbf{E} | \mathbf{G}_{E-O}, \mathbf{O} | \mathbf{G}_{O-O}, \mathbf{In}, \mathbf{Out} \}; \\ \mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Extr} [\Xi_{\text{ОПО}} \{ [\mathbf{In}, \mathbf{D}] \mathfrak{R}_{\text{In-Out}} [\mathbf{Out}, \mathbf{Y}] \}], \end{array} \right. \quad (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} [D_j \in \mathbf{D}] \mathfrak{R}_{D-T} [T_k \in \mathbf{T}]; \\ [T_k \in \mathbf{T}] \mathfrak{R}_{T-A} [A_n \in \mathbf{A}]; \\ [A_n \in \mathbf{A}] \mathfrak{R}_{A-Y} [Y_m \in \mathbf{Y}], \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{O} = \{O_j(\mathbf{u}_j)\}$  – окружение (литосфера, гидросфера, атмосфера) и элементы (запасы полезного ископаемого, сооружения, оборудование, люди,...) ОПО;  $\mathbf{u}_j$  – управляющие воздействия;  $\mathbf{G}_{E-O}$  и  $\mathbf{G}_{O-O}$  – структуры связей окружения и элементов;  $\mathbf{D}$  – опасности (токсическая, тепловая, газодинамическая, техногенная,...);  $\mathbf{In}$  и  $\mathbf{Out}$  – входной и выходной потоки, элементы которых характеризуется количеством  $Q$  и стоимостью  $C$ ;  $\mathfrak{R}_{\text{In-Out}} = \{ \text{ТП}, \text{ПП}, \mathbf{E} | \mathbf{G}_{E-O}, \mathbf{O} | \mathbf{G}_{O-O} \}$ ;  $\mathbf{Y}$  – стоимость ущерба. ТП и ПП характеризуют взаимодействующими элементами ОПО со связями  $\text{ТП} = \{ \text{ТП}_j \}$ ,  $\text{ТП}_j = \{ \mathbf{E}_k | \mathbf{G}_{k,E-O}, \mathbf{O}_k(\mathbf{u}_k) | \mathbf{G}_{k,O-O} \}$  – ТП (энергоснабжение, водоснабжение, вентиляция, дегазация, проходка, очистка,...).

Возникновению и развитию опасных явлений соответствуют операторы  $\mathfrak{R}_{D-T}(\mathbf{u}_H)$ ,  $\mathfrak{R}_{T-A}(\mathbf{u}_H)$ ,  $\mathfrak{R}_{A-Y}(\mathbf{u}_A)$  (2), где  $\mathbf{u}_H = \{\mathbf{u}_{BC}, \mathbf{u}_{CB}\}$ ,  $\mathbf{u}_A = \mathbf{u}_{ДС}$  – управления в нормальном и аварийном режимах,  $\mathbf{u}_{BC}, \mathbf{u}_{CB}, \mathbf{u}_{ДС}$  – внешним средствам снижения риска (BC), системам, связанным с безопасностью (CB) и другим средствам снижения риска (ДС). Иницирующие условия проявляются при взаимодействии  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{O}$ , оператор  $\mathfrak{R}_{T-A}(\Phi)$  соответствует скачкообразному изменению состояния объекта до опасного, аварийного, условием чего является совпадение совокупности ИУС:  $[\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_{NR}\}] = 1$ , что проявляется в переходе параметров  $w'_k$  ТП, ПП от номинальных  $W'_k$  в область недопустимых значений  $\Theta'_k$ ,  $\varphi_k \equiv (w'_k \notin W'_k \rightarrow w'_k \in \Theta'_k, \Theta'_k \notin W'_k)$  – функция алгебры логики (ФАЛ).

Современная концепция безопасности предусматривает: использование категории допустимого риска  $R_{доп}$ ; предотвращение угроз до их возникновения; использование принципов эшелонированного обеспечения безопасности и управляемой безопасности; использование средств объективного контроля риска, развитых методов обработки данных и дистанционного мониторинга. С учетом этого задачи оптимального управления рисками могут принимать вид:

$$\begin{cases} \mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Min}[R(\mathbf{u}, \mathbf{Ц})]; \\ \sum_{i=1..NR} C_i(\mathbf{u}) < C_{зд}, \\ \end{cases} \quad \begin{cases} \mathbf{u}_{opt} = \text{Arg Min}[\sum C_i(\mathbf{u})]; \\ R - \Delta R(\mathbf{u}_{opt}) \leq R_{доп}, \end{cases}$$

где  $\sum C_i$  – фактические затраты на управление риском из множества стоимостей различных вариантов  $\mathbf{Ц} = \{C_j\}$ ;  $\Delta R$  – снижение риска, достигаемое с помощью МФСБ при оптимизации вкладов  $\mathbf{u}_{BC}, \mathbf{u}_{CB}, \mathbf{u}_{ДС}$ . Показано, что задача оптимального синтеза МФСБ  $\Xi_{\text{МФСБ}}\{[\mathbf{Z} \in \Phi(\pi)]\mathfrak{R}_{\text{МФСБ}}[\mathbf{V} \in \mathbf{O}]\} \rightarrow \text{Ext}$ , может быть решена с применением теории матричных антагонистических игр.

Оптимальное управление рисками возможно при наличии информации о  $\Xi_{\text{ОЛО}}, \Xi_{\text{МФСБ}}, \mathbf{R}$  и возможности управления ТП и ПП, что соответствует рассмотрению МФСБ как системы менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации угольной шахты и актуализирует задачу количественного оценивания риска, которое должно: осуществляться непрерывно; использовать единую шкалу;

быть объективным и автоматизируемым; учитывать плохо измеряемые и формализуемые показатели; формировать структурированные оценки для оптимизации и обеспечения оперативности процессов управления рисками в целях повышения уровня ОТ и ПБ.

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 иницирующих условий и событий, приводящих к возникновению и развитию опасных явлений и аварий; результатах измерения и контроля параметров природных, технологических и производственных процессов и численно-вероятностные методах их обработки; данных о физико-химических свойствах горных пород; моделях распространения ударной воздушной волны и газовых смесей.

Разработана обобщенная модель количественного оценивания текущего риска, основанная на интегрированном риске  $R(Y_2)$ , который определяется как математическое ожидание суммарного ущерба от всех видов и сценариев опасных событий и явлений:

$$R(Y_2) = \sum_V R(Y_v); \quad R(Y_v) = \sum_O \sum_D \sum_L R_{(v)dol}^{n(v)}(x) Y_{(v)dol}^{m(v)}(x); \quad Y_{(C)dol}(x) = N_{(C)oj} U_{CЖ} K_{(C)I} Z_{(C)g};$$

$$Y_{(M)dol}(x) = N_{(M)oj} U_{Bo} K_{(M)ol} U_{(M)lg}; \quad R_{(v)dol}(x) = \sum_H p(q_h) p(x|q_h),$$

где  $V$  – множество видов ущербов и рисков: (С) – социальный, (М) – материальный;  $Y_{(v)dol}(x)$  – ущерб  $v$ -го вида (С, М), наносимый реципиенту  $o$ -го вида;  $N_{(C)oj}$  и  $N_{(M)oj}$  – количество реципиентов в  $j$ -й зоне с одинаковыми условиями поражения;  $U_{CЖ}$  и  $U_{Bo}$  – плата за спасение жизни и восстановление материального актива;  $K_{(C)I}$

и  $K_{(M)ol}$  – коэффициенты, сопоставляющие степень поражения со смертельным исходом и полным разрушением;  $Z_{(C)g}$  и  $U_{(M)l}$  – защищенность  $g$ -го человека и устойчивость  $l$ -го материального актива. В общем случае ущербы зависят от типа опасности  $d \in \mathbf{D}$ , вида реципиентов  $o \in \mathbf{O}$  и степени их поражения  $l \in \mathbf{L}$ ;  $n(v_i)$  и  $m(v_i)$  – показатели, отражающие восприятие обществом вероятностей и ущербов для разных опасностей;  $x$  – положение реципиента относительно места неуправляемого выброса энергии (вещества);  $R_{(v)dol}(x)$  – потенциальный риск поражения реципиента, который зависит от следующих двух групп случайных событий.

