

На правах рукописи

Тахо-Годи Аркадий Зямович

**УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

05.26.02 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Москва – 2013

Работа выполнена на кафедре «Управление эколого-экономическими системами» Российского университета дружбы народов и на кафедре «Безопасность жизнедеятельности, механизация и автоматизация технологических процессов и производств» Донского государственного аграрного университета

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор
Мусаев Вячеслав Кадыр оглы

Официальные оппоненты:

Пачурин Герман Васильевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Производственная безопасность и экология» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Деревяшкин Игорь Владимирович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Горного дела» Политехнического института им. В.С. Черномырдина Московского государственного машиностроительного университета «МАМИ»

Шварцбург Леонид Эфраимович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности» Московского государственного технологического университета «Станкин»

Ведущая организация

ОАО «Шахтинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт»

Защита состоится «___»_____ 2013 года в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.203.33 в Российском университете дружбы народов по адресу: 117302, город Москва, Подольское шоссе, дом 8/5.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Российского университета дружбы народов (117198, город Москва, улица Миклухо-Маклая, дом 6).

Автореферат разослан «___»_____ 2013 года

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
профессор



Л.В. Виноградов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Чрезвычайные ситуации, возникающие на многих сложных и опасных технических объектах экономики, связаны, как известно, с потенциальными опасностями и вредностями, характерными для подобных объектов.

В настоящей работе рассматривается безопасность объектов угледобывающих предприятий.

Для таких объектов наиболее характерными опасностями являются выделения газов (главным образом метана) в атмосферу горных выработок, температура воздушной среды и угольная пыль.

По свидетельству статистики за период с 1840 по 2010 годы число наиболее значимых аварий, связанных с возгораниями угольной пыли, взрывами и внезапными выбросами угля и газа на угледобывающих предприятиях стран Европы и Азии составило более 27000, при которых погибло 391630 человек.

В последние годы для угледобывающих предприятий разработано много различных средств обеспечения безопасности: деятельная вентиляция, на функционирование которой расходуется более половины общего шахтного энергопотребления; системы автоматической сигнализации; автоматизированные системы управления проветриванием; технические средства перераспределения вентиляционного воздуха и др.

Однако, эффективность этих средств остается недостаточной. До настоящего времени отсутствуют системы автоматического управления безопасностью угледобывающих предприятий.

Разработка эффективных средств управления безопасностью функционирования подобных сложных технических объектов на основе современных технологий является важной технической и социально значимой проблемой.

Решению поставленной актуальной фундаментальной и прикладной проблеме посвящена настоящая работа.

Цель работы – разработка научно обоснованных способов и технических средств предотвращения последствий чрезвычайных ситуаций на объектах угледобывающих предприятий.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе рассмотрены следующие задачи:

1. Изучить статику и динамику процессов, определяющих безопасность функционирования шахтного вентиляционного комплекса угледобывающих предприятий;

2. Проанализировать известные методы и технические средства управления безопасностью шахтного вентиляционного комплекса с целью выбора наиболее эффективных, либо их дальнейшего совершенствования;

3. Для снижения вероятности чрезвычайных ситуаций (из-за взрывов метановоздушной смеси и возгораний угольной пыли) разработать способ искусственного снижения интенсивности выделения метана в атмосферу горных выработок разрабатываемыми угольными пластами, выработанными пространствами, прилегающей породой и транспортируемым углем;

4. Разработать более эффективный способ проветривания тупиковых горных выработок, не требующий обязательного использования дополнительных источников тяги и соответствующих трубопроводов из жестких материалов;

5. Произвести выбор эффективной методологии оценки воздействий ударной взрывной волны и разработать технические средства для снижения интенсивности экстремальных воздействий при ведении горных работ с использованием взрывов;

6. Разработать общую структуру системы автоматического управления безопасностью сложного и опасного объекта;

7. Синтезировать структуру интеллектуальной системы управления эффективностью и безопасностью угледобывающего предприятия на основе современных информационных технологий.

Научная новизна работы.

1. Разработка методологии и технической реализации способа существенного снижения вероятности чрезвычайных ситуаций, связанных с взрывами метана и возгораниями угольной пыли при подземной добыче угля.

2. Разработка способа, позволяющего упростить решение (до сих пор не решенной) задачи синтеза системы автоматического управления проветриванием шахт, опасных по газовому фактору;

3. Разработка нового, более эффективного способа управления проветриванием тупиковых горных выработок, не требующего обязательного использования дополнительных источников тяги и трубопроводов из жестких материалов;

4. Разработка структуры интеллектуальной системы автоматического управления и безопасностью и эффективностью функционирования угледобывающего предприятия, синтезированной на основе современных информационных технологий;

5. Разработка портативного средства защиты органов дыхания при проведении работ на объектах угольной промышленности.

Практическая ценность работы заключается в следующем. Известные методы и способы управления геомеханическими и физическими процессами при подземной разработке угольных пластов, в том числе управления проветриванием угольных шахт, особенно газообильных, весьма сложны в практическом применении, дорогостоящи и ненадежны. Многочисленные аварии и чрезвычайные ситуации при взрывах газа, связанных также с гибелью шахтеров, как в нашей стране, так и за рубежом, подтверждают ненадежность применяемых подходов в области безопасности объектов угледобывающих предприятий. Поэтому автором разработан и экспериментально апробирован в условиях производства способ существенного снижения интенсивности выделения метана в атмосферу горных выработок разрабатываемыми угольными пластами, выработанными пространствами, прилегающей породой и транспортируемым ископаемым, на который 10.12.2011 г. получен патент Российской Федерации на изобретение № 2435963 по заявке № 2009133319/03(046839). Способ позволяет не только снизить вероятность чрезвычайных ситуаций на угледобывающих предприятиях, повысить безопасность и улучшить условия труда горнорабочих,

но и успешно решить проблему синтеза систем автоматического управления проветриванием шахт по всем наиболее опасным и вредным факторам.

Достоверность результатов работы подтверждается статистическим анализом результатов экспериментальных исследований, выполненным с использованием современных средств вычислительной техники, их сравнением с результатами математического моделирования и аналитических расчетов.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Статические и динамические характеристики горных выработок угледобывающих предприятий как объектов автоматизации управления шахтным вентиляционным комплексом по всем наиболее опасным и вредным факторам;

2. Методология и способ снижения интенсивности выделения метана в атмосферу горных выработок разрабатываемыми угольными пластами, прилегающей породой, выработанными пространствами и транспортируемым углем;

3. Способ повышения эффективности проветривания горных тупиковых выработок, не требующий обязательного применения дополнительных источников тяги и трубопроводов из жестких материалов;

4. Результаты численного моделирования воздействий ударной взрывной волны методом В.К. Мусаева в перемещениях и способы повышения безопасности при ведении горных работ с использованием взрывов;

5. Структура интеллектуальной системы автоматического управления комплексной безопасностью объектов угледобывающего предприятия (с учетом наиболее опасных и вредных факторов), синтезированная на основе современных информационных технологий;

6. Портативное устройство защиты органов дыхания.

Апробация работы.

Отдельные результаты и работа в целом доложены:

1. На Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (Москва, ИПУ РАН, 2007, 2008, 2009 и 2010).

2. На Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность и экология технологических процессов и производств» (пос. Персиановский, Донской государственной аграрный университет, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 и 2013).

3. На Всероссийской научно-практической конференции «Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение» (Ростов-на-Дону – Ростовский государственный строительный университет, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 и 2012).

4. На Международном семинаре «Проблемы безопасности сложных систем» (Москва, РУДН, 2007, 2008 и 2009).

5. На международной научной конференции «Размышления о публичной безопасности» (Зеленая Гура, Польша, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 50 научных статей, в том числе две монографии и 14 работ – в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 365 страницах машинописного текста и состоит из введения, восьми глав, основных выводов, списка литературы (302 наименования) и шести приложений. Содержит 288 страниц основного текста, в том числе 79 рисунков, 32 таблицы и одну диаграмму.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность тематики исследования. Сформулирована цель и задачи исследования. Изложена научная новизна и практическая значимость работы. Определены объекты и предмет исследования. Приведены основные положения, выносимые на защиту. Отражены вопросы реализации и апробации полученных результатов.

Первая глава «Обзор литературных источников, постановка задач исследования» посвящена анализу современного состояния основных проблемных вопросов безопасности угледобывающих предприятий как сложных и опасных объектов автоматизации.

Помимо банальных причин чрезвычайных ситуаций, связанных с так называемым «человеческим фактором» и со сбоями в работе технологического оборудования, более половины чрезвычайных ситуаций происходят в связи со специфическими опасностями и вредностями, присущими подобным сложным и опасным объектам.

В частности, на угледобывающих предприятиях чрезвычайные ситуации происходят главным образом в связи с взрывами метана, выделяющегося из разрабатываемых угольных пластов, выработанных пространств и транспортируемого угля. Не редко такие ситуации имеют место в связи с внезапными выбросами угля, породы и газа (суфлярные выбросы), из-за взрывов опасных концентраций метановоздушной смеси и их распространением по многим подземным выработкам во время производства проходческих работ буровзрывным способом, в связи с возгоранием угольной пыли и др. (рис. 1).

Изучению закономерностей выделения опасных и вредных составляющих процесса угледобычи, методов и способов снижения их интенсивностей посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых, накоплен значительный теоретический и практический объем знаний и методов снижения воздействий опасных и вредных факторов.

Тем не менее, проведенный анализ современных литературных источников по проблеме обеспечения безопасности функционирования таких сложных и опасных объектов, как угледобывающие предприятия, показал, что эффективность существующих методов и технических средств обеспечения безопасности их функционирования недостаточна и нуждается в совершенствовании.



Рис. 1. Основные причины аварий и чрезвычайных ситуаций на угледобывающих предприятиях

Во второй главе выполнен анализ основных опасных и вредных производственных факторов, влияющих на безопасность функционирования угледобывающих предприятий, таких как газовыделение из разрабатываемых угольных пластов, пылеобразование, температура и влажность рудничной атмосферы.

Рассмотрены характеристики пространственной динамики источников газовыделения (оголенные угольные пласты, выемочные участки, выработанные пространства, добытое и транспортируемое ископаемое – уголь).

Проанализированы основные причины взрывов метановоздушной смеси, внезапных выбросов угля, породы и газов. Отмечено негативное влияние удаляемого вентиляцией метана, как одного из наиболее значимых «парниковых газов», на темпы глобального потепления климата нашей планеты.

В третьей главе диссертационной работы приведены результаты вероятностного анализа статических и динамических характеристик выемочных участков как объектов автоматизации проветривания по всем наиболее значимым опасным и вредным факторам.

Единичный объект проветривания и параметры, определяющие общее состояние его рудничной атмосферы (концентрация метана $\eta(t)$, концентрация запыленности $\psi(t)$, показатели температуры $T(t)$ и влажности $V(t)$ рудничной атмосферы), рассматриваются как случайные процессы, в значительной мере зависящие от режимов работы системы вентиляции $Q(t)$ и добычных механизмов $A(t)$, которые также изменяются во времени по случайному закону (рис. 2).

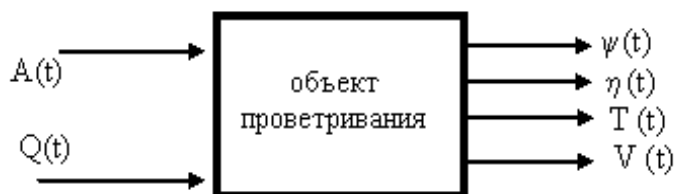


Рис. 2. Объект автоматизации проветривания

Используя методы математической статистики и теории вероятностей, определены вероятностные характеристики этих случайных процессов (математические ожидания, дисперсии, корреляционные и взаимно корреляционные функции, дифференциальные законы распределения). Приведены результаты статистической проверки исследуемых вероятностных характеристик на стационарность в широком и узком смысле (рис. 3, 4), а также результаты оценки достоверности полученных вероятностных характеристик.

Поскольку подобные объекты, строго говоря, являются стохастическими, применение к ним активных методов исследований, связанных с подачей на их входы специальных (типовых) воздействий, нежелательно. В противном случае эти воздействия будут влиять на другие каналы объекта, и эти влияния трудно нейтрализовать либо стабилизировать (чтобы исключить искажения результатов эксперимента). Поэтому нами были использованы пассивные методы исследований, основанные на накоплении информации о работе объекта в штатном режиме, получении его вероятностных характеристик и решении интегрального уравнения Винера-Хопфа

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} K(\Theta) R_{xx}(\tau - \Theta) d\Theta, \quad \text{где } K(\Theta) = q(t), \quad \tau \geq 0, \quad (1)$$

устанавливающего связь взаимно корреляционной функции $R_{xy}(\tau)$ между входом и выходом объекта с автокорреляционной функцией входного сигнала $R_{xx}(\tau)$ и с импульсной переходной функцией объекта $g(\tau)$, которая, как известно, однозначно определяет передаточную функцию объекта $W(p)$, т.е.

$$W(p) = \int_0^{\infty} g(t) e^{-pt} dt, \quad (2)$$

Статические и динамические характеристики добычных участков шахт, как объектов проветривания получены на основании компьютерной обработки экспериментального материала, накопленного в конкретных условиях угледобывающих

предприятий по каждому из восьми, практически независимым друг от друга, каналам: «дебит воздуха – уровень опасного и вредного фактора»; «работа добычного механизма – уровень опасного и вредного фактора».

