

*На правах рукописи*



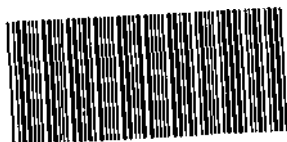
**Абдрахманов Марат Ильдусович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ  
ШАХТ НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА  
ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ  
СМЕСИ**

25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая  
и строительная)»

6 ИЮН 2013

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



005060871

Екатеринбург – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».


- Научный руководитель** - доктор технических наук, профессор  
Лапин Эдуард Самуилович
- Официальные оппоненты** - доктор технических наук, профессор  
Корнилов Михаил Викторович,  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный  
горный университет», зав. кафедрой шахт-  
ного строительства;  
кандидат технических наук Аксенов Ана-  
толий Аркадьевич, Уральский филиал  
научно-исследовательского института гор-  
ной геомеханики и маркшейдерского дела  
(ВНИМИ), заведующий лабораторией.
- Ведущая организация** - Учреждение Федерации Независимых  
Профсоюзов России - "Научно-  
исследовательский институт охраны труда  
в г. Екатеринбурге"

Защита диссертации состоится 27 июня 2013 в 14-00 часов в ауд. 2142 на заседании диссертационного совета Д 212.280.02, созданного на базе в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», по адре-су: 620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Автореферат разослан «24» мая 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Багазеев В. К.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Современная добыча угля практически не обходится без дегазации. Поэтому изучение вопроса поиска способа повышения эффективности работы дегазационной системы шахты является важным при разработке и исследовании методов и способов подготовки массива горных пород. При этом совершенно очевидно, что одним из способов повышения эффективности процесса дегазации является развертывание современных средств контроля технических и технологических параметров дегазационной системы шахты, позволяющих принимать оптимальные решения в отношении режимов работы всех инженерно-технических сооружений.

Представленная диссертационная работа предполагает разрешение ряда научных и практических задач в области исследований "Разработка и исследование методов и способов подготовки массива горных пород при освоении георесурсов", предусмотренных специальностью 25.00.22 - "Геотехнология (подземная, открытая и строительная)".

Наиболее высокая изученность горно-геологических и горнотехнических условий месторождения необходима при его освоении и соответствующем расположении горных выработок, параметры которых определяют следующие факторы: физико-механические свойства массива пород; гидрогеологические характеристики массива; горные факторы; технологические факторы.

Наиболее важными и актуальными эти знания являются для так называемых сложных условий. Сложными горно-геологическими условиями принято считать такие, при которых строительству подземных объектов предшествует применение различных дополнительных специальных работ. Их можно подразделить на гидрогеологические, геомеханические и газодинамические, и в связи с тем, что сложные горно-геологические условия характеризуются различными типами состояний, необходимо применение способов, позволяющих путем соответствующих воздействий придавать массиву требуемые свойства, т.е. проводить подготовку массива горных пород для получения заданного качества и изменять его физико-механические свойства, тем самым ограничив или полностью исключив трудности, возникающие при строительстве подземных объектов.

Представленная диссертация посвящена повышению эффективности работы дегазационной системы шахты, призвана по возможности существенно улучшить газодинамические условия подготовки и освоения массива горных пород, что является актуальной темой исследования.

Первые исследования по дегазации как важному элементу газовой разгрузки пласта появились в 60-х годах XX века в работах таких авторов как Скляр Л. А., Кухарский М.П., Лаврик В. Г, Ермеков М. А, Леоненко И.А., Багринцева К.И.

В дальнейшем дегазация рассматривалась как один из этапов подготовки участка угольного пласта перед непосредственной выемкой, а также как источник газа, потенциально пригодного для использования. Развитием и совершенствованием технологии дегазации занимались такие ученые как Садчиков В. А., Касимов О. И., Иванов В. М., Верзилов М. И., Бочаров А. Н., Бырька В. Ф., Местер И. М., Фельдман Л. П., Ходот В.В., Бондаренко Н. В., Кременчужский Н. Ф., Айруни А. Т., Иофис М. А. и многие другие. В последние годы развитием направления дегазации занимались Рубан А.Д., Забурдяев В.С., Забурдяев Г.С., Звягильский Е.Л., Трубецкой К.Н. и другие.