1-я группа событий характеризует выброс энергии и вещества  $q_h$  для  $h$ -го сценария возникновения опасного явления, аварии и их развития:  $p(q_h) = p_{FTA}(q_h)p_{ETA}(q_h)$  ;  $p_{FTA}(q_h) = p(\phi_{FTA}(\mathbf{z}) = 1) = O_{FTA_h}$  ;  $p_{ETA}(q_h) = \prod O_{(h)j}$ , где  $p_{FTA}(q_h)$  и  $p_{ETA}(q_h)$  – вероятность возникновения (ФТА – «дерево отказов») и развития (ЕТА – «дерево событий»), определяемые на основе ЧВ методов;  $\phi_{FTA}(\mathbf{z}) = \phi_{FTA}(z_1, \dots, z_n)$  – ФАЛ;  $z_j$  – переменная, характеризующая ИУС, с вероятностью опасности  $p(z_j = 1) = O_j$ , определяемой логико-вероятностными (ЛВ) методами;  $O_{(h)j}$  – вероятность опасного состояния  $j$ -го средства предотвращения распространения аварии и минимизации наносимого ущерба. Для ранжирования ИУС используются показатели значимости и вклада. Логические переменные  $z_i$  могут быть определены на основе  $\mathbf{w} = \{w_j\}$ , контролируемых МФСБ, АСУ ТП, АСУ ПП, оценены в МФСБ на основе параметров ТП и ПП  $\mathbf{x} = \{x_j\}$ , вычислены статистически и иным способом для рассматриваемого ОПО или его аналогов. Функции, связывающих переменные  $\mathbf{w}$  и опасности  $O$ , могут иметь вид  $O_j(t) = \begin{cases} 0, \text{ при } w_j(t) < W_{j,ПОР}; \\ 1, \text{ при } w_j(t) \geq W_{j,ПОР}, \end{cases}$   $O_k = p_k((w_j > W_{j,ПОР}) = 1) = \frac{\sum g_k(w_j > W_{j,ПОР})}{\sum g_k(w_j)}$ , где  $W_{j,ПОР}$  – пороговое значение для переменной  $w_j$ ;  $\mathbf{g}_k(w_j)$  – гистограмма переменной,  $\mathbf{g}_k(w_j) = \{g_1(w_j \in [W_1, W_2]), \dots, g_n(w_j \in [W_n, W_{n+1}[])\}$ .  $O_{(h)j}$  могут быть рассчитаны на основе справочных данных или

получены в ходе самодиагностики МФСБ.

2-я группа событий в  $R_{(v)dol}(x)$  соответствует условной вероятности  $p(x|q_h)$  поражения реципиента на расстоянии  $x$  от эпицентра выброса и описывается координатными законами поражения вида  $P_{(d)ol}(x|\mathbf{q}) = \begin{cases} P_{(d)0}(\mathbf{o}, \mathbf{q}, \mathbf{s}, x), & \text{при } 0 < x \leq x_{(d)nop}(l); \\ P_{(d)x}(\mathbf{o}, \mathbf{q}, \mathbf{s}, x), & \text{при } x_{(d)nop}(l) < x, \end{cases}$

где  $p_{(d)0}$  – условная вероятность поражения на расстоянии меньше порогового  $x_{(d)nop}$ ;  $\mathbf{o}$ ,  $\mathbf{q}$  и  $\mathbf{s}$  – параметры реципиента, выброса и условий выброса. Законы поражения могут быть описаны распределениями Вейбулла: а) токсическое поражение с учетом НД, содержащих информацию о соответствии размеров  $x$  зон поражений и мощностей выбросов  $q$  (зависимость  $x = \varphi(q)$ ), может быть описано в виде:

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

где  $\Psi(x)$  – функция обратная для  $\varphi(q)$ , отражающая связь между областью в окрестности эпицентра  $x$  и величиной поглощенной токсодозы  $q$ ,  $x_{PCt}$  и  $x_{LC_{100\%}}$  – расстояния от эпицентра, соответствующие пороговой и абсолютно смертельной токсодозе; б) фугасное поражение человека или фугасное воздействие на сооружения и оборудование определяются для расчетной схемы сети горных выработок с помощью функции вида  $q = \varphi^{-1}(x)$ , получаемой по методикам на основе определения избыточного давления во фронте ударной воздушной волны (УВВ)  $\Delta P(\Delta P_\phi, x, G_{ГВ})$ , где  $\Delta P_\phi = \Delta P_\phi(Q, \mathfrak{Z}, \aleph, K, C_{НКПВ})$  – избыточное давление в начале участка движения УВВ;  $x$  – путь, пройденный УВВ по горным выработкам с топологией и характеристиками  $G_{ГВ}$ ;  $Q$  и  $\mathfrak{Z}$ ,  $\aleph$ ,  $K$  – масса и описания физико-химических свойств (класс, режима горения и пр.) взрывающегося вещества (ВВ);  $C_{НКПВ}$  – НКПВ ВВ. Расчет  $\Delta P_\phi(Q, \mathfrak{Z}, \aleph, K, C_{НКПВ})$  выполняется в МФСБ на основе данных о составе ГС, запыленности, скорости движения воздуха, решения задач пылеотложения и газового баланса в реальном масштабе времени с учетом данных о физико-химических свойствах угля и

текущих технологических операциях; в) тепловое поражение также можно описать распределением Вейбулла с учетом размера зоны открытого пламени и пробит-функции.

На основе разработанной модели количественного оценивания риска возможно научное обоснования требований к МФСБ в части измерения и контроля аргументов функций  $P_{(d)ol}(x|\mathbf{q})$ ,  $P_{FTA}(\mathbf{q})$  и  $P_{ETA}(\mathbf{q})$  – текущих параметров аэрологического состояния, технического состояния средств АГЗ, взрывозащиты горных выработок (ВЗГВ), противопожарной защиты (ППЗ) или оценки параметров их надежности, положения работников, транспорта и оборудования.