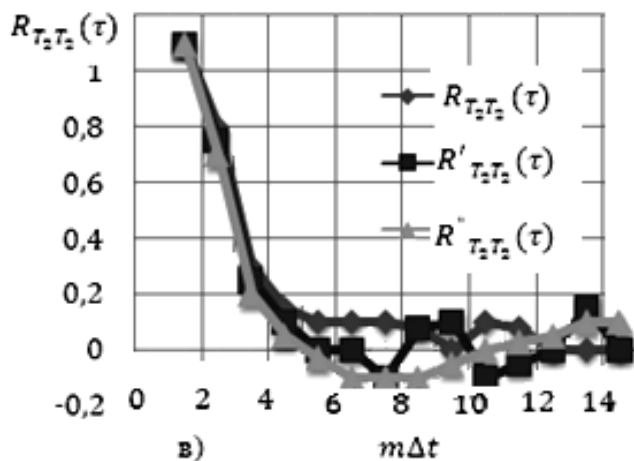
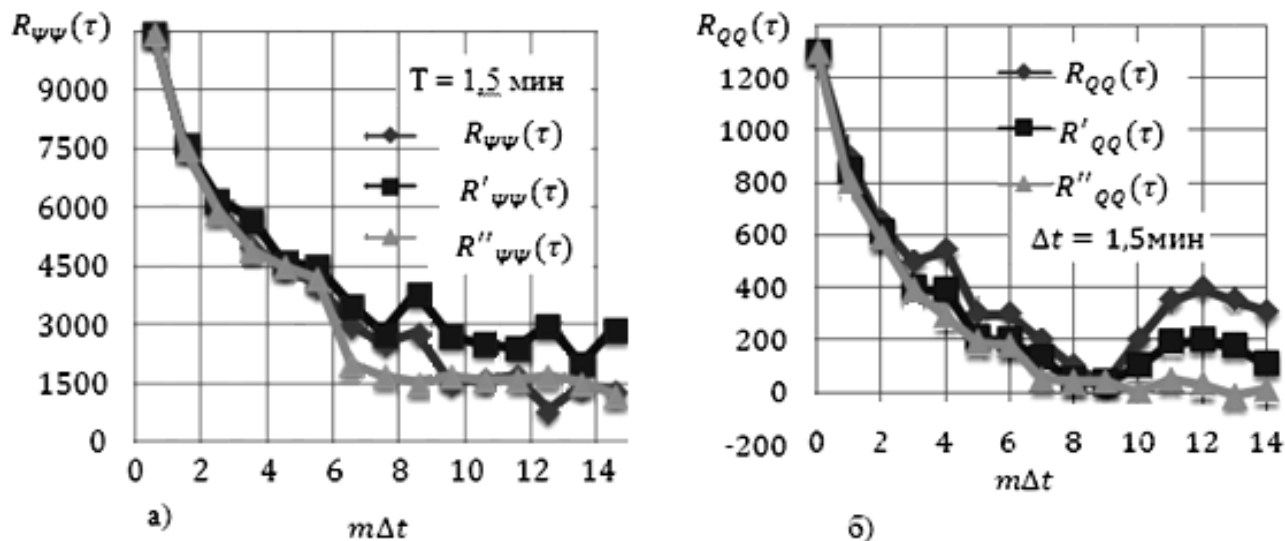


Рис. 3. Выборочные результаты проверки случайных процессов: а – $\Psi(t)$; б – $Q(t)$; в – $T(t)$ на стационарность

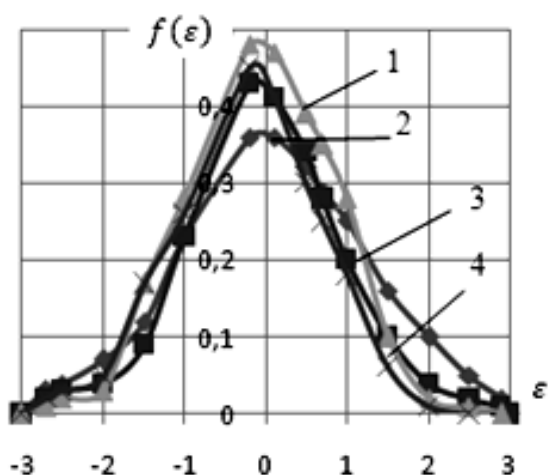


Рис. 4. Графики одномерных дифференциальных законов распределения случайных процессов: 1 – запыленность воздуха; 2 – работа добычного механизма; 3 – дебит вентиляционного воздуха; 4 – температура воздуха на выходе участка

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

– статистическая обработка экспериментального материала подтвердила справедливость рабочей гипотезы о возможности рассмотрения исследуемых процессов в классе стационарных случайных функций, что позволяет использовать известные математические соотношения, вытекающие из условий эргодичности;

– установлено, что статические характеристики шахтных объектов проветривания по газовому фактору не линейны, однако легко могут быть линеаризованы в диапазоне рабочих режимов их функционирования. Динамические же характеристики таких объектов следует относить к классу неминимально-фазовых, если не использовать, разработанный автором, способ их «улучшения», путем существенного снижения интенсивности выделения метана в атмосферу горных выработок разрабатываемыми угольными пластами, прилегающей породой и выработанными пространствами (вплоть до его полного прекращения);

– установлено, что процессы изменения запыленности рудничного воздуха описываются экспоненциально-косинусоидальными корреляционными функциями, период колебаний которых хорошо совпадает с длительностью технологического цикла;

– статические характеристики объектов проветривания по каналам «работа добычного механизма – концентрация пыли» и «работа добычного механизма – температура рудничного воздуха» весьма близки к линейным; по каналам «дебит воздуха – концентрация пыли» и «дебит воздуха – температура рудничной атмосферы» не линейны, весьма точно описываются корреляционными уравнениями второго порядка, однако легко поддаются линеаризации в области рабочих значений дебита воздуха с погрешностью, не превышающей 2–7 % в диапазоне изменений дебита воздуха ± 15 % относительно среднего (расчетного) значения;

– передаточные функции объектов проветривания по пылевому фактору по каждому из указанных каналов, полученные на основе использования пассивно-статистических методов исследования, могут быть описаны последовательным соединением двух динамических звеньев: устойчивого апериодического звена второго порядка и звена с чистым запаздыванием;

– с точки зрения динамики производственных процессов, передаточные функции участки проветривания по тепловому фактору могут быть также представлены устойчивыми апериодическими звеньями с запаздыванием, величина которого легко может быть учтена путем введения в передаточную функцию объекта по рассматриваемому каналу дополнительного множителя e^{-pt_3} (где t_3 – время запаздывания).

Необходимо отметить, что процедура идентификации статических и динамических характеристик подобных объектов автоматизации легко может быть автоматизирована при наличии непрерывно действующих датчиков концентрации метана, пыли и температурно-влажностных параметров рудничной атмосферы.

В четвертой главе угледобывающие предприятия рассматриваются как разновидность сложных систем (рис. 5), оценивается возможность применения для их изучения более современных методов анализа. Поскольку шахтная вентиляционная сеть является многосвязным объектом управления, нами получены математические условия ее устойчивости и автономности.



Рис. 5. Методы анализа сложных и опасных объектов автоматизации

Пусть действующие в произвольный момент времени концентрации метана и его предельно-допустимые значения, сигналы рассогласования между ними, а также дебиты воздуха на входе каждого участка проветривания и координаты регулирующих органов (сигналов управления) и возмущающих воздействий заданы матрицами.

Из рассмотрения структурной схемы (рис. 6) можно установить справедливость следующих уравнений:

$$[\varepsilon] = [\eta'] - [\eta]; \quad (3)$$

$$[u] = [V] \cdot [\varepsilon]; \quad (4)$$

$$[q] = [A] \cdot [u]; \quad (5)$$

$$[\eta] = [Y] \cdot [q] + [f], \quad (6)$$

где $[\varepsilon]$ – столбцевая матрица сигналов рассогласований; $[u]$ – столбцевая матрица координат регулирующих органов; $[q]$ – столбцевая матрица дебитов воздуха на входах объектов проветривания; $[\eta]$ – столбцевая матрица действительных значений концентраций метана; $[V]$ – диагональная матрица передаточных функций регуляторов; $[Y]$ – диагональная матрица передаточных функций объектов проветривания; $[A]$ – квадратная матрица коэффициентов взаимовлияний; $[R]$ – диагональная матрица передаточных функций объектов проветривания по отношению к возмущающим воздействиям.

Решая совместно уравнения (3)–(6), получим выражение, связывающее входные и выходные координаты многосвязной системы

$$[\eta] = [Y] \cdot [A] \cdot [V] \cdot \{[\eta'] - [\eta]\} + [R] \cdot [f] \quad (7)$$

или

$$\{[1] + [Y] \cdot [A] \cdot [V]\} \cdot [\eta] = [V] \cdot [A] \cdot [\eta'] + [R] \cdot [f]. \quad (8)$$

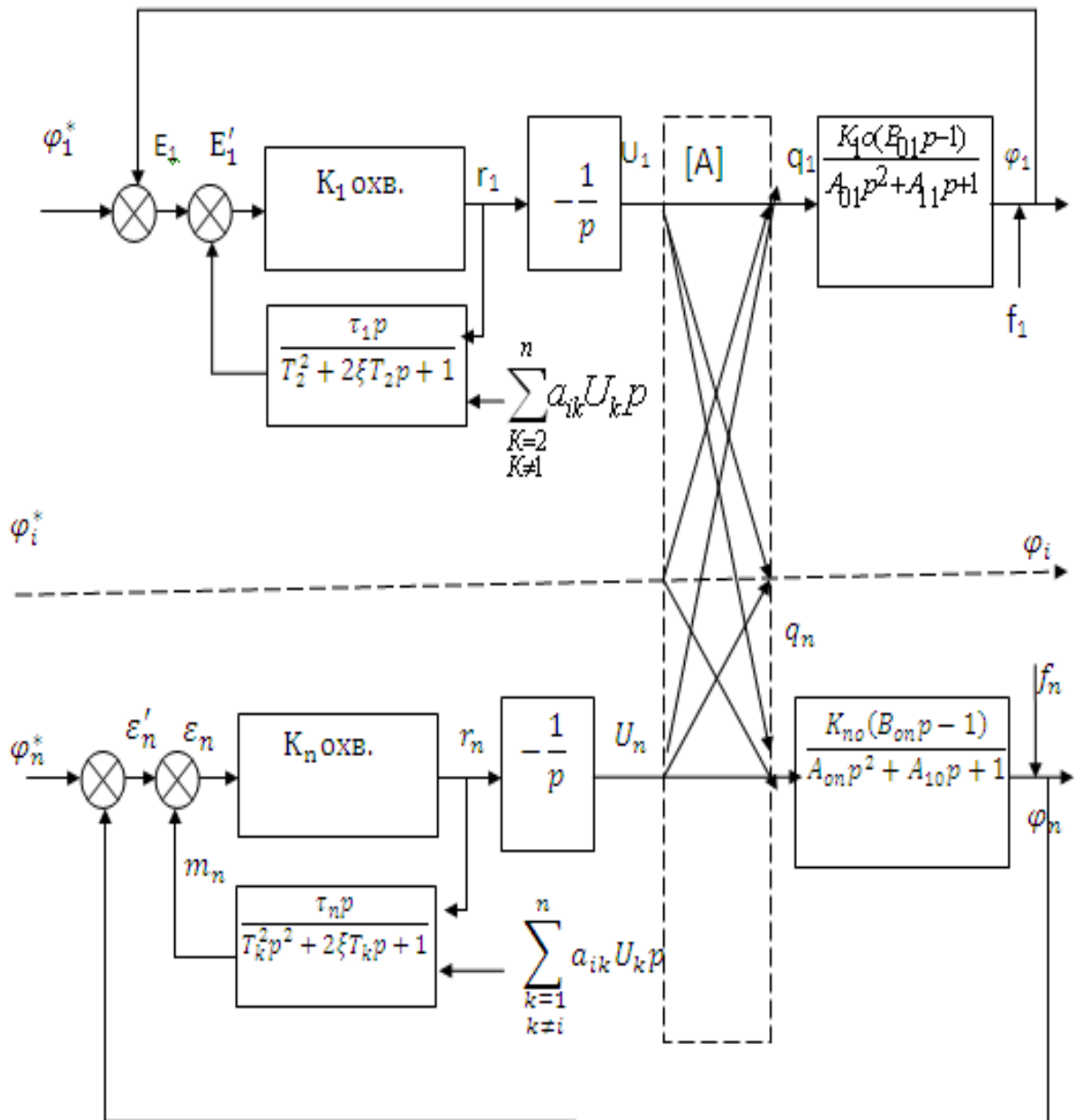


Рис. 6. Структурная схема многосвязной системы автоматического управления вентиляционным комплексом

Введем обозначение

$$[B] = [1] + [Y] \cdot [A] \cdot [V]. \quad (9)$$

Тогда матричное уравнение для регулируемой величины (7) запишется в виде

$$[\eta] = [B]^{-1} \cdot \{ [Y] \cdot [A] \cdot [V] \cdot [\eta'] + [R] \cdot [f], \quad (10)$$

где $[B]^{-1}$ – обратная матрица по отношению к $[B]$.

Характеристическое уравнение многосвязной системы будет иметь вид

$$\Delta B = 0, \quad (11)$$

где ΔB – определитель матрицы $[B]$.

Порядок характеристического уравнения (11), как это следует из выражения (9), определяется произведением степеней характеристических уравнений всех сепаратных систем.

Теоретически система, описываемая характеристическим уравнением (11) может быть исследована на устойчивость и качество известными методами теории регулирования одномерных систем. Практически это приводит к большим вычислительным трудностям, связанным с ростом степени характеристического уравнения (11).

Таким образом, возникает необходимость:

- выяснения условий, выполнение которых обеспечивает устойчивость сепаратных систем управления газовым режимом на каждом выемочном участке и всей многосвязной системы в целом;
- изучения условий автономности сепаратных систем такого класса.

Выполнение этих условий позволило бы свести исследование динамических свойств многосвязной системы регулирования к исследованию одномерных сепаратных систем.

Динамические свойства i -го выемочного участка как объекта управления определяются передаточной функцией вида (А.А. Волков, Ю.Н. Соколов, В.П. Чуберкис):

$$W_i(p) = \frac{K_{0i}(B_{0i}(p) - 1)}{(A_{0i}p^2 + A_{1i})(p + 1)}. \quad (12)$$

Управление концентрацией метана в рудничном воздухе на каждом выемочном участке осуществимо при помощи регулятора, состоящего из измерительного и усилительного устройства с передаточной функцией

$$W_i(p) = K_i, \quad (13)$$

и регулирующего органа (пассивного или активного) с передаточной функцией

$$W_{pi}(p) = -\frac{1}{p}. \quad (14)$$

Шахтная вентиляционная сеть, определяющая взаимовлияния между сепаратными системами управления, рассматривается как система без памяти. При этом величина дебита воздуха на входе i -го объекта проветривания определяется как линейная комбинация координат регулирующих органов всех сепаратных систем

$$q_i(p) = \sum_{i+1, k+j}^m a_{ik}(p) u_k(p), \quad (15)$$

где $a_{ik}(p)$ – коэффициенты взаимовлияний, определяемые топологией сети и параметрами ее ветвей; $u_k(p)$ – выходные координаты регулирующих органов; n – число сепаратных систем регулирования.