**Объект исследования** - дегазационные системы угольных шахт.

**Предмет исследования** – процесс транспортирования метановоздушной смеси.

**Цель исследования** - повышение эффективности дегазации угольной шахты на основе непрерывного мониторинга процесса транспортирования метановоздушной смеси.

**Научная идея** - повышение эффективности дегазации угольной шахты за счет принятия оперативного управленческого решения на основе непрерывного мониторинга процесса транспортирования метановоздушной смеси.

**Задачи.** Задачами диссертационной работы являются:

1. Анализ современного состояния дегазационных систем угольных шахт, методы оценки, критерии и показатели их работы.

2. Определение основных технологических параметров транспортируемой в дегазационной сети метановоздушной смеси, а также разработка методов и способов их сбора и анализа с учетом особенностей работы современной угольной шахты.

3. Моделирование работы и разработка системы диагностики газотранспортных сетей дегазационных систем угольных шахт.

4. Разработка системы непрерывного мониторинга параметров транспортируемой метановоздушной смеси в дегазационной сети шахты.

**Методы исследований.** В диссертационной работе были использованы такие методы исследования, как анализ, классификация, моделирование, наблюдение, реальный шахтный эксперимент.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Повышение надежности и эффективности работы элементов дегазационной системы шахты достижимо за счет непрерывного технологического контроля и диагностики в соответствии с предлагаемыми структурными и схемными решениями.

2. Наиболее полно описывают работу дегазационной системы угольной шахты и подлежат обязательному контролю группы параметров: технологические параметры транспортируемой метановоздушной смеси и параметры работы основного и вспомогательного технологического оборудования.

3. Программные и технические решения, на базе которых построена система непрерывного технологического контроля параметров дегазационной системы шахты, обеспечивают достаточный уровень надежности, масштабируемости и гибкости для эксплуатации в современной угольной шахте.

**Научная новизна:**

1. Установлены закономерности (изменение давления и дебита метановоздушной смеси во времени в газотранспортной сети дегазационной системы угольной шахты) на базе которых построена математическая модель процесса транспортирования метановоздушной смеси.

2. Разработана диагностическая система газотранспортной сети дегазационной системы угольной шахты.

3. Разработаны теоретические основы для построения системы непрерывного мониторинга параметров дегазационной системы шахты.

**Достоверность научных положений и выводов** подтверждается тем, что созданная информационная система непрерывного контроля параметров транспортируемой метановоздушной смеси нашла широкое применение на угольных шахтах Российской Федерации, что является свидетельством корректности заложенных в ее основу теоретических положений.

**Практическая ценность работы.** Подготовка угольного массива с использованием средств дегазации перед непосредственной добычей позволяет значительно повысить безопасность работы персонала шахты, а также снизить

затраты на обслуживание оборудования за счёт уменьшения частых остановок, связанных с повышенной метанообильностью.

Повышение эффективности процесса дегазации окажет влияние на скорость подготовки угольного массива перед его выемкой. За счет использования непрерывного технологического контроля параметров транспортируемой метановоздушной смеси снизятся затраты на проведение вакуумно-газовых съемок, будет обеспечена оперативность выявления неисправностей в системе дегазации и повышена вероятность обнаружения аномалий в ее работе.

Система диагностики газотранспортной сети дегазационной системы шахты позволит распознавать нарушения в ее (сети) работе на раннем этапе их зарождения, что даст возможность провести профилактические мероприятия без значительных затрат.

Кроме того, в работе показано, что грамотное использование шахтного метана является экономически и экологически целесообразным.