Разработаны интегральный экономический индикатор риска  $I_{RS} = 100 - 10 \lg(Q_v C_v R(Y_\Sigma)^{-1})$ , отражающий отношение выгоды к риску эксплуатации угольной шахты, социально-экономический индикатор риска  $I_{R(C)} = 100 - 10 \lg(Q_v C_v R_{(C)}^{-1})$ , связанный с удельным смертельным травматизмом, и интегральный индикатор потенциального риска  $I_{R(I)} = 100 - 10 \lg(R_{(v)doi}^{-1})$ , где  $R_{(C)}$  и  $R(Y_\Sigma)$  – социальный и интегрированный риск;  $Q_v$  и  $C_v$  – количество добытого угля и его средняя цена. Эти индикаторы предложено использовать в центрах управления кризисными ситуациями МЧС РФ и в интересах Ростехнадзора, а индикатор  $I_{R(I)}$  – для непрерывного информирования работников в зависимости от их положения и состояния элементов ОПО в месте их нахождения.

**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.**

Основным элементом МФСБ, критически влияющим на ее

способность обеспечивать коллективную и индивидуальную защиту, являются средства аэрогазового контроля (АГК) и АГЗ. Проведена оценка потенциального риска взрывов, которая позволила сформулировать обязательные требования к средствам АГЗ: вероятность отказа  $PFH = 10^{-9}-10^{-8} \text{ ч}^{-1}$ ; уровень диагностического охвата  $DC \geq 60 \%$ ; уровень отказоустойчивости:  $N = 1$  при  $DC \geq 90 \%$  и  $N = 2$  при  $DC = 60-90 \%$ , которые не могут быть нереализованы в части обеспечения надежности отдельных элементов, возможности и кратности их резервирования, условий и качества эксплуатации и обслуживания. Оценка достижимой надежности средств АГЗ показал, что повышение уровня ОТ и ПБ и решение задачи оптимального управления рисками возможно с помощью многоуровневого обеспечения безопасности средствами МФСБ, что позволило классифицировать цели, задачи и сформулировать требования для основных подсистем МФСБ (Таблицы 1, 2 и Рисунок 2).

В общем случае МФСБ: 1) не является единой технической системой, но использует множество технических систем, устройств, реализующих необходимые функции; 2) изменяется с учетом НД, задач предприятия, результатов анализа опасных явлений, новых знаний, видов обеспечения; 3) базируется на результатах измерения и контроля; 4) имеет контуры управления и защиты на возможно более низких уровнях; 5) обеспечивает: создание единого информационного пространства с данными о контролируемых процессах и объектах; агрегатирование, систематизацию и классификацию информации; выявление отклонений от эталонного функционирования, опасных событий, их признаков; ранжирование и прогнозирование опасностей; предоставление информации; обмен данными с другими системами; 6) реализует функции менеджмента риска деятельности работников и эксплуатации шахты; 7) создается и используется во взаимосвязи с ПЛА.

Таблица 1 – Общие требования к МФСБ

Входящие элементы	Основные характеристики
<b>Внешние средства снижения риска – ВС</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- проектные решения;</li> <li>- электрические, электронные и программируемые системы (ЭЭПС) контроля реализации проектных решений;</li> <li>- информационные системы выявления и прогнозирования опасностей;</li> <li>- технологические и организационные мероприятия по поддержке работы МФСБ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- развитая подземная инфраструктура;</li> <li>- «классическая» структура АСУ ТП;</li> <li>- невысокие защищенность от внешних воздействий, надежность и готовность;</li> <li>- ручной, автоматизированный, автоматический режимы работы;</li> <li>- замыкание контуров управления через диспетчерскую</li> </ul>
<b>Системы, связанные с безопасностью – СБ</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>ЭЭПС противоаварийной защиты: АГЗ, ППЗ, ВЗГВ по иницилирующим условиям</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- минимальная инфраструктура;</li> <li>- защищенность от внешних воздействий;</li> <li>- локальная реализация;</li> <li>- постоянная готовность;</li> <li>- детерминированность;</li> <li>- высокое быстродействие</li> </ul>
<b>Другие средства снижения риска – ДС</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- АГЗ, ВЗГВ по факторам взрыва;</li> <li>- средства пожаротушения;</li> <li>- средства групповой и индивидуальной защиты и спасения;</li> <li>- ЭЭПС аварийного оповещения и поиска людей;</li> <li>- ЭЭПС аварийной связи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- высокая защищенность от внешних воздействий;</li> <li>- гарантированная работоспособность;</li> <li>- высокий коэффициент готовности;</li> <li>- независимость от подземной инфраструктуры;</li> <li>- наличие собственных источников исчерпываемых ресурсов</li> </ul>

Для повышения надежности и информационной достоверности средств АГК и АГЗ на основе опыта применения газоаналитических систем разработана концептуальная модель стационарного газоанализатора, обеспечивающего парирование основных воздействий, связанных с «человеческим фактором».

**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.**

При оценке рисков деятельности работников и эксплуатации угольной шахты должны выполняться расчеты с целью выявления несоответствия проектных решений, ТП и ПП текущим горно-геологическим условиям и производственным задачам, подготовка данных для количественного оценивания риска и пр. При этом многие задачи связаны с газовым балансом и при их решении используются данные о составе рудничной атмосферы, скоростях движения ГС, производительности комбайна и пр. Используемые методики расчетов базируются на средних значениях контролируемых параметров за длительные промежутки времени, при этом не учитываются динамика аэрологических процессов, что исключает возможность проведения вычислений в темпе ТП, и нестационарность аэрологических процессов, рассматриваемых как случайные, что затрудняет оценивание и прогнозирование текущих рисков. Предложено использовать упрощенные аэрогазодинамические модели движения ГС и ЧВ методы для аэрологических расчетов. Разработаны упрощенная аэрогазодинамическая модель горной выработки, способ ее активной параметрической идентификации и метод оперативного обнаружения и определения местоположения пожаров, который: 1) основан на математической модели, объединяющей уравнения газового баланса с описанием движения ГС в горных выработках, и сравнении результатов численного моделирования и реальных измерений; 2) обеспечивает формирование индикаторов, характеризующих пожарную опасность, используемых при количественном оценивании риска.

Для зоны контроля (Рисунок 3) с  $M$  входными и  $H$  выходными выработками с площадью сечения  $S$  и длиной  $L$ , объемными расходами воздуха  $Q_V(t)$  и оксида углерода  $Q_{CO}(t)$ ; постоянными фоновыми  $Q_N$  и «пожарными» расходами оксида углерода  $Q_F(t)$ ; скоростями движения ГС  $V(t)$  и содержаниями оксида углерода  $C(t)$ , приближенное уравнение газового баланса можно записать в виде

$$\sum Q_{CO_i}^{ex}(t - (\tau_{max}^{blyx}(t) + \tau_i^{ex}(t))) + \sum Q_N^{ex}(t - \tau_{max}^{blyx}(t)) + \sum Q_F^{ex}(t - \tau_{max}^{blyx}(t)) = \sum Q_{CO_j}^{blyx}(t - (\tau_{max}^{blyx}(t) - \tau_j^{blyx}(t))) - \sum Q_{N_j}^{blyx}(t - (\tau_{max}^{blyx}(t) - \tau_j^{blyx}(t))) - \sum Q_{F_j}^{blyx}(t - (\tau_{max}^{blyx}(t) - \tau_j^{blyx}(t))), \quad \tau(t) = \int_L V(t)^{-1} dl$$