Такой набор исходной структуры диктуется существом самого процесса регулирования.

Разноинерционность процессов изменения координат регуляторов распределения воздуха по сети и концентрации метана на конкретных выемочных участках позволяет выбрать передаточные функции элементов регулятора идеальными.

С учетом перечисленных выше предпосылок устойчивость i -ой сепаратной системы без учета взаимовлияний может быть обеспечена за счет охвата звена с передаточной функцией K_i гибкой обратной связью с передаточной функцией

$$W_{ki}(p) = \frac{\tau_i p}{T_i^2 p^2 + 2\zeta_i T_i p + 1}. \quad (16)$$

При этом имеется принципиальная возможность обеспечения устойчивости сепаратной системы управления при неограниченном увеличении коэффициента усиления K_i за счет выбора параметров корректирующего устройства τ_i , T_i и ζ_i .

Выбор параметров корректирующего устройства производится из условия удовлетворения устойчивости вырожденного уравнения (18), получаемого из полного характеристического уравнения при выполнении условия

$$m \rightarrow 0 \quad (m = 1 / K_i). \quad (17)$$

Вырожденное уравнение имеет вид:

$$A_{0i} \tau_i p^4 + (A_{1i} \tau_i - K_{0i} B_i T_i^2) p^2 + \tau_i + K_{0i} (T_i^2 - 2\zeta_i T_i B_i) p^2 + K_{0i} (2\zeta_i T_i - B_i) p + K_{0i} = 0. \quad (18)$$

Кроме исследования вырожденного уравнения (18), следует проверить, является ли полученная система «грубой» в смысле А.А. Андропова.

Иначе говоря, необходимо изучить влияние малого параметра m на устойчивость полного характеристического уравнения.

Теоретические исследования показали, что малый параметр m не будет оказывать влияния на устойчивость системы, если удовлетворяет условиям устойчивости «вспомогательное» уравнение вида:

$$T_i r + \tau_i = 0; \quad \left(r = \frac{p}{m} \right). \quad (19)$$

Уравнение (19) удовлетворяет условиям устойчивости при любых значениях параметра T_i и r_i , следовательно, полученная система является «грубой».

Вопрос устойчивости всей многосвязной системы в целом может быть решен совместно с вопросом удовлетворения условиям динамической автономности. Условия эти формулируются следующим образом. Если каждая сепаратная система в отдельности удовлетворяет условиям устойчивости при неограниченном увеличении коэффициента усиления и на входы всех корректирующих устройств поданы искусственно созданные воздействия вида

$$n_i(p) = \sum_{\substack{i=1, \\ k \neq i}}^n a_{ik} - (p)u_k(p)p, \quad (20)$$

то при неограниченном увеличении коэффициента усиления всех сепаратных систем K_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) полное вырожденное уравнение распадается на n вырожденных уравнений вида (18).

При этом исследование устойчивости всей многосвязной системы сводится к исследованию устойчивости сепаратных систем.

Полученные условия устойчивости и автономности многосвязной системы автоматического управления шахтным вентиляционным комплексом по газовому фактору проверялись методом математического моделирования на модели при значениях параметров для случая (А.А. Волков, Ю.Н. Соколов, В.П. Чуберкис): $K_{\text{охв1}} = K_2 = 0,1$; $K_{02} = K_{01} = 2 \cdot 10^{-3}$; $T_1 = 10^4$ с; $\tau_1 = 10^3$ с; $B_1 = B_2 = 2 \cdot 10^{-4}$; коэффициенты взаимосвязи $a_{11} = a_{22} = 1$; $a_{12} = 0,5a_{21}$.

Система регулирования η_1 стабилизирована корректирующим устройством с передаточной функцией вида (15). На вход корректирующего устройства подано искусственно созданное воздействие вида (20).

В системе регулирования η_2 корректирующее устройство отсутствует. Ступенчатое воздействие подается на вход системы регулирования η_2 . Исследование автономности системы регулирования η_1 осуществлялась по отношению к системе регулирования η_2 .

В этой же главе представлены результаты моделирования шахтных объектов проветривания по пылевому и тепловому факторам.

В пятой главе представлены результаты разработок предлагаемых нами способов и технических средств повышения безопасности, рассматриваемых объектов, в том числе:

– способ искусственного снижения интенсивности выделения метана, разрабатываемыми угольными пластами и поверхностями шахтных выработок, в рудничную атмосферу, и результаты его производственных испытаний;

- способ проветривания горных тупиковых выработок на основе предложенной новой разновидности регулирующих устройств;
- технические решения для повышения безопасности ведения горных работ с использованием взрывов.

Сущность первого способа заключается в периодическом орошении участков и поверхностей, выделяющих метан, растворами быстровысыхающих смесей (жидкое стекло, жидкое стекло плюс цемент; водный раствор поливинилацетатного клея плюс цемент и др.), образующих своеобразные защитные пленки, препятствующие выделению метана. По крайней мере – существенно снижающие интенсивность его выделения. На рис. 7 представлены графики, иллюстрирующие эффективность такого периодического орошения.

Как следует из графиков на рис. 7, уже по истечению 1 суток после орошения начальные значения интенсивности выделения метана снизилась:

- при использовании водного раствора поливинилацетатного клея – на 34,8%;
- жидкого стекла – на 48 %;
- раствора жидкого стекла в смеси с цементом - примерно на 59 %.

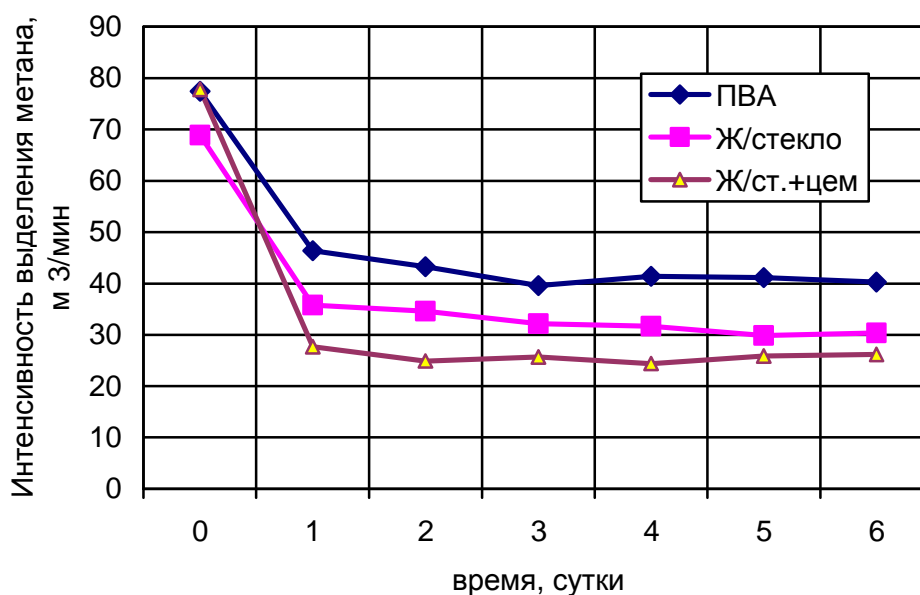


Рис. 7. Графики изменения интенсивности выделения метана в атмосферу горной выработки до и после орошения ее поверхностей быстровысыхающими смесями

Ориентировочные значения продолжительности сохранения пленками своих защитных свойств в наших экспериментах для поливинилацетатного клея составили 14 суток; для жидкого стекла – 26 суток; для смеси жидкого стекла с цементом – более одного месяца. Разумеется, эти показатели справедливы для пласта, в условиях которого проводились исследования. Для других угольных пластов они, безусловно, будут иными, поскольку продолжительность защитного действия пленок во многом зависит от горного давления и внутрипластового давления газов.

Тем не менее, периодическая обработка выработок подобными растворами позволяет:

- существенно сократить время вынужденных простоев высоко-производительного горнодобывающего оборудования по требованиям безопасности в связи с ростом концентрации метана с началом ведения горных работ;

- улучшить санитарно-гигиеническое состояние воздушной среды выработок, повысить ее безопасность;

- получить определенный экономический эффект за счет более полного использования технических возможностей горнодобывающих машин, а также за счет снижения потребного для вентиляции дебита воздуха и, следовательно, расхода электроэнергии на проветривание;

- упростить газодинамические характеристики объектов проветривания и, таким образом, решить проблему синтеза эффективной системы автоматического управления вентиляционными комплексами шахт, опасных по газовому фактору.

На данный способ получен патент Российской Федерации на изобретение № 2435963 по заявке № 2009133319/ 03 (046839) .

В этой же главе рассмотрены вопросы проветривания горных тупиковых выработок, как наиболее «трудных» объектов с точки зрения вентиляции.

Как известно, в настоящее время единственным техническим решением этой проблемы является обязательное использование дополнительных источников тяги – вентиляторов местного проветривания с соответствующим набором трубопроводов из жестких материалов, наращиваемых по мере продвижения тупиковой выработки. Основным недостатком такого решения является не только необходимость использования дополнительного оборудования и соответствующего увеличения объемов работ по наращиванию трубопроводов, но и неспособность такого решения подать в тупиковую выработку максимально необходимое количество воздуха при возникновении нештатной аварийной ситуации для ее экстренного проветривания.

Для повышения безопасности ведения проходческих работ разработан более эффективный способ проветривания тупиковых выработок на основе использования регулирующего устройства (конструкции) и обычной локальной системы автоматического управления.

На рис. 8 представлены: тупиковая выработка 1, вентиляционный штрек 2, управляющее устройство 3 с необходимым набором датчиков концентрации метана и угольной пыли; регулирующее устройство 4, с заслонками жалюзийного типа 5, перемещаемые управляемым пневматическим приводом 6. Регулирующее устройство 4 выполнено с возможностью его наращивания дополнительными секциями 7 по мере продвижения тупиковой выработки.

Основным условием его работоспособности является обязательное размещение регулирующего устройства в горловине тупиковой выработки и его изготовление из уголковой стали в виде треугольной пирамидальной конструкции с перемещаемыми заслонками жалюзийного типа.

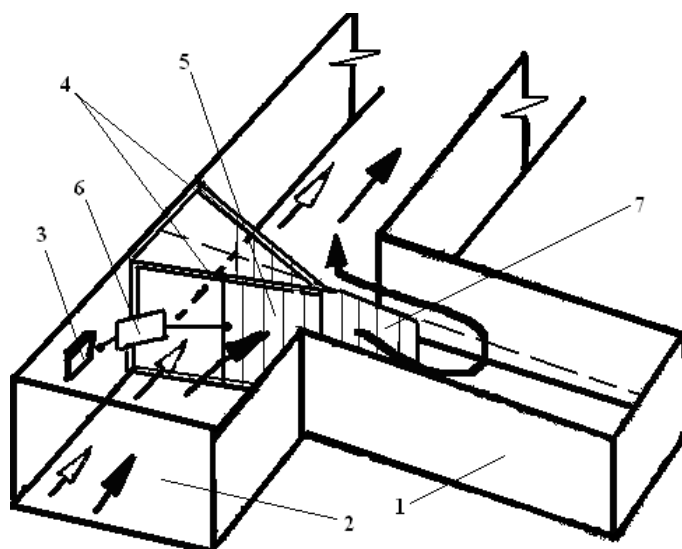


Рис. 8. Регулирующее устройство для проветривания тупиковых выработок:

1 – тупиковая выработка; 2 – вентиляционный штрек; 3 – управляющее устройство; 4 – регулирующее устройство; 5 – заслонки жалюзийного типа; 6 – пневматический исполнительный механизм; 7 – дополнительные воздухонаправляющие секции, наращиваемые по мере продвижения тупиковой выработки

Регулирующее устройство 4, установленное, как уже упоминалось, в горловине тупиковой выработки, должно быть закреплено на стенке вентиляционного штрека анкерными соединениями таким образом, чтобы вершина треугольной пирамидальной металлической конструкции, выполненной из уголкового стали с заслонками жалюзийного типа, была бы направлена в сторону тупиковой выработки вдоль ее среднего вертикального сечения. Тогда по сигналам управляющего устройства 3 пневматические исполнительные устройства 6 будут перемещать вдоль направляющих соответствующие заслонки, перераспределяя и направляя часть потока воздуха, проходящего по вентиляционному штреку 2 на проветривание тупиковой выработки 1. В условиях опасной ситуации, близкой к чрезвычайной, когда концентрации метана и угольной пыли в атмосфере призабойного пространства тупиковой выработки превысят предельно-допустимые значения, регулирующее устройство 4 предлагаемой конструкции способно направить максимально возможную часть воздуха, проходящего через вентиляционный штрек (и даже весь поток вентиляционного воздуха) для экстренного проветривания тупиковой выработки. Это в значительной мере позволит снизить вероятность взрывов метана и возгорания угольной пыли.

Как показали проведенные исследования, такая конструкция регулирующего устройства действительно способна перераспределять и направлять в произвольный момент времени необходимую часть вентиляционного воздуха на проветривание тупиковой выработки без установки дополнительного источника тяги и дополнительных трубопроводов из жестких материалов.

На данный способ получен патент Российской Федерации (изобретение № 2478791, зарегистрирован в Госреестре 10.04.2013 г.).

Для повышения безопасности ведения горных работ с использованием взрывов нами предложено также несложное техническое решение «подпружи-

ненные двери» 1 (рис. 9). Они снабжены электромагнитными защелками 2, управляемые системой автоматики 4, которая работает по сигналам датчиков взрыва. Данное устройство позволяет снизить интенсивность воздействия ударной взрывной волны примерно на 25–30 %. На основании экспериментальных исследований установлено, что подпружиненные двери, открываемые под воздействием ударной взрывной волны, и следующие за ними водяные завесы следует располагать на оптимальных расстояниях в соответствии со следующими эмпирическими зависимостями:

$$L_{\text{двери}} = (7 - 8) \sqrt{Q}, \text{ м}; \quad (21)$$

$$L_{\text{вод. завеса}} = (12 - 14) \sqrt{Q}, \text{ м}, \quad (22)$$

где Q – масса заряда взрывчатого вещества.