#### **Реализация результатов.**

Результаты исследований были использованы при разработке технического и программного обеспечения для решения таких задач, как:

- контроль параметров газовой смеси (концентрации, разрежения, дебита) на всем пути ее прохождения от скважины до потребителя (или свечи), контроль состояния отдельных звеньев вакуум-насосной станции (технологическое оборудование, атмосфера в здании);

- управление элементами вакуум-насосной станции (пуск/остановка вакуум-насосов, пуск/остановка водяных насосов, запорная арматура);

- защита технологического оборудования, а также защита потребителя от подачи смеси с параметрами, не отвечающими требованиям нормальной эксплуатации оборудования.

В настоящее время оборудование внедрено и успешно работает на шахтах ОАО «Прокопьевскуголь» (ш. Зиминка, ш. Красногорская), ОАО «Воркутауголь» (ш. Северная, ш. Воркутинская), ОАО «Шахта Заречная», ОАО «Распадская», ОАО «ОУК «Южжубассуголь» (ш. Усковская, ш. Абашевская, ш. Есаульская, ш. Кушеяковская, ш. Алардинская, ш. Осинниковская), ш. Полосухинская.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе проведен анализ современного состояния и методов оценки дегазационных систем угольных шахт. Отмечено, что условия, в которых осуществляется подготовка участка угольного пласта, значительно влияют на протекание процесса дегазации, а также определяют структуру системы, обслуживающей данный процесс. В связи с этим была проведена классификация факторов, влияющих на работу дегазационной системы (см. таблицу).

Рассмотрены различные методы оценки, критерии и показатели работы дегазационной системы угольной шахты. Предложена классификация критериев применения и эффективности использования данной системы.

Важным вопросом в обеспечении работы является дальнейшее использование метана, откачиваемого в ходе процесса дегазации. В работе приведен обзор различных решений, касающихся утилизации метана.

**Классификация факторов, влияющих на протекание процесса дегазации**

| Факторы             |                                 |  |   |
|---------------------|---------------------------------|--|---|
| горно-геологические |                                 |  | Горнотехнические  |
| свойства угля       | свойства горной породы          | особенности залегания угольного пласта |   |
| Газоносность        | Газопроницаемость               | Угол залегания угольного пласта        | Система разработки  |
| Газопроницаемость   | Крепость                        | Мощность угольного пласта              | Продолжительность ведения дегазационных работ             |
| Крепость            | Водообильность                  | Мощность вмещающих пород               | Стадия проведения горных работ                            |
| Водообильность      | Водообильность угольного пласта | Мощность пластов спутников             | Расстояние от выработки до дегазируемого угольного пласта |
|                     |                                 | Давление в горном массиве              | Геометрические параметры выработки                        |
|                     |                                 |  | Схема проветривания                                       |
|                     |                                 |  | Разрежение, создаваемое в скважинах                       |

Во второй главе производится анализ типовых групп скважин, газопроводной сети и вакуум-насосной станции, развертываемых при подготовке массива угля и в процессе его выемки, с выделением входных и выходных параметров, на основе которых можно судить о работоспособности и эффективности рассматриваемых узлов дегазационной системы шахты. Для этого предлагаются следующие типовые структуры элементов дегазационной системы, представленные на рис. 1-3.