$\tau_{max} = \text{Max}(\tau_h(t))$ . Для уравнения газового баланса могут быть записаны «пожарные» условия, соответствующие наличию очага пожара:  $\Delta Q_{CO_j}^{blyx} - d_j \sum \Delta Q_{CO_i}^{ex} - \Delta Q_{no.ж} > \Delta_Q$ ,  $\sum \Delta Q_{CO_j}^{blyx} - \sum \Delta Q_{CO_i}^{ex} - \Delta Q_{no.ж} > \Delta_Q$   $d_j = k_{V_j}^{blyx} S_j^{blyx} \times V_j^{blyx}(t - (\tau_{max}^{blyx} - \tau_j^{blyx})) / \sum k_{V_k}^{blyx} S_k^{blyx} V_k^{blyx}(t - (\tau_{max}^{blyx} - \tau_k^{blyx}))$ ;  $\Delta_Q$  – методическая погрешность. Также используется упрощенная модель движения ГС

в выработке  
 $G(s) = Q^{blyx}(s) / Q^{ex}(s) = \exp(-\tau s) / (1 - \tau s)^{-n}$   
 , где  $s$  – оператор Лапласа;  
 $\tau(t) = L / V(t)$ ,  $T$  и  $n = L / l$  – идентифицируемые параметры, характеризующие перемещение и перемешивание ГС

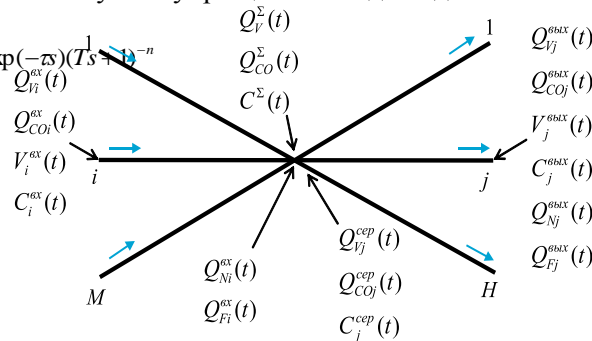


Рисунок 3 – Расчетная схема

в выработке. С учетом уравнений газового баланса и движения ГС разработана упрощенная аэрогазодинамическая модель, обеспечивающая расчет в темпе ТП содержания оксида углерода (других газов) и скорости движения газовой смеси вида для зоны контроля:  $[y(t), a(t)] = G(x(t), m(t), P)$ , где  $P = [L, S, K, C_N, Q_N^P, W]$ ,  $L = [L_m^{ex}, L_h^{blyx}]$ ,  $S = [S_m^{ex}, S_h^{blyx}]$ ,  $K = [k_{V_m}^{ex}, k_{V_h}^{blyx}]$ ,  $C = [C_{Nm}^{ex}, C_{Nh}^{blyx}]$ ,  $x(t) = [C_m^{ex}(t), V_m^{ex}(t)]$ ,

$\mathbf{Q}_{VP} = [Q_{VPm}^{ex}, Q_{VPh}^{blyx}]$  – проектные расходы;  $\mathbf{m}(t) = [c_m^{ex}(t), v_m^{ex}(t), c_h^{blyx}(t), v_h^{blyx}(t)]$  и  $\mathbf{y} = [C_h^{blyx}(t), V_h^{blyx}(t)]$  – результаты измерений и расчетов;  $\mathbf{a}(t) = [Q_{COi}^{blyx}(t), d_h(t), C_h^{blyx}(t), \sum Q_{COh}^{blyx}, \Delta Q_{Vh}^{blyx}(t)]$  – рассчитанные выходные переменные, характеризующие пожароопасность зоны контроля и разности между вычисленными и измеренными расходами в выходных выработках  $\Delta Q_{Vh}^{blyx}(t) = S_{Vh}^{blyx} K_{Vh}^{blyx} (V_h^{blyx} - v_h^{blyx})$ ;  $\mathbf{G}$  – передаточный оператор с параметрами  $\mathbf{H} = [T_m^{ex}, I_m^{ex}, T_h^{blyx}, I_h^{blyx}]$ .

В результате моделирования для  $N$ -го периода и  $r$ -ой точки контроля вычисляется невязка  $\Delta C_r^N = C_r^M(N) - C_r^H(N)$ , которая подвергается линейной аппроксимации:  $\Delta C_r^N(t) = a_r^N \times t + b_r^N$ ,  $r = \{Mean, Med, Max\}$ .

Для зоны контроля на основе невязок рассчитывается пожарный индикатор  $P_{(v)(d2)ol}(N) = F(\phi_k(N), \phi_k(N-1))$ , где  $\phi_{1.N} = \phi_1(a_{Mean}^N > C_{ПОР} / 600)$ ,  $\phi_{2.N} = \phi_2(a_{Med}^N > C_{ПОР} / 600)$ ,  $\phi_{3.N} = \phi_3(a_{Max}^N > C_{ПОР} / 600)$ ,  $\phi_{4.N} = \phi_4(C_{\Sigma 600}^N > 300C_{ПОР})$ ,  $\phi_{5.N} = \phi_5(C_{\Sigma 600}^N > 600C_{ПОР})$ ,  $C_{\Sigma 600}^N = \Sigma \Delta C^N$ ,  $C_{ПОР} = 17$  млн<sup>-1</sup>: если  $P_{(v)(d2)ol} < 0,5$ , то признаки пожара не обнаружены; если  $0,5 \leq P_{(v)(d2)ol} < 1$ , то признаки пожара обнаружены, но не подтверждены; если  $P_{(v)(d2)ol} = 1$ , то пожар обнаружен. Определение местоположения очага пожара осуществляется с помощью вычисляемой  $5 \times H$ -битной сигнатуры вида на основе ФАЛ  $\phi_i, i = 1..5$   $\Phi = \{\phi_1(D_\Sigma), \phi_2(D_j^{ex}), \phi_3(D_i^{blyx}), \phi_4((\Delta C_j^{blyx} > \Delta_{C1}) = 1), \phi_5((\Delta C_l^{blyx} - \Delta C_l^{ex} > \Delta_{C2}, j \neq l) = 1)\}$ , где  $D_\Sigma = (\sum \Delta Q_{COj}^{blyx} - \sum \Delta Q_{COi}^{ex}) \Delta Q_{пож}^{-1}$ ;  $D_j^{ex} = (\Delta Q_{COj}^{blyx} - d_j \sum \Delta Q_{COi}^{ex}) d_j^{-1} \Delta Q_{пож}^{-1}$ ;  $D_k^{blyx} = (\Delta Q_{COk}^{blyx} - d_k \sum \Delta Q_{COi}^{ex}) \Delta Q_{пож}^{-1}$ ;  $\Delta_{C1}$  характеризуют методическую погрешность определения содержания оксида углерода. Показано, что различным объектам контроля и гипотезам о наличии очага пожара соответствуют различные сигнатуры  $\Phi$ , что позволяет определить местоположение очагов пожаров с точностью до частей горных выработок.

Для построения упрощенной аэрогазодинамической модели разработан метод активной параметрической, основанный на снятии реакции рудничной атмосферы на газовый импульс, формируемый путем управляемой эмиссии оксида углерода. Параметры модели

определяются вычислительными методами с использованием критерия  $[T, I] = \text{Arg Min} \int |C_{CO_2} - C_{CO_2M}| dt$ .