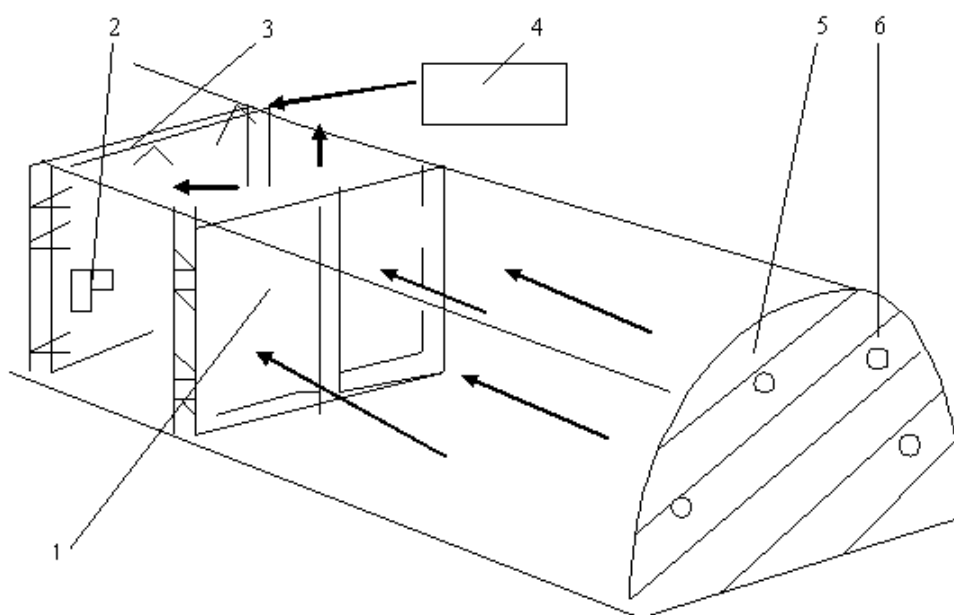


Рис. 9. Подпружиненные двери с водяной завесой, управляемые системой автоматики:

- 1 – подпружиненные двери, открываемые под воздействием ударной взрывной волны;
- 2 – электромагнитные защелки, закрепленные на стенках выработки; 3. – водяная завеса;
- 4 – система автоматического управления; 5 – грудь забоя; 6 – заряды взрывчатого вещества

Соотношения (21) и (22) рекомендуется использовать для выбора наиболее безопасных мест для укрытия горнорабочих во время производства взрывных работ, предварительно умножив выражение (21) на коэффициент 3,8, а выражение (22) – на 3,4.

Вместо водяных завес можно использовать, применяемые в зарубежной практике, мешки с водой, размещенные на вращающейся перекладине, опрокидываемые под воздействием ударной взрывной волны. Для большей эффективности вместо воды указанные выше мешки целесообразно заполнять пламягасящей пылевидной массой (разработка МХТИ им. Менделеева).

В шестой главе анализируются современные разновидности систем автоматического управления, с позиций их применимости для решения задач по созданию автоматических систем управления шахтным вентиляционным комплексом с обязательным учетом всех наиболее значимых опасных и вредных

факторов. По результатам анализа разработана общая структура системы автоматического управления безопасностью угледобывающего предприятия и алгоритм ее функционирования.

В седьмой главе представлена функциональная структура интеллектуальной системы управления комплексной безопасностью и эффективностью объектов угледобывающего предприятия с учетом воздействий газового, пылевого и теплового факторов, синтезированная на основе современных информационных технологий.

В функциональной структуре интеллектуальной автоматической системы управления комплексной безопасностью объектов угледобывающих предприятий первый уровень иерархии составляют: лицо, принимающее решения; диспетчер программ возможных решений (при возникновении нештатных ситуаций); подсистема анализа и поддержки принимаемых решений. В этот же уровень иерархии входят автоматизированные системы управления (АСУ) технологическими процессами, количеством и качеством добываемой продукции, материальными потоками и финансами, процедурами прогнозирования и мониторинга безопасности функционирования (рис. 10).

Второй уровень иерархии составляют: распределенная база данных; подсистема сбора и хранения данных о состоянии технологического оборудования и контролируемых параметров, характеризующих состояние производственного оборудования, безопасность функционирования отдельных производственных участков и всего предприятия в целом. В этот же уровень иерархии входят модели движения материальных потоков, модели управления финансами, модели вентиляционной сети, а также разработанные нами, математические модели шахтных объектов проветривания.

Третий (нижний) уровень иерархии составляют производственные участки и их локальные микропроцессорные системы контроля, диагностики и управления.

На выходе информационно-аналитической подсистемы анализа и поддержки принятия решений должна быть представлена текущая информация:

- о ходе технологического процесса;
- о состоянии технологического оборудования (работоспособное, предаварийное и аварийное);
- о движении материальных потоков и финансов;
- о состоянии безопасности производственных участков,

а также результаты мониторинга и прогноза наиболее значимых показателей, характеризующих эффективность работы предприятия и уровень его безопасности.

К этой информации могут быть добавлены значения прогнозов рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, предложения различных вариантов управляющих решений технологического или организационного характера, например:

- замена оборудования, средств защиты, сигнализации и т.п., отслуживших свой «срок службы»;
- рекомендации о внесении изменений в организации технологических процессов;

- реконструкция отдельных производственных участков, или всего предприятия;
- прекратить работу конкретного производственного участка;
- прекратить работу всего предприятия и принять меры к эвакуации персонала из опасных зон.

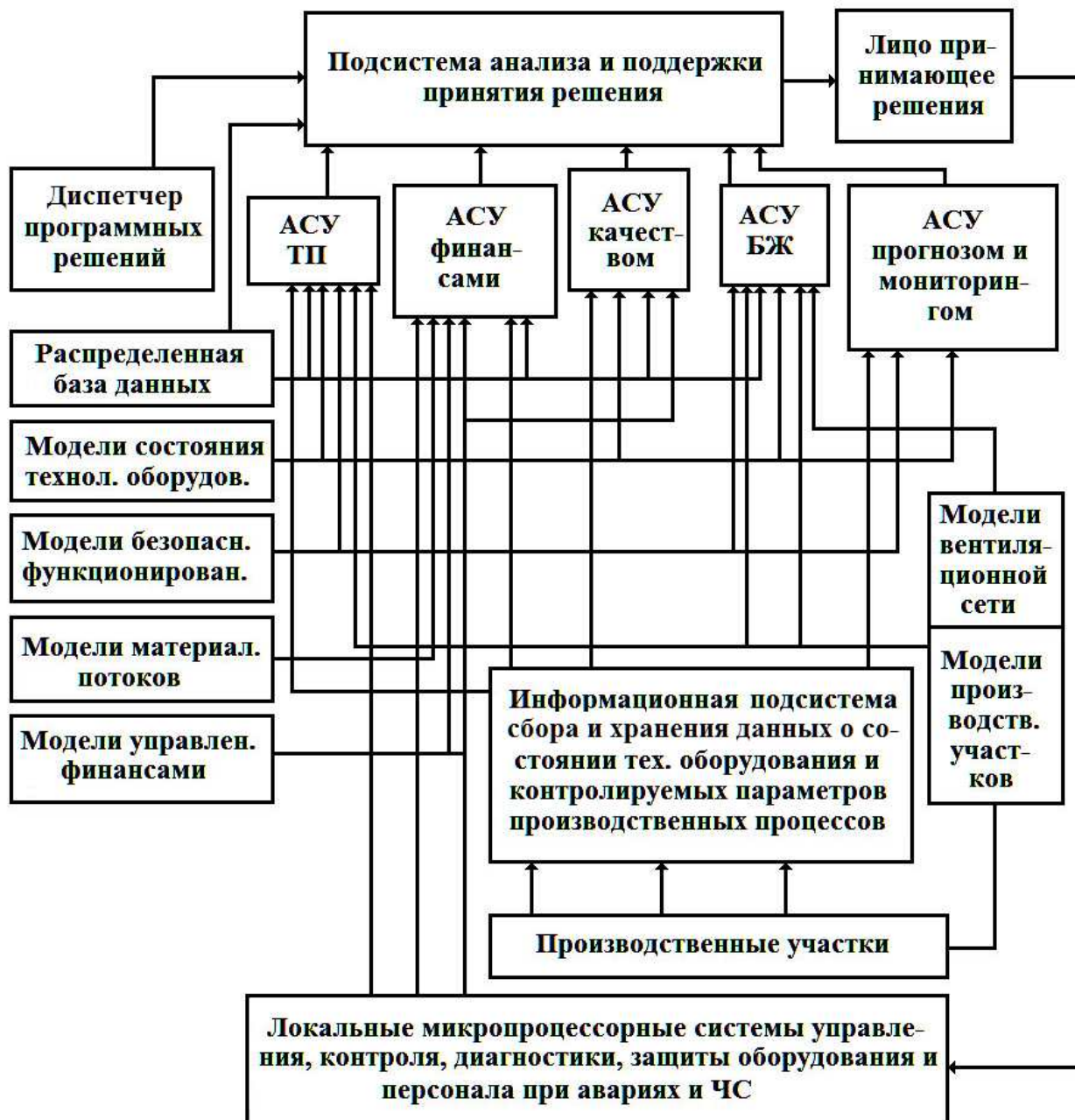


Рис. 10. Функциональная структура интеллектуальной автоматической системы управления комплексной безопасностью объектов угледобывающего предприятия

В восьмой главе представлены результаты моделирования интенсивностей взрывных воздействий, осуществляемых при проходке горных выработок. Как известно, при проходке подземных горных выработок, опасных по газовому фактору, наиболее эффективным, является буровзрывной способ, основан-

ный на бурении шпуров, закладке зарядов с взрывчатым веществом и инициировании взрывов в горном массиве. При этом нередко происходят чрезвычайные ситуации, связанные с возгораниями угольной пыли, с взрывами метано-воздушной смеси, распространяющиеся по разветвленной сети шахтных выработок. Эти чрезвычайные ситуации зачастую ведут к травмам и гибели людей. Так, например, взрыв на угольной шахте в Родезии (ныне Зимбабве) в 1972 г. был настолько сильный, что в воздух взлетело тяжелое шахтное оборудование, погибло 424 человека. На шахте «Ульяновская» Кемеровской области 19 марта 2007 года произошел взрыв, в результате которого погибло 110 человек. Кроме того, периодически повторяющиеся сейсмические волновые воздействия оказывают отрицательное влияние на горнорабочих. Среди таких воздействий, наибольшую опасность представляет собой ударная воздушная волна, которая определяется как некоторый скачок уплотнения воздуха, распространяющийся со сверхзвуковой скоростью.

Как свидетельствуют результаты наших исследований, успешно решать сложные задачи оценки интенсивности взрывных воздействий при выполнении работ с использованием взрывов можно на основе метода численного моделирования конечных элементов в перемещениях, разработанного В.К. Мусаевым, который позволяет решать сложные задачи оценки волновых взрывных воздействиях на уникальные объекты. При разработке комплекса программ был использован алгоритмический язык Фортран-90. Методика решения состоит в том, что исследуемая область разбивается по пространственным переменным на треугольные конечные элементы с тремя узловыми точками с линейной аппроксимацией упругих перемещений и на прямоугольные конечные элементы с четырьмя узловыми точками с билинейной аппроксимацией упругих перемещений. По временной переменной исследуемая область разбивается на линейные конечные элементы с двумя узловыми точками с линейной аппроксимацией упругих перемещений.

На основании этой методики методом численного моделирования волн напряжений были решены задачи оценки интенсивностей ударных волновых взрывных воздействий при ведении работ с использованием взрывов, получены результаты оценки точности и достоверности используемого метода.

Ниже представлены результаты исследований воздействий плоской продольной упругой взрывной волны на свободное круглое отверстие, на подкрепленное свободное отверстие, результаты численного моделирования отражения упругих волн напряжений в виде дельта функции от свободной поверхности и решение задачи о сосредоточенном взрывном воздействии в объекте неглубокого заложения.

Рассматриваемые задачи представлены в виде сооружений с основанием при воздействии на них волн напряжений.

Начальные условия приняты нулевыми. В сечении на расстоянии $1,9H$ (рис. 11) при $0 \leq n \leq 10$ ($n = t / \Delta t$) скорость упругого перемещения \dot{u} изменяется линейно от 0 до P ($P = \sigma_0 / (\rho C_p)$) ($\sigma_0 = -0,1$ МПа, а при $n \geq 10$ $\dot{u} = P$).

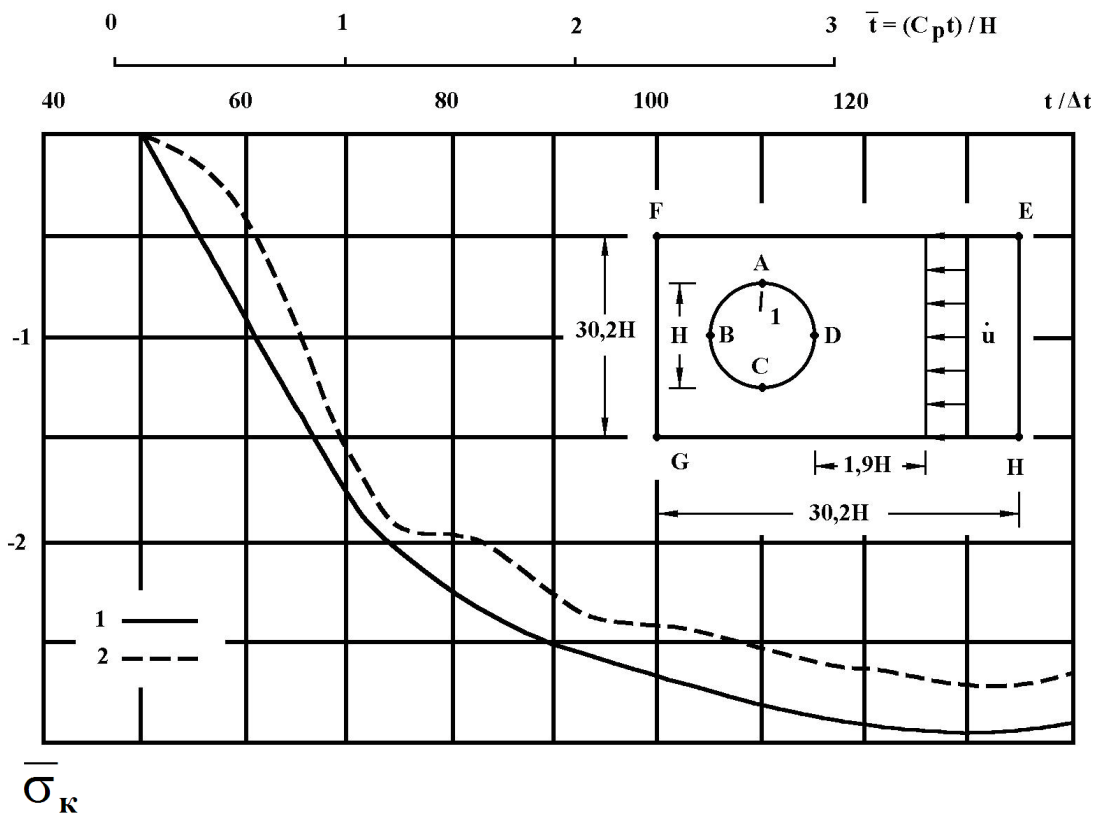


Рис. 11. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке 1 во времени \bar{t} на контуре свободного круглого отверстия при воздействии плоской продольной упругой волны типа функции Хевисайда

Контур круглого отверстия $ABCD$ предполагается свободным от нагрузок при $t > 0$. Граничные условия для контура $EFGH$ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура $EFGH$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 260$.