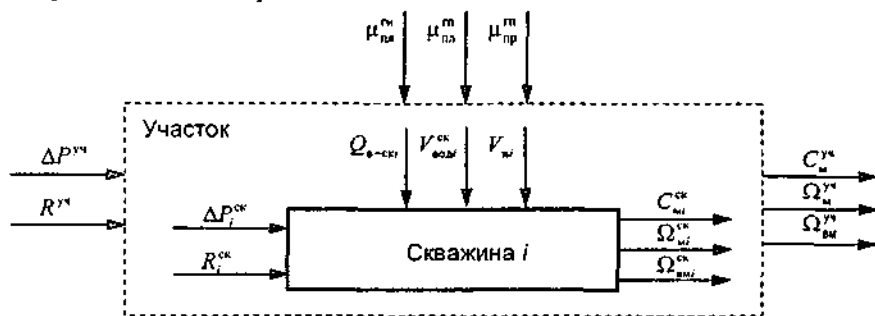


Рисунок 1 – Схема скважин, расположенных на участке

Входными технологическими параметрами скважины являются:  $\Delta P^{уч}$  - разрежение, создаваемое ВНС в начале участка;  $R^{уч}$  - сопротивление участка;  $\Delta P_i^{ск}$  - разрежение у устья  $i$ -й скважины;  $R_i^{ск}$  - сопротивление устья  $i$ -й скважины;  $Q_{в-ск}$  - величина подсосов воздуха в  $i$ -ю скважину;  $\mu_{пл}^м$  - газоносность участка дегазируемого угольного пласта;  $\mu_{пл}^г$  - газопроницаемость участка угольного пласта;  $\mu_{пр}^м$  - газопроницаемость породы участка;  $V_{вод}^{ск}$  - водообильность  $i$ -й скважины;  $V_{тв}$  - твёрдая фракция в составе газозвушной смеси, извлекаемой из  $i$ -й скважины.

В качестве основных выходных параметров скважины можно выделить:  $C_m^{уч}$  - концентрация метана в смеси, извлекаемой с участка;  $\Omega_m^{уч}$  - дебит метана на участке;  $\Omega_{ам}^{уч}$  - расход метановоздушной смеси на участке;  $C_m^{ск}$  - концентрация метана в смеси, извлекаемой из  $i$ -й скважины;  $\Omega_m^{ск}$  - дебит метана из  $i$ -й скважины;  $\Omega_{ам}^{ск}$  - расход метановоздушной смеси из  $i$ -й скважины.

Входными технологическими параметрами газотранспортной системы являются:  $\Delta P^{ВНС}$  - разрежение, создаваемое ВНС;  $R_i^{уч}$  - сопротивление  $i$ -го участка



газопровода;  $Q_{a-00i}$  - величина подсосов воздуха на  $i$ -м участке газопровода;  $V_{\text{вод}}^{\text{TP}}$  - количество воды, проходящее на  $i$ -м участке газопровода;  $V_i^{\text{об}}$  - количество твёрдой фракции в составе газозвушной смеси, проходящей на  $i$ -м участке газопровода.

Выходным параметром газотранспортной системы является  $\Delta P_i^{\text{ВНС}}$  - разрежение, создаваемое ВНС на выходе с участка газопровода.



Рисунок 2 – Схема элементов газотранспортной системы шахты

Основными входными технологическими параметрами вакуум-насосной станции (ВНС) являются:  $R^{\text{в}}$  - сопротивление всасывающего трубопровода ВНС;  $n_n$  - количество одновременно включенных вакуум-насосов;  $R_i^{\text{ш}}$  - сопротивление шунтирующего трубопровода  $i$ -й ВНУ;  $Q_{a-i}$  - величина подсосов воздуха  $i$ -й ВНУ.

К выходным параметрам можно отнести:  $\Delta P^{\text{внс}}$  - разрежение, создаваемое ВНС;  $\Delta P_i^{\text{вну}}$  - разрежение, создаваемое отдельной ВНУ.

Дополнительно необходимо выделить параметры состояния оборудования:  $T_i$  - температура подшипников двигателя и вакуум-насоса  $i$ -й ВНУ;  $\nu_i$  - вибрация  $i$ -й ВНУ.



Рисунок 3 – Технологические параметры вакуум-насосной станции

Базовый список параметров, характеризующих состояние транспортируемой метановоздушной смеси, и, как следствие, состояние дегазационной системы, сводится к следующим: концентрация метана, абсолютное давление, температура, скорость потока смеси (либо дифференциальное давление, снимаемое с сужающего устройства). Набор этих технологических параметров позволяет решить главную задачу – рассчитать дебит метана и расход метановоздушной смеси.