Аэрологические и другие процессы в угольной шахте являются случайными нестационарными, их параметры за длительные промежутки времени принимаются постоянными, но они изменяются в темпе ТП, отсутствие учета чего приводит к возникновению опасных явлений. Для решения задач, связанных с аэрологической безопасностью, предложено применять ЧВ подход, в рамках которого в темпе ТП формируются и обрабатываются гистограммы контролируемых параметров. Это позволяет численно оценивать значения неизмеряемых параметров вредных и опасных факторов, риски опасных событий, что является необходимым условием для их предотвращения. Для очистного забоя с (Рисунок 4) выделим:  $q$  – текущую относительную метанообильность (ОМ) обрабатываемой части угольного пласта;  $Q_{II}^r$  и  $C_{II}^M$ ,  $Q_{II}^r$  и  $C_{II}^M$ ,  $Q_D^r$  и  $C_D^M$  – расходы ГС и содержания метана в поступающем, исходящем и дегазируемом газовых потоках;  $Q_3^M$  и  $Q_B^M$  – количество метана, выделившегося в лаву из забоя и выработанного пространства;  $Q_K$  – текущую производительность комбайна. Мониторинг  $Q_{II}^r$ ,  $Q_{II}^r$ ,  $Q_D^r$ ,  $C_{II}^M$ ,  $C_{II}^M$ ,  $C_D^M$  и  $Q_K$  обеспечивается МФСБ и АСУ ТП очистки. Для расчета  $Q_{II}^r$  и  $Q_D^r$  используется усредненная в пространстве и во времени проектная оценка ОМ  $q_{\text{проект}} = q_{cp}$ . Однако фактическая текущая ОМ отличается от  $q_{cp}$ , так как существуют различные распределения ОМ с одинаковой  $q_{cp}$ . Определение  $Q_{II}^r$  только по величине  $q_{cp}$  без учета текущего фактического распределения ОМ с неизбежностью приводит к загазированию. Предложено при выполнении вентиляционных расчетов учитывать случайный характер ОМ путем использования в них гистограмм переменных, которые могут быть построены на основе текущих данных, собираемых МФСБ. Для упрощенного уравнения газового баланса (без учета аэрогазодинамики) рассматриваемого объекта  $Q_{II}^r C_{II}^M + Q_3^M + Q_B^M = Q_D^r C_D^M + Q_{II}^r C_{II}^M$  ОМ вычисляется по формуле  $q = (Q_D^r C_D^M + Q_{II}^r C_{II}^M - Q_{II}^r C_{II}^M - Q_B^M) Q_K^{-1}$ , все

переменные в которой являются случайными, а  $Q_{II}^{\Gamma}$ ,  $C_{II}^M$ ,  $Q_{II}^{\Gamma}$ ,  $Q_3^M$  и  $Q_B^M$  – независимыми. В рамках ЧВ подхода  $g_k(q) = [g_k(Q_{II}^{\Gamma})g_k(C_{II}^M) + g_k(Q_{II}^{\Gamma})g_k(C_{II}^M) - g_k(Q_{II}^{\Gamma})g_k(C_{II}^M) - g_k(Q_B^M)]g_k(Q_K)^{-1}$ , где  $g_k$  – гистограмма параметра на  $k$ -м временном интервале. Представление ОМ в виде  $g_k(q)$  позволяет выявлять ошибки, связанные с наличием маловероятных неучитываемых значений в исходных данных для вентиляционных расчетов, что является необходимым условием для повышения уровня ОТ и ПБ в целом и снижение до заданного уровня вероятности опасных аэрологических событий. В частности возможно оценивание вероятности загазирования в лаве (Рисунок 4): для количества метана, выделяющегося в забое,  $g_k(Q_3^M) = g_k(Q_{II}^M) + g_k(Q_{II}^M) - g_k(Q_B^M) - g_k(Q_{II}^M)$ , где  $g_k(Q_{II}^M)$ ,  $g_k(Q_{II}^M)$ ,  $g_k(Q_{II}^M)$  формируются на основе измерений,  $g_k(Q_B^M)$  – на основе анализа данных о метановыделении из выработанного пространства за длительные промежутки времени для технологических режимов, тогда для содержания метана в забое  $g_k(C_3^M) = g_k(Q_3^M) / g_k(Q_{II}^B)$ . Наличие такой статистической оценки позволяет оценить на  $k$ -ом временном интервале вероятность опасного аэрогазового (по метану) состояния  $p(C_3^M > C_{3,III}^M) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n g_{3,j}^M(C_3^M > C_{3,III}^M)}{\sum_{j=1}^n g_{3,j}^M(0 \leq C_3^M \leq 100)}$ , где  $g_{3,j}^M$  – значение  $j$ -го столбца гистограммы, или спрогнозировать общую длительность превышения метаном нормативного порогового уровня  $C_3^M > C_{3,III}^M$ , в том числе для нормированных условий определения загазирования. Для других параметров, характеризующих опасные и вредные аэрологические факторы, также возможна оценка вероятности опасных событий на основе гистограммного анализа. Оценка и прогноз опасных явлений и рисков, связанные с аэрологическими факторами, также возможен на основе анализа временных рядов  $g_{cp}(k)$ ,  $g_{+w}(k)$ ,  $g_{-w}(k)$ ,  $g_{min}(k)$ ,  $g_{max}(k)$  (Рисунок 4) с использованием известных методов.

**5. Разработанные концепции, принципы, модели реализованы в серийных многофункциональных систем 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 контролирующие и надзорные органы.**

В период с 2005 по 2014 г. разработаны НД для: а) Ростехнадзора – «Правила безопасности угольных шахт», «Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах»; б) Росстандарта – ПНСТ 16-2014, ПНСТ 17-2014 и ПНСТ 18-2014. На основе проведенных исследований, опыта работы и взаимодействия с угольными компаниями разработана МФСБ «ИНГОРТЕХ», структура информационных и управляющих связей которой приведена на Рисунке 5, а функционально-структурная схема – на Рисунке 6. В ее состав входят:

1) *система газоаналитическая шахтная многофункциональная типа «Микон»* обеспечивает: контроль аэрологического состояния, АГЗ и обнаружение пожаров; контроль газоотсасывающими (ГОУ) и дегазационными (ДГУ) установками и сетями (ДГС); местное и централизованное, диспетчерское и ручное, автоматизированное и автоматическое управление оборудованием; сбор, обработку, отображение и хранение информации в соответствии с НД;

2) *система многофункциональной связи СМС «ИСЕТЬ»* предназначена для: непрерывного ( $\pm 5$  м) технологического позиционирования объектов; голосовой связи между работниками и с диспетчером; аварийного оповещения и телеметрии;

3) *система позиционирования горнорабочих и транспорта СПГТ-41* используется для зонального технологического позиционирования объектов, аварийного оповещения, телеметрии, табельного учета и пр.;

4) система локального и регионального контроля и прогноза состояния горного массива «Микон-ГЕО» обеспечивает: пассивный и активный сейсмоакустический контроль шахтного поля, выемочного и проходческого участков; контроль газодинамической активности на них; локальный и региональный контроль; прогноз развития внезапных выбросов и горных ударов;