Исследуемая расчетная область имеет 1536 узловых точек. Контур круглого отверстия аппроксимирован 28 узловыми точками.

На рис. 11 показано изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ ($\bar{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$) в точке 1 во времени \bar{t} ($\bar{t} = (C_p t) / H$): 1 – результаты аналитического решения; 2 – результаты численного решения, полученные методом конечных элементов в перемещениях. Расхождение для максимального упругого контурного напряжения составляет 6 %.

На рис. 12 показано экспериментальное воздействие σ_{01} во времени \bar{t} , полученное методом динамической фотоупругости: а – фотограмма картин полос; б – экспериментальное воздействие, принятое при численном решении методом конечных элементов в перемещениях. На рис. 10 показано изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке 1 во времени \bar{t} при воздействии σ_{01} : а – фотограмма картин полос; б: 1 – экспериментальные результаты, полученные методом динамической фотоупругости; 2 – результаты численного решения, полученные методом конечных элементов в перемещениях.

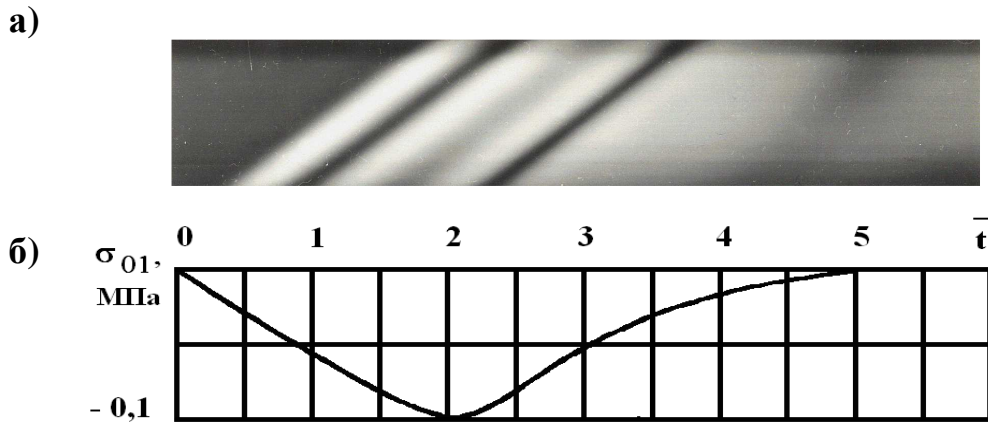


Рис. 12. Экспериментальное воздействие σ_{01} во времени \bar{t} , полученное методом динамической фотоупругости: а – фотограмма картин полос; б – экспериментальное воздействие, принятое при численном решении методом конечных элементов в перемещениях

Расхождение для максимального упругого контурного напряжения составляет 2 % .

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на подкрепленное круглое отверстие.

Начальные условия приняты нулевыми. В сечении на расстоянии $1,6H$ (рис. 14) при $0 \leq n_1 \leq 10$ ($n_1 = t / \Delta t_1$) скорость упругого перемещения \dot{u}_2 изменяется линейно от 0 до $P_1 = \sigma_0 / (\rho_2 C_{p2})$, а при $n_1 \geq 10$ $\dot{u}_2 = P_1$. Внутренний контур подкрепленного отверстия $ABCD$ предполагается свободным от нагрузок при $t > 0$.

На границе подкрепления и среды $EFGH$ приняты условия непрерывности перемещений. Граничные условия для контура $IJKL$ при $t > 0$ $u_2 = v_2 = \dot{u}_2 = \dot{v}_2 = 0$.

Отраженные волны от контура $IJKL$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n_1 \leq 540$ (...₁ – подкрепление; ...₂ – среда).

Исследуемая расчетная область имеет 1536 узловых точек.

Внутренний контур подкрепления аппроксимирован 28 узловыми точками.

По толщине подкрепление аппроксимировано двумя узловыми точками.

На рис. 14 показано изменение контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке 1 во времени \bar{t}_1 ($\bar{t}_1 = (C_{p2}t) / H$): 1 – результаты аналитического решения; 2 – результаты численного решения, полученные методом конечных элементов в перемещениях.

Расхождение для максимального упругого контурного напряжения составляет 12 % .

а)



б)

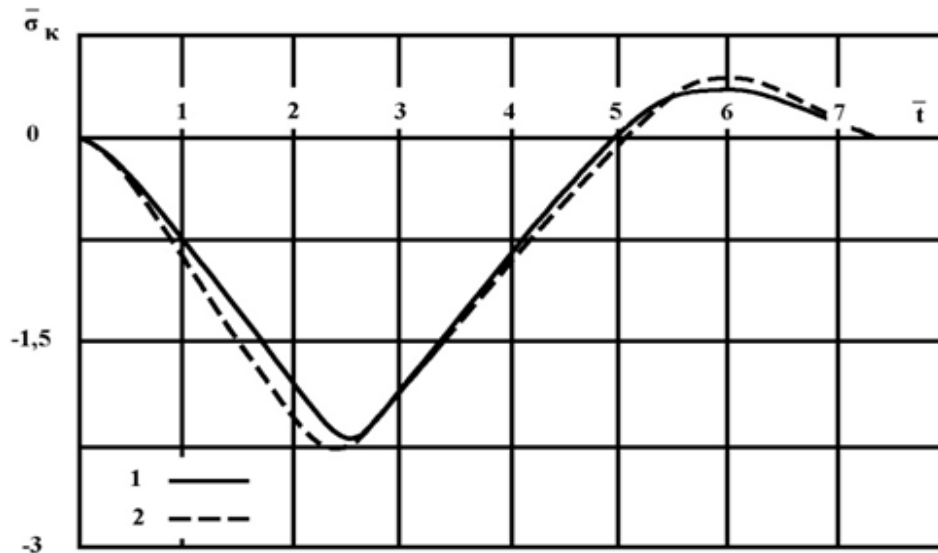


Рис. 13. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке **1** во времени \bar{t} на контуре свободного круглого отверстия при воздействии σ_{01} : а – фотограмма картин полос; б: **1** – экспериментальные результаты, полученные методом динамической фотоупругости; **2** – результаты численного решения, полученные методом конечных элементов в перемещениях

Рассмотрены вопросы моделирования с помощью метода конечных элементов волн напряжений в сложных деформируемых телах.

Решается задача об отражении плоских продольных взрывных волн напряжений в виде дельта функции от свободной поверхности.

На границе пластинки AB (рис. 15) приложено нормальное напряжение σ_y , которое при $0 \leq n \leq 10$ ($n = t / \Delta t$) изменяется линейно от 0 до P , а при $n \geq 10$ от P до 0 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1$ МПа).

Граничные условия для контуров BC и AD при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Контур CD свободен от нагрузок.

Отраженные волны от контуров BC и AD не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 190$.

Расчеты проведены при следующих исходных данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,15 \cdot 10^4$ МПа ($3,15 \cdot 10^5$ кгс/см²); $\nu = 0,2$; $\rho = 0,255 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,255 \cdot 10^{-5}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с.

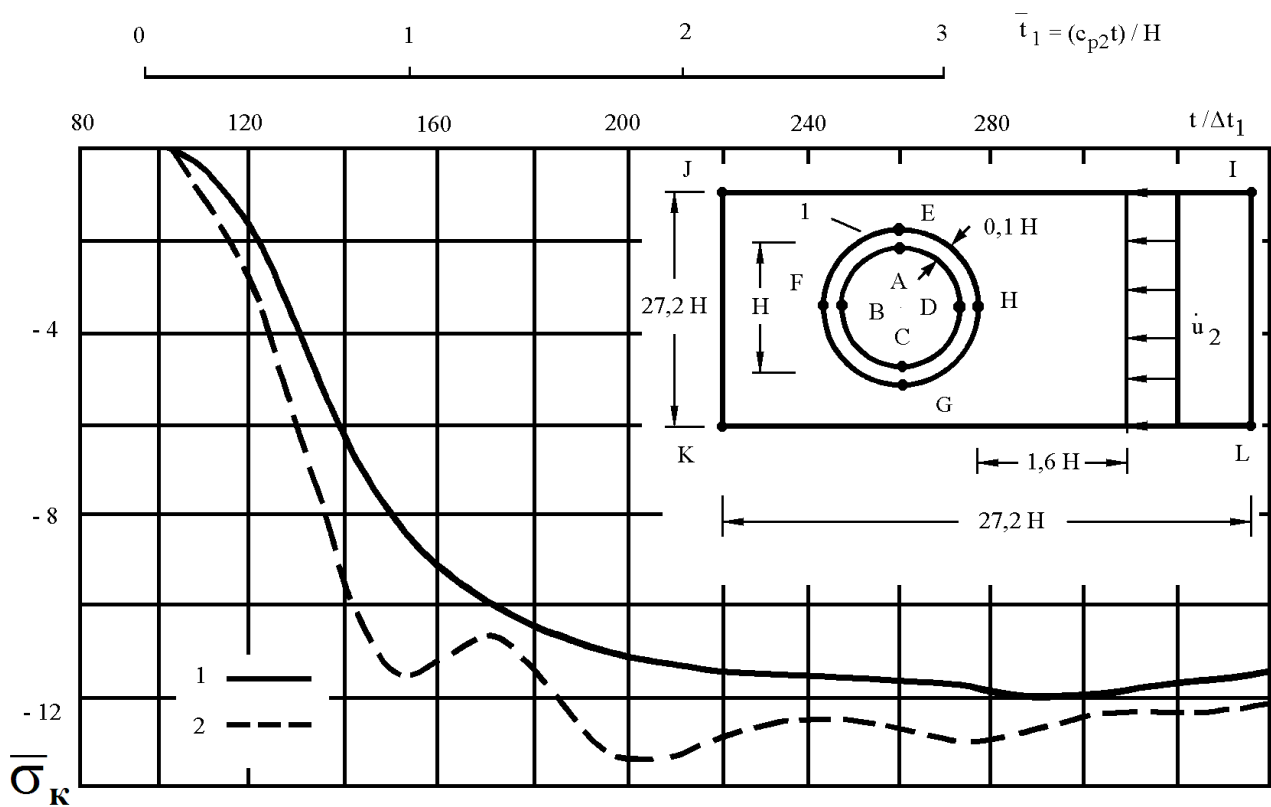


Рис. 14. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке 1 во времени \bar{t}_1 на внутреннем контуре подкрепленного круглого отверстия при воздействии плоской продольной упругой волны типа функции Хевисайда

Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Для примера на рис. 16–18 представлено изменение нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ ($\bar{\sigma}_y = \sigma_y / |\sigma_0|$) во времени n в точках $B1 - B3$.

Рассмотрим задачу о воздействии сосредоточенного взрывного воздействия (рис. 20) в объекте неглубокого заложения на окружающую среду (рис. 19).

В точке C приложено нормальное сосредоточенное воздействие σ_y (рис. 20), которое при $0 \leq n \leq 10$ ($n = t / \Delta t$) изменяется линейно от 0 до P , а при $10 \leq n \leq 20$ от P до 0 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = 0,1$ МПа).

Граничные условия для контура $AIHG$ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура $AIHG$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 150$. Контур $ABCDEFGG$ свободен от нагрузок, кроме точки C , где приложено сосредоточенное взрывное воздействие.

Расчеты проведены при следующих исходных данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,15 \cdot 10^4$ МПа; $\nu = 0,2$; $\rho = 0,255 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,255 \cdot 10^{-5}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с.

Исследуемая расчетная область имеет 17112 узловых точек. Решается система уравнений из 68448 неизвестных.