Среди рассмотренных в работе методов контроля базовых параметров не все приемлемы для использования в системах дегазации. Ограничения, обусловленные особенностями объекта, значительно сужают список устройств, потенциально пригодных для применения по своим характеристикам и принципам, положенным в основу измерения. Основными требованиями являются: наличие разрешительных документов на применение приборов в шахтах, опасных по газу и пыли, низкое энергопотребление, малые габариты, антивандальное исполнение.

На сегодняшний день измерения в большей своей массе производятся вручную, с помощью переносных измерительных приборов. Это имеет три основных недостатка: значительная погрешность измерения, так как информация с прибора воспринимается человеком; данные от приборов поступают с большой задержкой по времени и непостоянно; высокая сложность обработки данных и, как следствие, невозможность заблаговременного выявления нарушений.

Также необходимо отметить, что не все рекомендуемые и изучаемые методы расчета величины дебита метана и расхода метановоздушной смеси удобны для непрерывного технологического контроля ввиду их громоздкости и необходимости проведения «ручной» работы (работа с номограммами).

Рекомендуемые и применяемые методики оценки состояния элементов дегазационной системы шахты предполагают длительный межконтрольный период, что определяется применяемой для этих целей аппаратурой. Такой подход позволяет выявить факт нарушения в работе системы, но полная и непрерывная диагностика работы дегазационной системы шахты таким образом не может быть осуществлена, и, как следствие этого, если необходимо (а это зачастую именно так), на шахте требуется непрерывный текущий контроль основных технологических параметров дегазационной системы, что требует, в свою очередь, создания нового типа контролирующей аппаратуры.

В третьей главе предлагается вариант построения математической модели газотранспортной сети дегазационной системы шахты. Модель представляет собой совокупность обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, коэффициенты которых могут быть рассчитаны по величинам, поддающимся непосредственному измерению.

Модель описывает процессы изменения давления и дебита метановоздушной смеси на участке дегазационного трубопровода:

$$a_{11} \frac{dP_{\text{вх}}(t)}{dt} + a_{12} P_{\text{вх}}(t) = b_{11} P_{\text{вх}}(t);$$

$$a_{21} \frac{dQ_{\text{вх}}(t)}{dt} + a_{22} Q_{\text{вх}}(t) = b_{21} Q_{\text{вх}}(t),$$

где  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $b_{11}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{22}$ ,  $b_{21}$  – коэффициенты, зависящие от конструктивных параметров трубопровода и физико-химических свойств транспортируемой смеси;

$P_{\text{вх}}$  – давление на входе трубопровода;

$P_{\text{вых}}$  – давление на выходе трубопровода;

$Q_{\text{вх}}$  – дебит метановоздушной смеси на входе трубопровода;

$Q_{\text{вых}}$  – дебит метановоздушной смеси на выходе трубопровода.

Согласно проведённым автором работы исследованиям уравнения могут быть представлены в виде:

$$T^P \frac{dP_{\text{вх}}(t)}{dt} + P_{\text{вх}}(t) = k^P P_{\text{вх}}(t),$$

где  $T^P$  – постоянная времени трубопровода,  $T^P = \frac{V_T}{3 \cdot U}$ ;

$k^P$  – передаточный коэффициент,  $k^P = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$ ;

$U$  – сопротивление трубопровода;

$$U = \frac{10}{\eta^{1/7} \cdot \rho_1^{3/7}} \cdot \frac{R^{19/7}}{L^{4/7}} \cdot (P_1^2 - P_2^2)^{4/7},$$

где  $\rho_1$  – плотность газа при давлении (101300 Па);

$L$  – длина трубопровода;

$P_1, P_2$  – давление в конце и в начале трубопровода.

$$T^Q \frac{dQ_{\text{вх}}(t)}{dt} + Q_{\text{вх}}(t) = k^Q Q_{\text{вх}}(t),$$

где  $k^{\varrho}$  - передаточный коэффициент,  $k^{\varrho} = \frac{Q_{\text{вык}}}{Q_{\text{вх}}}$ ;

$T^{\varrho}$  - постоянная времени трубопровода,  $T^{\varrho} = \frac{V_T}{3 \cdot U}$ .