5) заслон для взрывозащиты горных выработок с возможностью контроля и управления ВЗГВ-У «Старт», сенсорные и контроллерные и коммуникационные средства которого выполнены на базе системы типа «Микон»;

6) комплекс аварийного оповещения и селективного вызова СУБР-1П для аварийного оповещения работников, находящихся в подземных выработках, независимо от их местонахождения до, во время и после аварии, при разрушениях на аварийном участке, для шахтного поля простиранием до 10 км и глубиной до 1 км;

7) система поиска в аварийных ситуациях СПАС «Микон», позволяющий при проведении спасательно-поисковых работ и ликвидации последствий аварии обнаруживать людей, в том числе не подающим признаков жизни и находящимся за и/или под завалами, на расстоянии до 50 м и определять дальность и направление к ним на удалении до 20-30 м с разрешающей способностью  $\pm 2$  м;

8) многоканальный индивидуальный газоанализатор М02 (горючие газы, метан, кислород, оксид и диоксид углерода, сероводород), являющийся основным средством индивидуальной защиты работников от опасных и вредных аэрологических факторов, обеспечивающий передачу результатов измерения в МФСБ и выполняющий функции «черного ящика»;

9) головной светильник СГМ «ИСЕТЬ» или другие головные светильники, оборудованные радиоблоками систем СУБР-1П, СПГТ-41, СМС «ИСЕТЬ» и СПАС «Микон»;

10) блок газоанализаторов БГА, являющийся функциональным аналогом газоанализаторов М02 и предназначенный для использования в составе СГМ «ИСЕТЬ».

МФСБ и ее подсистемы отвечают требованиям иерархичности и многоуровневости: 1) полевой уровень (места ведения горных работ):

датчики, сигнализирующие и исполнительные устройства, модули беспроводного доступа, индивидуальные и переносные устройств, функционирующих на полевых шинах или беспроводных сегментах связи; 2) контроллерный уровень (горные выработки, в которых не ведутся горные работы); 3) коммуникационный уровень (капитальные подземные горные выработки и дневная поверхность) –универсальные средства передачи разнородной информации; 4) диспетчерский уровень – наземный ПТК, обеспечивающих оперативный диспетчерский контроль и управление. Структурообразующим элементом МФСБ является система передачи информации СПИН. Средства передачи информации в МФСБ в соответствии с разработанной концепцией разделены по выполняемым функциям: 1) для внешних средств снижения риска («Микон III», СПГТ-41, «Микон-Гео», СМС «ИСЕТЬ») и систем, связанных с безопасностью («Микон III»), характерна развитая подземная инфраструктура, реализованная средствами СПИН; 2) для других средств снижения риска (СУБР-1П, СПАС «Микон»), предназначенных для автономной работы в аварийных условиях при разрушении подземной инфраструктуры, используются технологии низкочастотной радиосвязи, обеспечивающие передачу информации через завалы и толщу горных пород. МФСБ и ее подсистемы являются открытыми и масштабируемыми, что обеспечивает возможность интеграции с существующими и перспективными информационными системами и АСУ ТП, АСУ ПП других производителей. В МФСБ и ее подсистемах используются специально разработанные и серийно выпускаемые особовзрывобезопасные сенсорные, контроллерные, коммуникационные и другие технические средства.

Для МФСБ «ИНГОРТЕХ» создано прикладное ПО «IngortechSCADA», которое обеспечивает: обмен информацией между наземным ПТК, контроллерным, полевым оборудованием и ПО других производителей; преобразование, сбор, хранение и предоставление текущих, архивных и отчетных данных; пользовательский интерфейс со средствами диспетчерского контроля и управления; задание конфигурации технических средств, переменных, способов отображения информации; создание и

редактирование форм визуализации; несколько способов задаваемой обработки информации; различные варианты резервирования и каскадирования серверов, АРМ; возможность использования различных СУБД; метрологическую значимость ПО и данных; передачу данных в надзорные и контролирующие органы; оперативное SMS и Email информирование о различных событиях работников шахты и др. Разработан испытательный стенд для отладки прикладного и пользовательского ПО, обеспечивающий его тестирование во всех режимах, при любых ошибках и отказах. Для реализации информационно-аналитического ядра МФСБ в ПО используются язык программирования Lua, для решения задач оценивания и прогноза рисков предусмотрен программный интерфейс с сервером R. ПО «IngortechSCADA» обеспечивает возможность построения распределенных многоуровневых диспетчерских, принцип управляемого и контролируемого доступа обеспечивает разграничение прав пользователей по отношению к источникам информации и средствам управления, что позволяет эффективно решать задачи государственного надзора и общественного контроля за соблюдением требований ОТ и ПБ, для чего реализована передача данных в центры управления кризисными ситуациями УВГСЧ МЧС РФ и в управления Ростехнадзора.

В период с 1996 г. по 2016 г. в общей сложности внедрено более 195 подсистем МФСБ на угольных шахтах и рудниках (Рисунок 7), наибольшее количество внедрений приходится на Кузнецкий угольный бассейн.

В период с 1996 г. по 2016 г. в общей сложности внедрено более 195 подсистем МФСБ на угольных шахтах и рудниках (Рисунок 7), наибольшее количество внедрений приходится на Кузнецкий угольный бассейн.

В эксплуатации находится около 75 МФСБ и ее подсистем (41 % от общего количества угольных шахт России), проектируются более 50; поставка оборудования, монтажные и пуско-наладочные работы осуществляются на 22 предприятиях. Успешно решены задачи: контроля аэрологического состояния, в том числе раннего обнаружения пожаров, контроля работы ГОУ, ДГУ и ДГС более чем на 100 горных предприятиях («Микон III»); технологического

позиционирования (СПГТ-41 и СМС «ИСЕТЬ») на 28 шахтах; аварийного оповещения на 25, поиска (СПАС «Микон») на 13 шахтах и рудниках; регионального, локального и текущего контроля и прогноза состояния горного массива («Микон-ГЕО») на 2 шахтах.

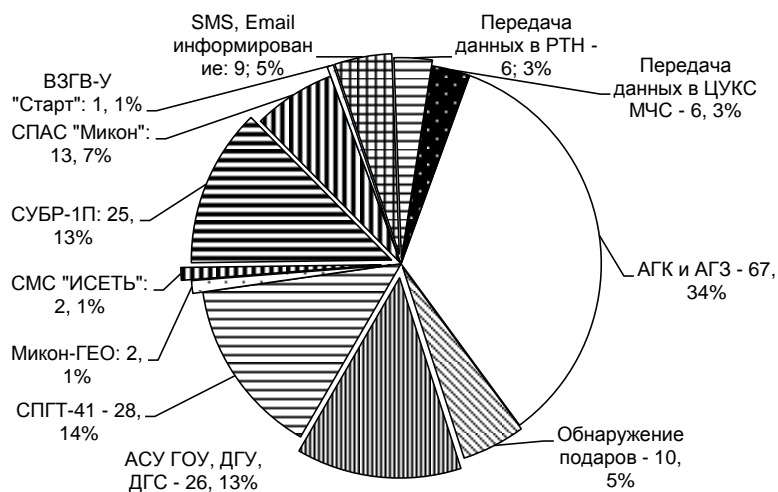


Рисунок 7 – Внедрение МФСБ «ИНГОРТЕХ» и ее подсистем

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, обеспечивая повышение уровня охраны труда и промышленной безопасности на угольных шахтах за счет применения риск-ориентированного подхода и многофункциональных систем безопасности в системах управления охраной труда и промышленной безопасности, которые осуществляют мониторинг и оценку опасных и вредных производственных факторов, параметров природной и техногенной среды, прогнозирование состояния 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. Это достигается путем использования разработанных принципов построения многофункциональных систем безопасности и методологии управления рисками деятельности работников и эксплуатации угольных шахт, что подтверждается практической реализацией и широким внедрением разработанных систем в России.