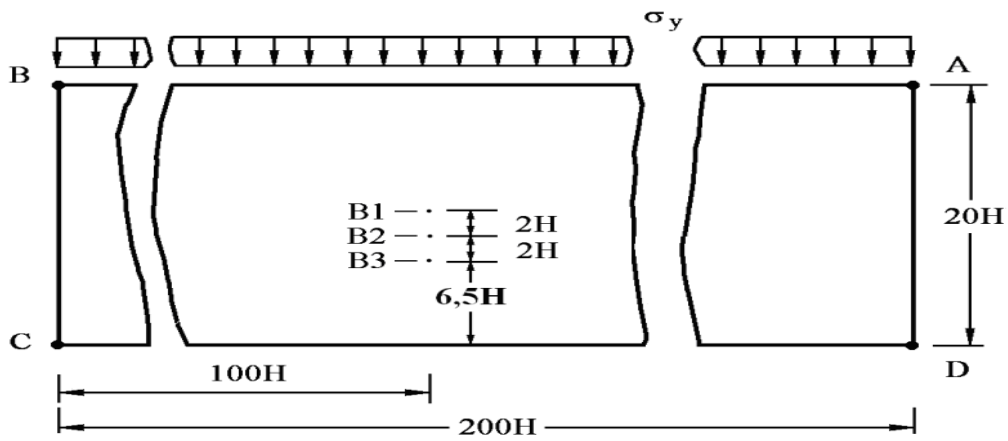


Рис. 15. Постановка задачи

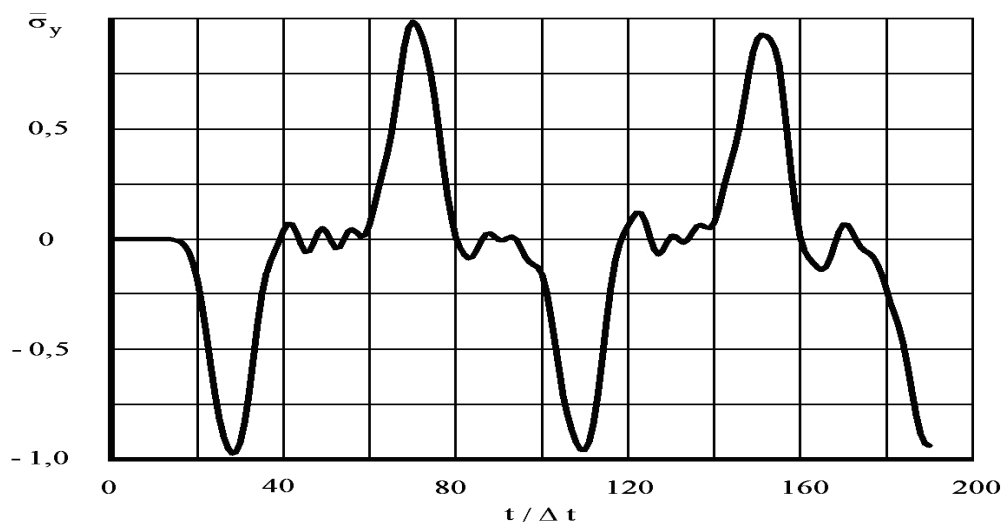


Рис. 16. Изменение нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ в точке В1 во времени π

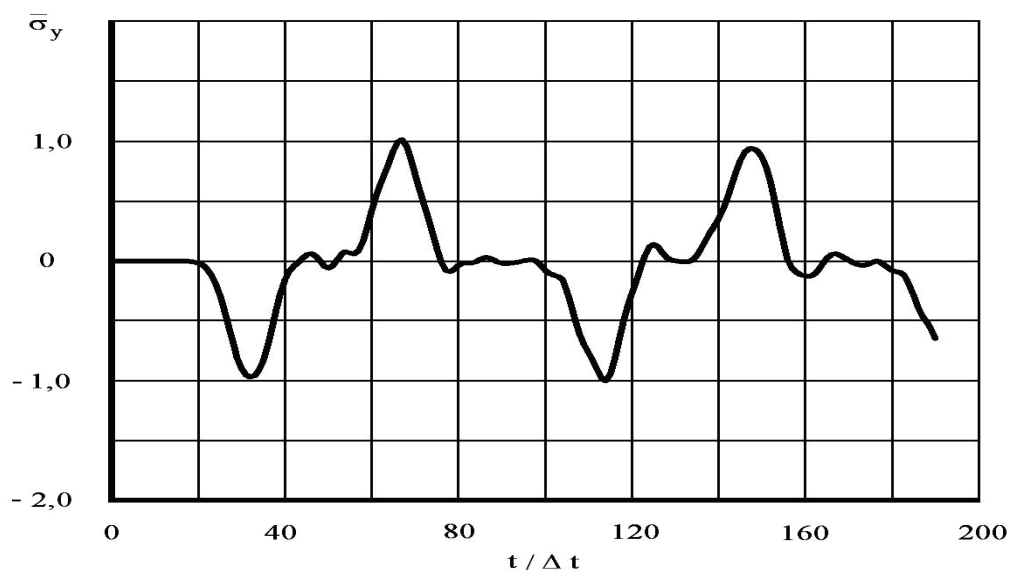


Рис. 17. Изменение нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ в точке В2 во времени π

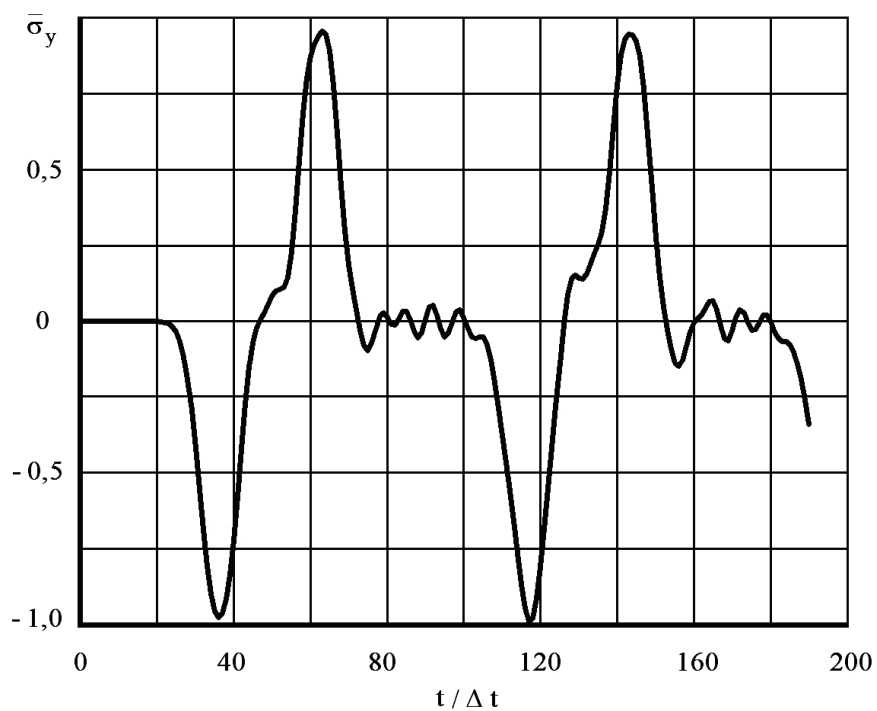


Рис. 18. Изменение нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ в точке ВЗ во времени n

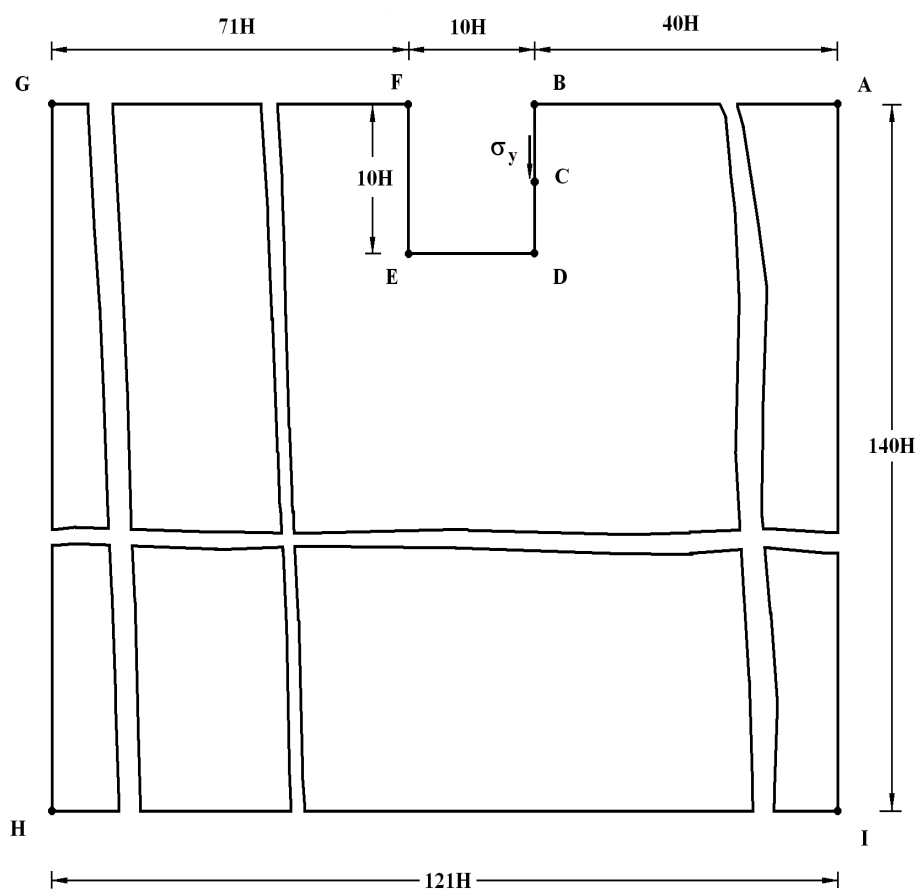


Рис. 19. Постановка задачи о сосредоточенном взрывном воздействии в объекте неглубокого заложения на окружающую среду

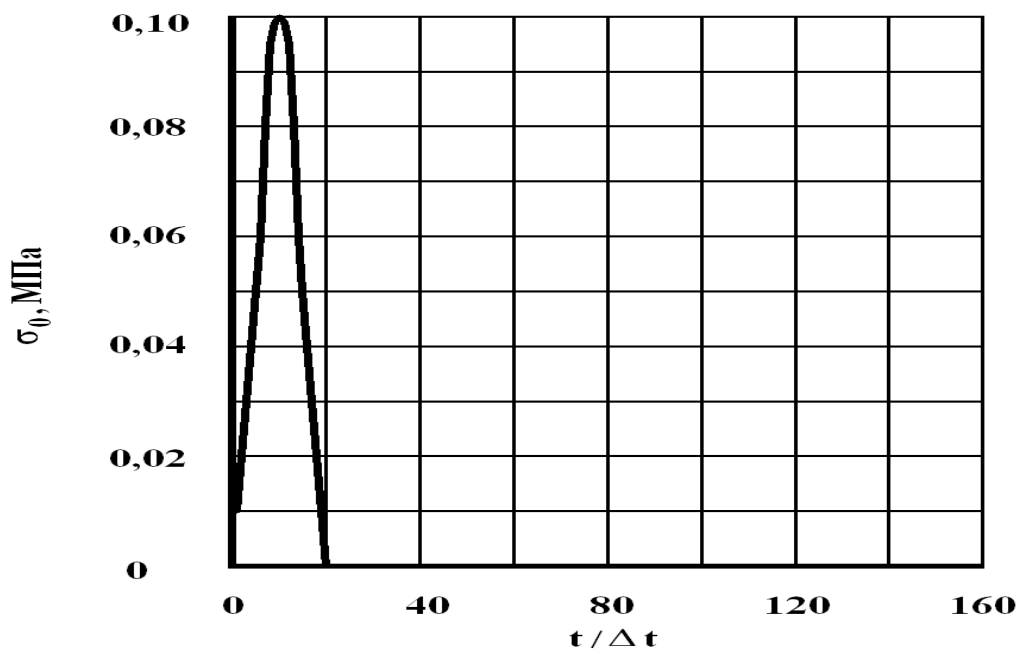


Рис. 20. Воздействие типа дельта функции

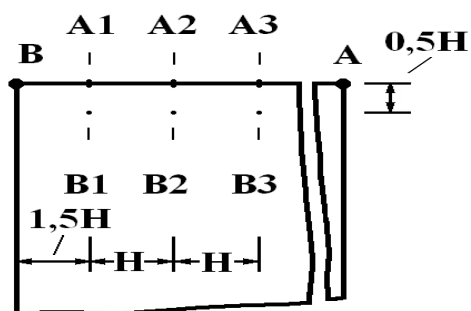


Рис. 21. Точки A1 - A3 и B1 - B3, в которых приводятся упругие напряжения во времени $t/\Delta t$

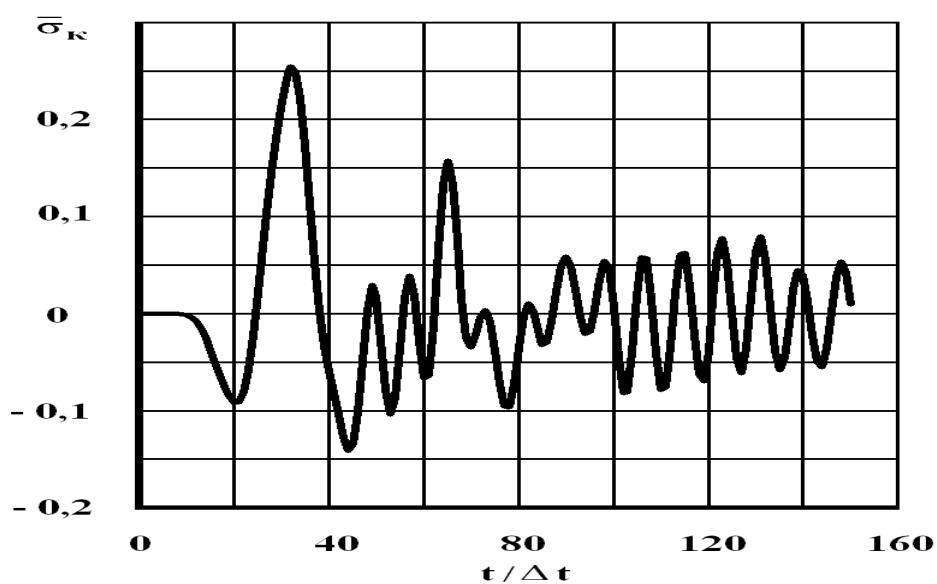


Рис. 22. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A1

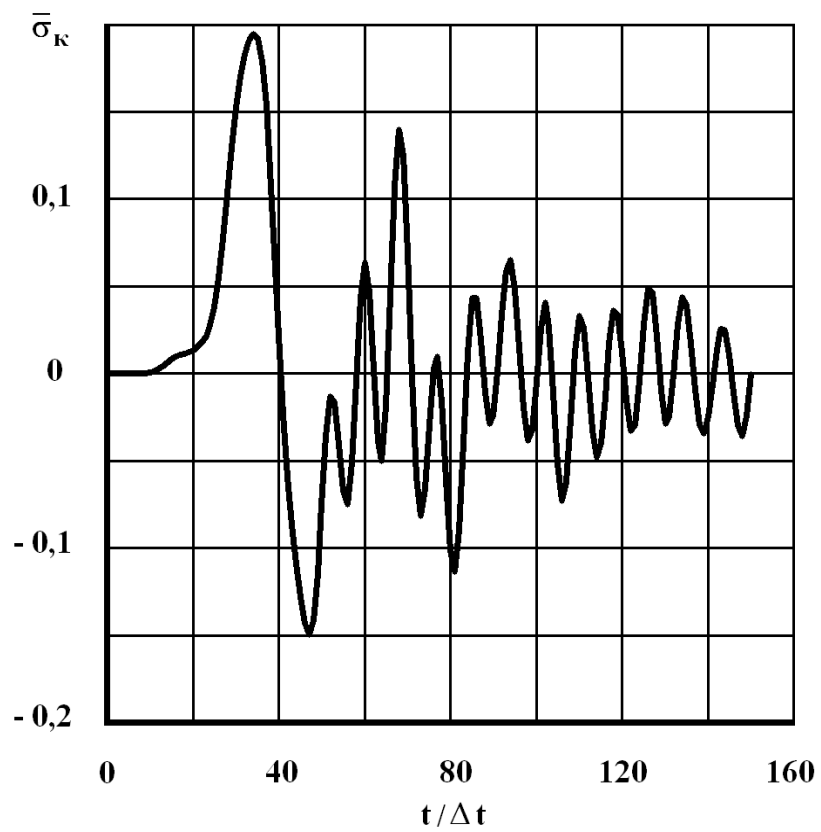


Рис. 23. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_K$ во времени $t/\Delta t$ в точке A2