#### **Основные результаты выполненных исследований**

1. Разработано обобщенное математическое описание угольной шахты как опасного производственного объекта 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 требует предварительного снижения риска до допустимого уровня с помощью многоуровневых

многокомпонентных систем обеспечения безопасности, реализуемых на основе МФСБ: на I уровне должны применяться внешние средства снижения риска, исключающие 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 системах управления охраной труда и промышленной безопасности 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 к 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 инициирующих 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 потенциального 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 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 базируются 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 охраны труда и промышленной безопасности.

**Научные результаты работы отражены в следующих публикациях:**

**Публикации в изданиях, входящих в перечень рекомендованный ВАК Минобрнауки России:**

1. Бабенко, А. Г. Шахтные информационно-управляющие системы / А.Г. Бабенко // Изв.вузов. Горный журнал. – 1999. – № 11-12. – С. 76-83.
2. 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.

3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.

12. 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.
13. Бабенко А.Г. Анализ основ построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт / А.Г. Бабенко // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 3. – С. 40-47.
14. Бабенко, А. Г. Обнаружение и локализация пожаров на ранних стадиях с помощью многофункциональной системы безопасности угольных шахт / А.Г. Бабенко // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 6.– С. 53-64.
15. 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.
16. Бабенко, А.Г. Структура системы оптимального управления добычным комплексом / А.Г. Бабенко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2015. – № 6. – С. 50-58.
17. 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.
18. Бабенко, А.Г. Количественное оценивание текущего риска эксплуатации угольной шахты / А.Г. Бабенко // Изв.Вузов. Горный журнал. – 2016. – № 4. – С. 24-35.

**Программы для ЭВМ:**

19. 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.

**Статьи в других рецензируемых научных изданиях и сборниках трудов:**

20. 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.
21. 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.
22. 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).
23. 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.
24. 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.
25. 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.

Таблица 2 – Взаимосвязь ситуаций и режимов ОПО с целями, задачами МЧСБ

<b>Опасная ситуация</b>	Режимная		Проектная	Запроектная	Гипотетическая
<b>Описание ситуации</b>	Отклонение от номинальных технологических режимов		Отклонение от нормированных режимов	Авария	
<b>Режим объекта</b>	Нормальный		Предаварийный	Аварийный	
<b>Последствия</b>	Предсказуемые		Предсказуемые и приемлемые	Необратимые повреждения ответственных элементов, высокий ущерб, человеческие жертвы	Максимально возможные ущерб и человеческие жертвы
<b>Уровень защищенности</b>	Высокий		Устойчивый	Недостаточный	Низкий
<b>Класс опасной ситуации</b>	Локальная, местная			Локальная, местная, территориальная	Местная, территориальная, региональная
<b>Восстановление</b>	Не требуется			Требуется	Не подлежит
<b>Цель МЧСБ</b>	Выявление опасностей	Предотвращение иницирующих условий	Реакция на иницирующие события	Уменьшение ущерба (предотвращение развития, спасение)	
<b>Требования к МЧСБ</b>	Нормируются				Не нормируются
<b>Цель обработки информации</b>	Прогнозирование опасностей, угроз	Контроль соответствия: - проектных решений условиям эксплуатации; - текущего состояния ТП и ПП проектным решениям	Контроль соответствия текущего состояния ТП и ПП проектным решениям	Предоставление информации при аварии, инциденте, несчастном случае. Проигрывание сценариев развития угроз.	
<b>Объект управления</b>	Проект, предприятие, ПП, ТП, персонал		Технологические процессы, персонал	Предприятие, ПП, ТП, персонал	Персонал
<b>Уровень управления</b>	Проект	Технологические и производственные процессы			
<b>Тип управления</b>	Организационное, автоматическое, автоматизированное (ручное)		Автоматическое	Организационное, ручное (автоматическое, автоматизированное)	
<b>Способ воздействия</b>	Долгосрочное и среднесрочное управление	Среднесрочное, оперативное и противоаварийное управление	Противоаварийная защита	Защита от вредного воздействия опасных факторов	Спасение
<b>Технологический режим</b>	Нормальный		Допустимый нормальный	Предаварийный	Аварийный
<b>Сигнализация</b>	Нет		Предупредительная	Предаварийная	Аварийная

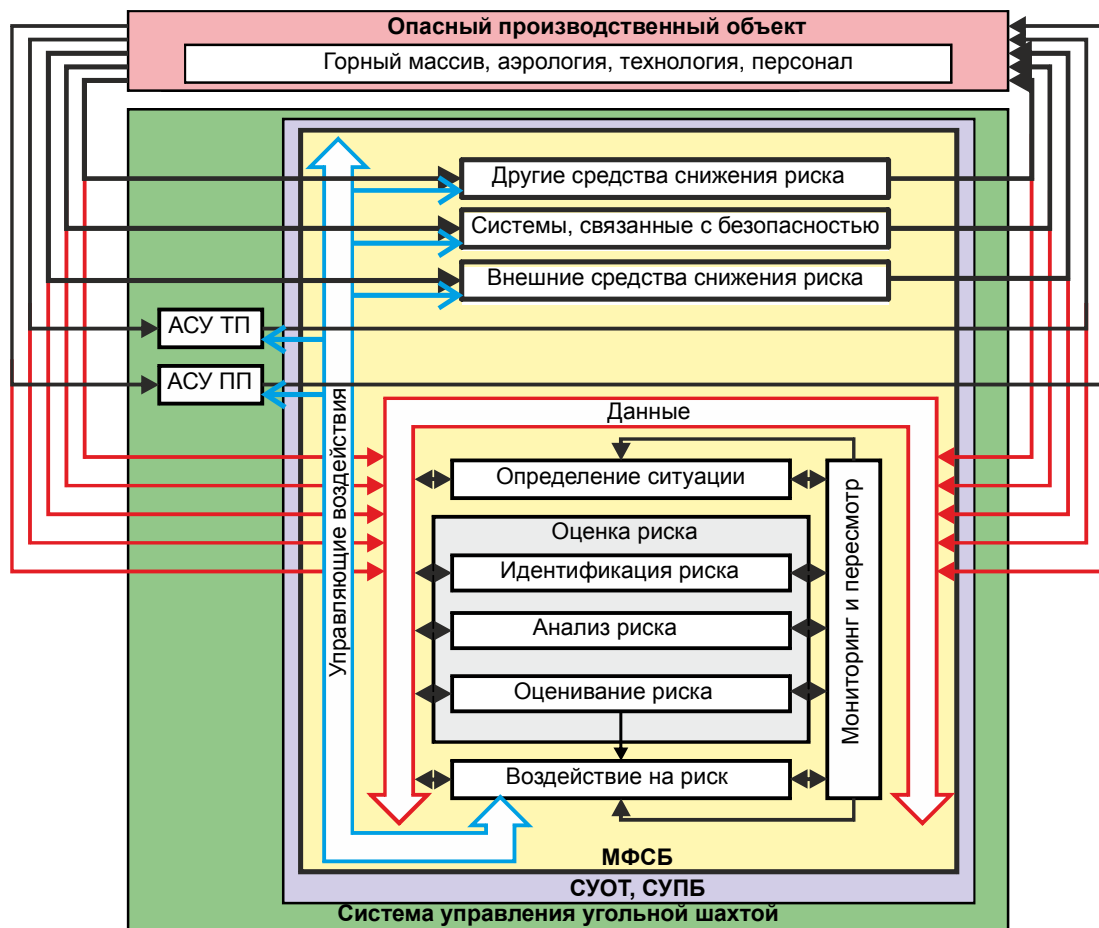


Рисунок 2 – Концептуальная модель МФСБ и ее взаимодействие с ОПО

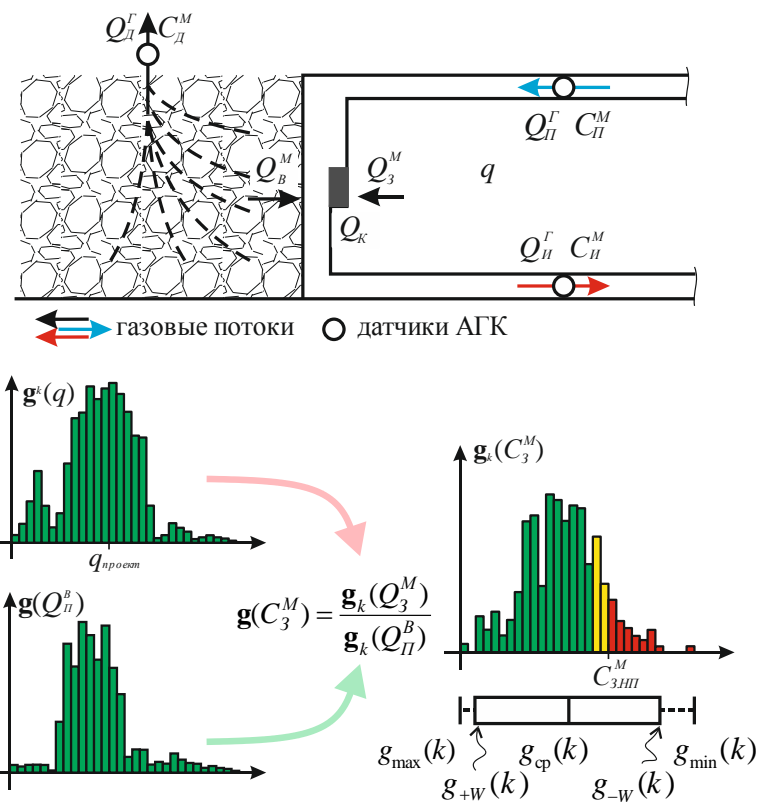


Рисунок 4 – В определению вероятности загазования

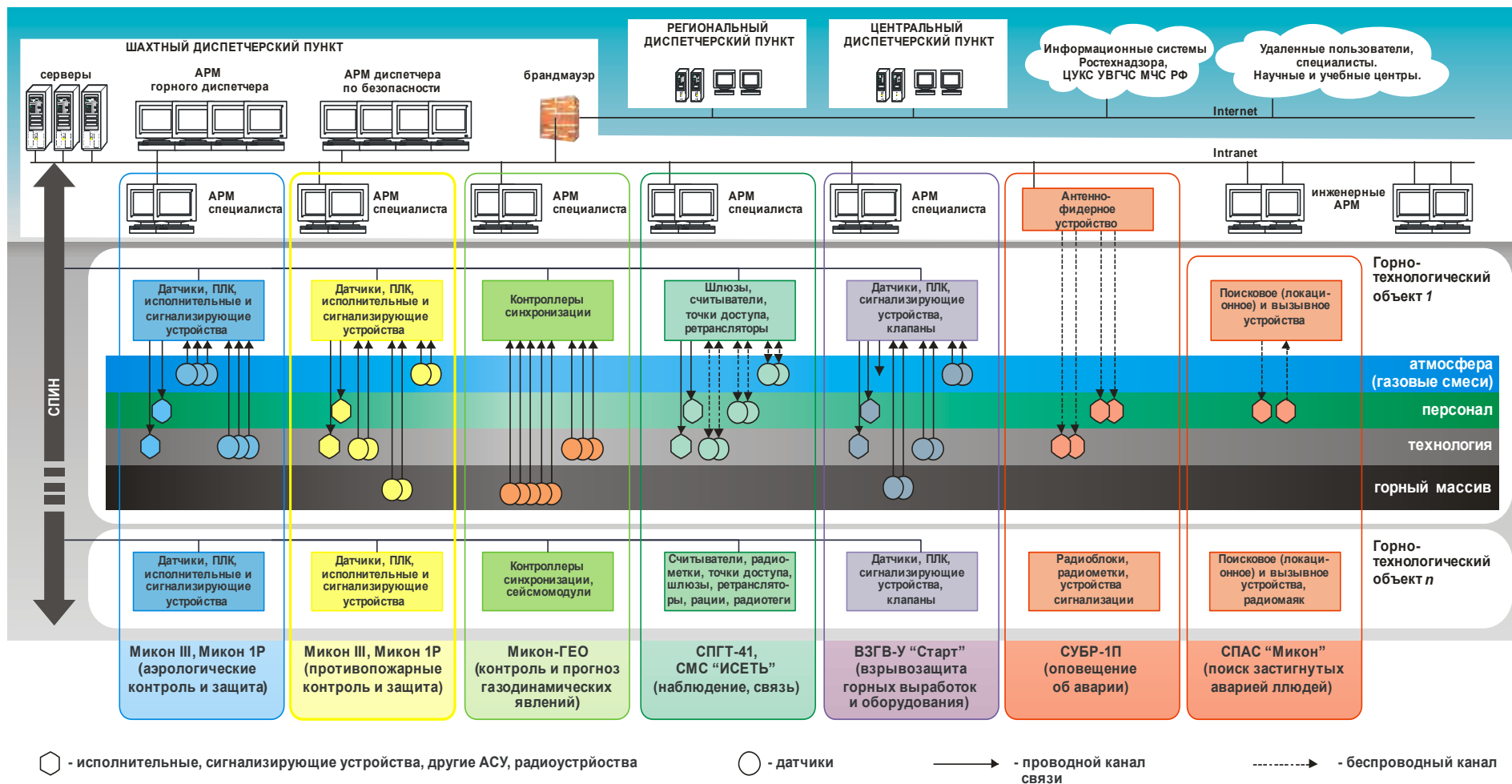


Рисунок 5 – Обобщенная структура информационных и управляющих связей МФСБ «ИНГОРТЕХ» и ее взаимодействия с ОПО