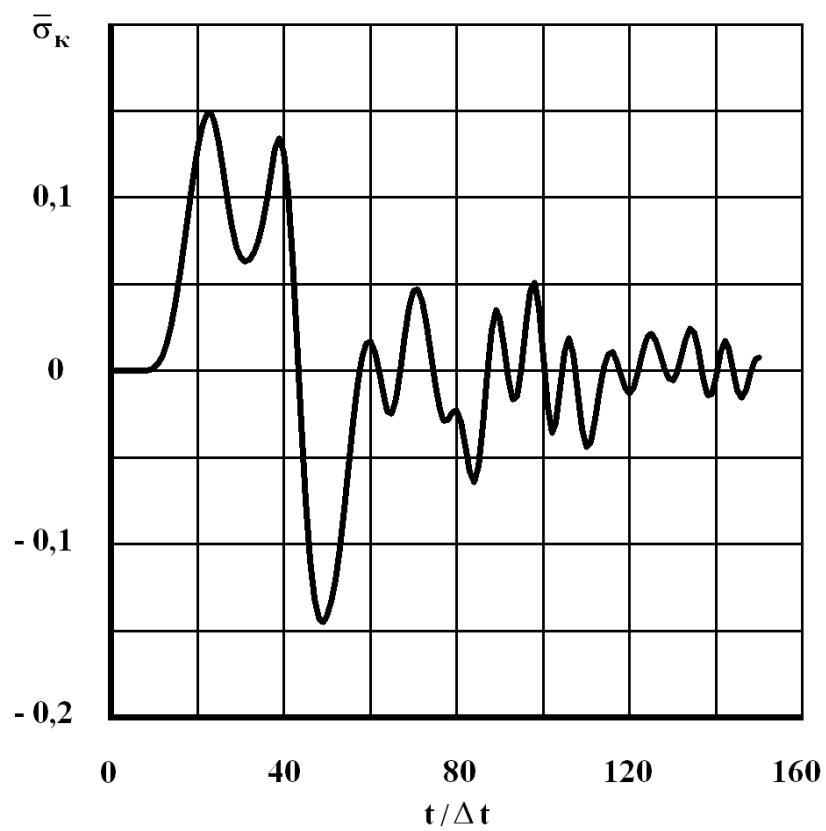


Рис. 24. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_K$ во времени $t/\Delta t$ в точке A3

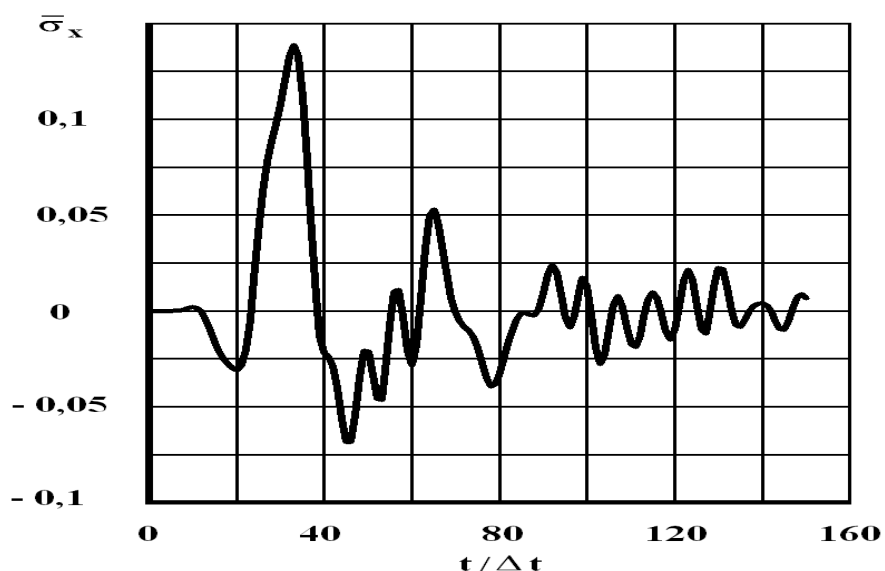


Рис. 25. Изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ во времени $t/\Delta t$ в точке **B1**

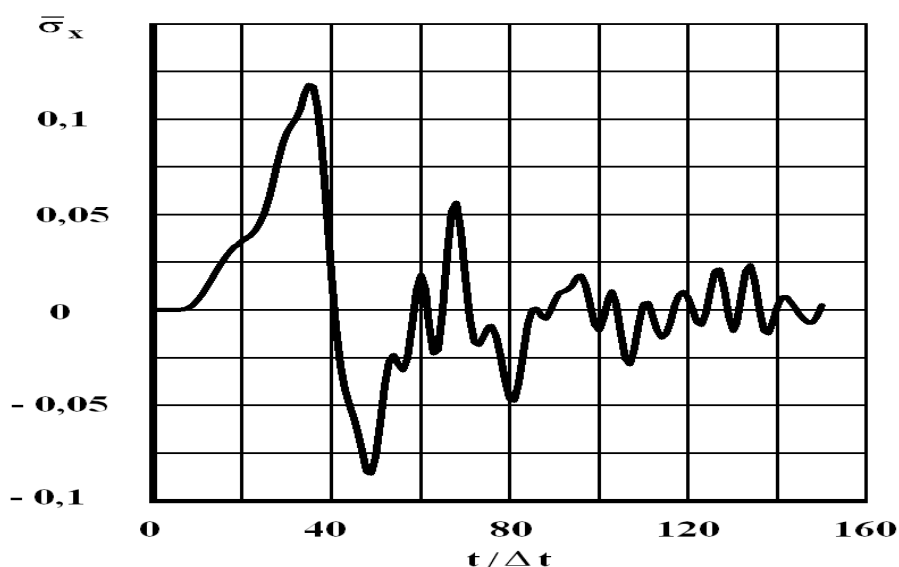


Рис. 26. Изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ во времени $t/\Delta t$ в точке **B2**

Результаты расчетов показаны на рис. 22–27.

На рис. 22–24 показано изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ ($\bar{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$) во времени n в точках A1–A3 (рис. 21), находящихся на свободной поверхности упругой полуплоскости.

На рис. 25–27 показано изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ ($\bar{\sigma}_x = \sigma_x / |\sigma_0|$) во времени n в точках B1–B3 (рис. 21), находящихся около свободной поверхности упругой полуплоскости.

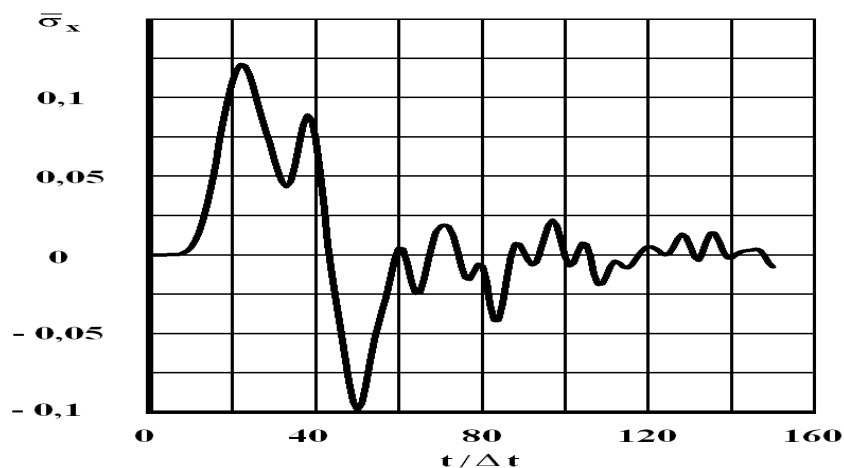


Рис. 27. Изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ во времени $t/\Delta t$ в точке **В3**

Растягивающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ от точки *A1* до точки *A3* изменяется от значения $\bar{\sigma}_k = 0,149$ до значения $\bar{\sigma}_k = 0,254$. Сжимающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ от точки *A1* до точки *A3* изменяется от значения $\bar{\sigma}_k = -0,141$ до значения $\bar{\sigma}_k = -0,149$.

Растягивающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ от точки *B1* до точки *B3* изменяется от значения $\bar{\sigma}_x = 0,121$ до значения $\bar{\sigma}_x = 0,138$. Сжимающее упругое напряжение $\bar{\sigma}_x$ от точки *B1* до точки *B3* изменяется от значения $\bar{\sigma}_x = -0,068$ до значения $\bar{\sigma}_x = -0,1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение в области обеспечения безопасности сложных и опасных объектов угледобывающих предприятий. Изложены научно обоснованные и технические решения, внедрение которых может внести значительный вклад в решении проблемы снижения числа чрезвычайных ситуаций на угледобывающих предприятиях, повышения безопасности их функционирования. Предложено новое направление в решении проблемы повышения эффективности и безопасности функционирования сложных и опасных объектов угледобывающих предприятий.

2. Произведен обобщенный анализ основных причин чрезвычайных ситуаций на угледобывающих предприятиях. Проанализированы стационарные и нестационарные процессы опасных и вредных факторов, которые оказывают негативное воздействие на безопасность функционирования исследуемых объектов.

3. Для исследования безопасности сложных объектов угледобывающих предприятий применяются вероятностные и детерминированные методы.

4. Установлено, что исследуемые случайные процессы стационарны и законы их распределения близки к нормальному закону. Корреляционные функции процессов изменения дебита вентиляционного воздуха и его температуры и работы добычных механизмов с высокой степенью точности описываются зависимостью ви-

да $D_x e^{-\alpha|\tau|}$. Они могут быть представлены суммой аналогичных экспонент. Процессы изменения запыленности рудничной атмосферы описываются экспоненциально-косинусоидальными корреляционными функциями.

5. Статические характеристики исследуемых объектов проветривания по каналу управления не линейны и весьма точно описываются корреляционными уравнениями второго порядка.

6. Для исследования динамических характеристики подобных объектов по газовому и пылевому фактору целесообразно использовать пассивные статистические методы исследований, по тепловому фактору – предпочтительными следует считать активные статистические методы, позволяющие получать наглядное представление о характере переходных процессов, протекающих в объекте.

7. Существующие в настоящее время методы и способы снижения интенсивности выделения разрабатываемыми угольными пластами метана в атмосферу горных выработок малоэффективны и дорогостоящие (например, предварительная дегазация угольных пластов путем бурения глубоких скважин и др.), и нуждаются в совершенствовании. Автором разработан и апробирован в условиях производства способ искусственного снижения интенсивности выделения метана в атмосферу горных выработок путем периодического орошения обнаженных поверхностей разрабатываемого угольного пласта, прилегающей породы, выработанных пространств и транспортируемого угля растворами быстровысыхающих смесей на основе поливинилацетатного клея, жидкого стекла и цемента. На данный способ автором получен патент Российской Федерации на изобретение.

8. Разработан способ повышения эффективности проветривания горных тупиковых выработок, основанный на использовании локальной системы автоматического управления и новой конструкции регулирующего устройства, позволяющего не только осуществлять плавное регулирование дебита воздуха, но и осуществить подачу максимально возможного количества воздуха для ее экстренного проветривания при чрезвычайных ситуациях. Способ не требует обязательного использования дополнительных источников тяги и соответствующих трубопроводов из жестких материалов. На данный способ получен патент Роспатент Российской Федерации соответствующая на изобретение.

9. Представлены результаты исследований взрывных воздействий на объекты угледобывающих предприятий, в которых ведутся работы с использованием взрывов. Эти исследования выполнены с помощью численного метода В.К. Мусаева в перемещениях.

10. Проведенные сопоставления с результатами других методов показали хорошие качественные и количественные результаты достоверности численного метода В.К. Мусаева в перемещениях.

11. Методика, алгоритм, комплекс программ и результаты решенных задач рекомендуются для использования в научно-технических организациях, специализирующихся в области расчета объектов угледобывающих предприятий при взрывных воздействиях.

12. Взрывное воздействие моделируется в виде дельта функции. Исследуемая расчетная область имеет 17112 узловых точек. Решается система уравнений из 68448 неизвестных. Получены напряжения в характерных точках на поверхности

упругой полуплоскости около объекта неглубокого заложения. Растягивающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = 0,254$. Сжимающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = -0,149$. Растягивающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x = 0,138$. Сжимающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x = -0,1$.

13. Результаты моделирования волновых взрывных воздействий, применяемых при проходке горных выработок буровзрывным способом, показали хорошие качественные и количественные результаты достоверности их численного моделирования в перемещениях по методу В.К. Мусаева.

14. Полученные результаты моделирования ударных волновых воздействий путем их численного моделирования по методу В.К. Мусаева можно оценить как первое приближение к решению сложной комплексной задачи оценки напряженно-го состояния объектов угледобывающих предприятий, в которых ведутся работы с использованием взрывов.

15. Анализ современных наиболее эффективных разновидностей систем автоматического управления показал, что многие из них, могут быть использованы для обеспечения безопасности угледобывающего предприятия. Однако более успешное решение проблемы может быть реализовано путем построения интеллектуальных систем управления комплексной безопасностью функционирования угледобывающих предприятий, синтезированных на основе современных информационных технологий.

16. Разработано портативное устройство защиты органов дыхания, защищенное патентом Российской Федерации на полезную модель. Подобное устройство более эстетично и удобно в сравнении с противогазом, характеризуется простотой в изготовлении, низкими стоимостными показателями и рекомендуется для обеспечения горнорабочих как разовое средство, защитное действие которого обеспечивает эффективную защиту органов дыхания в течение не более двух рабочих смен.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

ПУБЛИКАЦИИ В РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ И ИЗДАНИЯХ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ВЫСШЕЙ АТТЕСТАЦИОННОЙ КОМИССИЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

1. Олешко А.Я., Тахо-Годи А.З. К вопросу устойчивости и автономности многосвязной системы управления шахтным вентиляционным комплексом // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1968. – № 8. – С. 124–130.

2. Тахо-Годи А.З. Исследование влияния фактора вентиляции на динамику запыленности атмосферы добычного участка шахты // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1972. – № 4. – С. 57–61.

3. *Тахо-Годи А.З., Фролов М.А., Загороднюк В.Т.* Фотоэлектрический анализатор состава газовых сред. Авторское свидетельство СССР № 340946. БИ № 18. – 1972.

4. *Тахо-Годи А.З., Степанов В.И.* Роботы для условий повышенной опасности и вредности. – Тракторы и с.-х. машины. – 1989. – № 6. – С. 29–30.

5. *Тахо-Годи А.З., Загороднюк В.Т.* Лазерные системы управления мобильными роботами. – Тракторы и с.-х. машины. – 1989. – № 6. – С. 31–33.

6. *Тахо-Годи А.З.* Современные методологические аспекты управления безопасностью сложных технических систем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2006. – № 1. – С. 55–61.

7. *Тахо-Годи А.З.* О безопасности и эффективности управления сложными системами в условиях рыночных отношений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 4. – С. 32–37.

8. *Тахо-Годи А.З.* О фундаментальных закономерностях в области безопасности равновесных состояний // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 80–82.

9. *Тахо-Годи А.З.* Портативное устройство защиты органов дыхания. Патент Российской Федерации на полезную модель № 97927, зарегистрирован в Государственном реестре Российской Федерации от 27 сентября 2010 года.

10. *Тахо-Годи А.З.* Регулирующее устройство для систем вентиляции горных тупиковых выработок // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12 (часть 1). – С. 184–186;

URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=7981444 (дата обращения: 13.01.2012).

11. *Тахо-Годи А.З.* Результаты исследований эффективности способа снижения интенсивности выделения метана на участках шахт, опасных по газовому фактору // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4. – С. 145–149;

URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=7793652 (дата обращения: 13.01.2012).

12. *Тахо-Годи А.З.* Результаты исследований статических и динамических характеристик шахтных объектов автоматизации проветривания // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 2. – С. 158–163.

13. *Тахо-Годи А.З.* Способ улучшения газовой динамики выемочных участков газообильных угольных шахт для решения задачи синтеза эффективной системы управления проветриванием. Патент Российской Федерации на изобретение № 2435963 по заявке № 2009133319/03(046839). Опубликовано 10.12.2011 г. Бюллетень изобретений № 34.

14. *Тахо-Годи А.З.* Повышение безопасности ведения горных работ с использованием взрывов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – С. 138–140;

URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=7981918 (дата обращения: 13.01.2012).

ПУБЛИКАЦИИ В ДРУГИХ ИЗДАНИЯХ

1. *Портной Н.Я., Тахо-Годи А.З.* Упрощенный метод определения параметров корреляционных функций некоторого класса случайных процессов // Приборы и устройства автоматики. Труды Новочеркасского политехнического института. – Новочеркасск: Новочеркасский политехнический институт. – 1970. – Т. 222. – С. 63–68.

2. *Тахо-Годи А.З., Фролов М.А.* Исследование режимов запыленности очистных забоев угольных шахт // Промышленная гидро-аэродинамика. Труды Новочеркасского политехнического института. – Новочеркасск: Новочеркасский политехнический институт. – 1971. – Т. 226. – С. 38–46.

3. *Тахо-Годи А.З.* Исследование динамических свойств добычного участка шахты как объекта автоматизации проветривания по тепловому фактору // Автоматизация горных машин. Труды Новочеркасского политехнического института. – Новочеркасск: Новочеркасский политехнический институт. – 1971 – Т. 226. – С. 131–139.

4. *Тахо-Годи А.З., Фролов М.А.* Исследование влияния работы добычного механизма на запыленность рудничной атмосферы // Техника безопасности и горноспасательное дело. Реферативный сб. – М.: ЦНИИЭИУголь. – 1971. – № 6. – С. 5–7.

5. *Тахо-Годи А.З., Фролов М.А.* Математическая модель очистного забоя негазовой угольной шахты как объект автоматизации проветривания // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания «Совершенствование проветривания шахт». – Новочеркасск: Новочеркасский политехнический институт. – 1972. – С. 79–82.

6. *Тахо-Годи А.З., Фролов М.А.* К вопросу автоматизации проветривания шахт по пылевому фактору // Борьба с силикозом. Сб. научных трудов АН СССР. – М.: Недра, 1974. – С. 37–42.

7. *Тахо-Годи А.З.* К построению математических моделей техногенно-опасных объектов // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2004. – С. 65–68.

8. *Тахо-Годи А.З., Тахо-Годи Г.А., Фролов А.В.* Формализация процедуры расчета коэффициентов влияния математической модели безопасности функционирования сложных технических систем // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2004. – С. 365–368.

9. *Тахо-Годи А.З., Тахо-Годи Г.А.* Оптимальное управление безопасностью сложных человеко-машинных систем // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2005. – С. 154–158.

10. *Тахо-Годи А.З., Генева В.А., Тахо-Годи Г.А.* Методы построения моделей контроля и диагностирования сложных объектов автоматизации // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2005. – С. 158–160.

11. *Тахо-Годи А.З., Тахо-Годи Г.А.* К прогнозированию безопасности сложных технических объектов // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Выпуск VII. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2005. – С. 164–168.

12. *Тахо-Годи А.З.* Формирование структуры системы управления безопасностью сложного и опасного объекта // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XIII Международной конференции. – М.: РГГУ, 2005. – С. 60–64.

13. *Тахо-Годи А.З., Тахо-Годи Г.А.* Выбор критерия оптимальности управления безопасностью сложного объекта // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XIV Международной конференции. – М.: РГГУ, 2006. – С. 364–365.
14. *Тахо-Годи А.З.* О разработке и создании автоматических систем управления безопасностью шахт // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 1. – С. 62–63.
15. *Тахо-Годи А.З.* О некоторых критериях прогнозирования безопасности сложных объектов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 3. – С. 77.
16. *Тахо-Годи А.З.* О прогнозировании антропогенной безопасности на некоторых добывающих предприятиях энергетики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 1. – С. 65–66.
17. *Тахо-Годи А.З.* О состоянии проблемы и разработки методики экологической безопасности шахт // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 2. – С. 73–74.
18. *Тахо-Годи А.З.* Методы, средства и проблемы управления безопасностью сложных систем. – Ростов-на-Дону: МП Книга. – 2009. – 370 с.
19. *Тахо-Годи А.З.* Об организации эффективного управления вентиляцией газообильных шахт // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2009. – С. 196–199.
20. *Тахо-Годи А.З.* Сложные системы и некоторые аспекты их безопасности // Научный журнал проблем комплексной безопасности. – 2009. – № 1. – С. 15–23.
21. *Тахо-Годи А.З.* Современные методы анализа и управления безопасностью сложных систем // Научный журнал проблем комплексной безопасности. – 2009. – № 1. – С. 28–37.
22. *Тахо-Годи А.З.* Еще раз к проблеме глобального потепления // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2010. – С. 329–333.
23. *Тахо-Годи А.З.* Управление эффективностью и безопасностью угледобывающего предприятия на основе современных информационных технологий // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XVIII Международной конференции. – М.: РГГУ, 2010. – С. 344–349.
24. *Тахо-Годи А.З., Никитин К.Н.* Устройство защиты органов дыхания // Размышления о публичной безопасности. Материалы Международной научной конференции. – Зеленая Гура, Польша: Западная высшая школа торговли и международных финансов, 2010. – С. 253–255.
25. *Мусаев В.К., Соловьев А.А., Тахо-Годи А.З., Новиков В.В., Зайцева Е.А.* Об экологической защите среды обитания человека // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XII. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2010. – С. 277–283.
26. *Мусаев В.К., Тахо-Годи А.З., Соколова Е.Г., Немчинов В.В., Доронин Ф.Л.* О надежности строительных сооружений // Безопасность и экология технологических

процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2011. – С. 103–108.

27. *Тахо-Годи А.З.* Способ искусственного снижения интенсивности выделения метана в атмосферу горных выработок разрабатываемыми угольными пластами, прилегающей породой и транспортируемым углем. Практические рекомендации. – Ростов-на-Дону: МП Книга. – 2011. – 10 с.

28. *Тахо-Годи А.З., Ситник С.В., Куранцов В.В., Кормилицин А.И., Акатьев С.В.* Достоверность результатов численного метода Мусаева В.К. в перемещениях при решении задачи об отражении упругих волн напряжений в виде дельта функции от свободной поверхности // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XIII. Т. 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2011. – С. 280–284.

29. *Тахо-Годи А.З.* О методе решения нестационарных волновых задач с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2012. – С. 73–78.

30. *Тахо-Годи А.З.* Моделирования волновых напряжений при взрывном воздействии в объектах угледобывающих предприятий с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2012. – С. 78–85.

31. *Тахо-Годи А.З.* Мехатронные системы с нечеткой логикой для управления безопасностью сложных и опасных объектов угледобывающих предприятий // Безопасность и экология технологических процессов и производств. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2012. – С. 306–310.

32. *Тахо-Годи А.З.* К проблеме снижения вероятности чрезвычайных ситуаций на угледобывающих предприятиях опасных по газовому фактору // Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы безопасности и защиты населения и территорий от ЧС». – Уфа: УГАТУ, 2012. – Т. 2. – С. 118–125.

33. *Тахо-Годи А.З.* Анализ волновых взрывных воздействий при ведении горных работ и их моделирование по методу В.К. Мусаева // Сб. трудов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в развитии строительства, машин и механизмов для строительства и коммунального хозяйства». – Смоленск: Смоленский филиал Московского государственного университета путей сообщения, 2012. – С. 497–503.

34. *Тахо-Годи А.З., Денисенков А.Н., Суцев Т.С., Тарасенко А.А., Юзбеков Н.С.* Моделирование с помощью численного метода В.К. Мусаева в перемещениях задачи о воздействии взрывной волны в сооружении неглубокого заложения на окружающую среду с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к четырем) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность и экология технологических процессов и производств. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный уни-

верситет, 2013. – С. 469–474.

35. *Тахо-Годи А.З., Денисенков А.Н., Суцев Т.С., Тарасенко А.А., Юзбеков Н.С.* О моделировании с помощью численного метода В.К. Мусаева в перемещениях внешнего взрывного воздействия на сооружение неглубокого заложения с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пяти) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность и экология технологических процессов и производств. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2013. – С. 525–530.

36. *Тахо-Годи А.З., Брилевская Е.В., Скларова Е.В., Ситник С.В., Юзбеков Н.С.* О приоритетах оценки безопасности сложных технических систем // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность и экология технологических процессов и производств». – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2013. – С. 542–550.

ТАХО-ГОДИ АРКАДИЙ ЗЯМОВИЧ (РОССИЯ)

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение в области обеспечения безопасности сложных и опасных объектов угледобывающих предприятий. Изложены научно обоснованные и технические решения, внедрение которых может внести значительный вклад в обеспечении безопасности сложных и опасных объектов угледобывающих предприятий при техногенных чрезвычайных ситуациях. Предложено новое направление в решении проблемы повышения эффективности и безопасности функционирования угледобывающих предприятий. Вероятностными методами исследуются статические и динамические характеристики опасных и вредных факторов угледобывающих предприятий. В данном случае опасными факторами являются метан, угольная и породная пыль, температура и влажность рудничного воздуха. Их воздействие при определенных условиях являются причиной многочисленных аварий и чрезвычайных ситуаций. Установлено, что газодинамические характеристики объектов шахтной вентиляционной сети могут быть преобразованы в обычные линейные сети. Автором разработан способ снижения интенсивности выделения метана в атмосферу горных выработок. Приведены результаты численного моделирования волновых взрывных воздействий на объекты угледобывающих предприятий, использующих взрывы. Разработаны более совершенные способы и технические средства снижения интенсивности воздействий ударной взрывной волны. Получены соотношения, которые позволяют найти оптимальные по безопасности места для укрытия рабочих во время проведения взрывных работ. Разработана структура интеллектуальной системы автоматического управления комплексной безопасностью сложных и опасных объектов, синтезированная на основе современных информационных технологий.

TACHO-GODI ARKADIY ZAYMOVICH (RUSSIA)

SECURITY MANAGEMENT OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

Solved scientific problem that is of significant economic value the security of complex and dangerous objects of the coal-mining enterprises. Presentation of scientifically-based and technical solutions, the implementation of which can make a significant contribution to ensuring security of complex and dangerous objects of the coal-mining enterprises with man-made emergency situations. Proposed new direction in solving the efficiency and safety of the coal-mining enterprises. Probabilistic methods are investigated both static and dynamic characteristics of hazardous and harmful factors of the coal-mining enterprises. In this case, the hazards are methane, coal and pedigree dust, temperature and humidity mine air. Their influence under certain conditions are the cause of numerous accidents and emergency situations. It is established that gas-dynamic characteristics of objects of mine ventilation network can be converted into ordinary linear network. The author has developed a way to reduce the intensity of methane in the atmosphere of mountain developments. The results of numerical modeling of wave explosive impacts on objects of the coal-mining enterprises using explosions. The development of improved methods and technical means of reducing the intensity of the effects of the shock of the blast wave. Relationships are obtained, which allow to find optimal security designated for shelter workers when blasting is in progress. The structure of intellectual systems of automatic control of the integrated safety and security of complex and dangerous objects, synthesized on the basis of modern information technologies.

Тахо-Годи Аркадий Зямович

**УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Автореферат

Подписано в печать 09.07.2013.

Формат 84×60¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография
Усл. печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 48-4993.

Отпечатано в ИД «Политехник»
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
idr-npi@mail.ru