Повышение надежности работы дегазационной системы шахты возможно только при проведении своевременной диагностики её ключевых компонентов, одним из которых является газотранспортная сеть. Диагностическая система позволяет предупредить возможные неисправности газотранспортной сети и решить задачу прогноза. Для построения такой системы в первую очередь необходимо выделить диагностические признаки, которые определяют качество работы сети, и разработать алгоритм распознавания состояния объекта в пространстве этих признаков.

Структура диагностической системы представлена на рис. 4.

Данные от системы контроля объекта диагностики поступают в блок первичной обработки диагностической модели, в котором производится фильтрация входных значений. После первичной обработки данные используются для вычисления диагностических признаков и расчёта эталонных значений в математической модели. Результатом работы блока классификации является оценка текущего состояния объекта. В итоге на основании полученной информации принимаются те или иные управленческие решения.

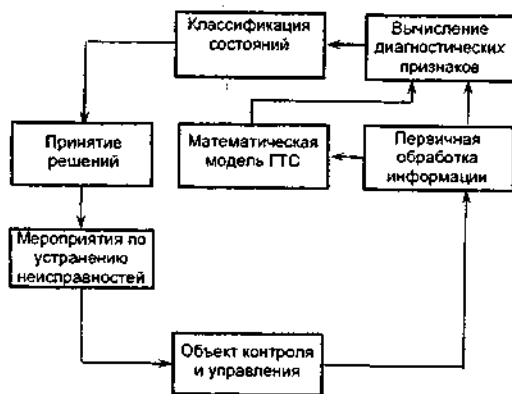


Рисунок 4 – Структурная схема диагностической системы ГТС – газотранспортная сеть дегазационной системы шахты

Состояние каждого участка газотранспортной сети характеризуется шестью диагностическими признаками. Они могут быть определены по формулам, приведенным ниже.

$$k_1 = (p_{нi} - p'_{кi}) - (p_{кi} - p'_{нi}),$$

где  $k_1$  - диагностический признак по давлению;  
 $p_{нi}, p'_{кi}$  - значения давления в начале и в конце  $i$ -го участка;  
 $p'_{нi}$  - рассчитанное значение давления в конце участка.

$$k_2 = Q_i - Q_i',$$

где  $k_2$  - диагностический признак по расходу МВС;  
 $Q_i, Q_i'$  - расход метановоздушной смеси в начале и в конце  $i$ -го участка.

$$k_3 = T_i - T_i',$$

где  $k_3$  - диагностический признак по температуре;  
 $T_i, T_i'$  - температура в начале и в конце  $i$ -го участка.

$$k_4 = C_{i,CH_4} - C'_{i,CH_4},$$

где  $k_4$  - диагностический признак по концентрации метана;  
 $C_{i,CH_4}, C'_{i,CH_4}$  - концентрация метана в начале и в конце  $i$ -го участка.

$$k_5 = \rho_i - \rho_i',$$

где  $k_5$  - диагностический признак по плотности МВС;  
 $\rho_i, \rho_i'$  - плотность МВС в начале и в конце  $i$ -го участка.

$$k_6 = \mu_i - \mu_i',$$

где  $k_6$  - диагностический признак по динамической вязкости МВС;  
 $\mu_i, \mu_i'$  - динамическая вязкость смеси в начале и в конце  $i$ -го участка.

В блоке "Классификация состояний" производится распознавание текущего состояния системы.

Объект диагностики может находиться в одном из состояний, которые составляют множество  $\bar{Z} = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5\}$ .

$Z_1$  - нормальная работа;  $Z_2$  - механические повреждения или скопление жидкой/твёрдой фракции (функционирование с нарушениями);  $Z_3$  - механические повреждения или скопление жидкой/твёрдой фракции (отказ);  $Z_4$  - разгерметизация участка (функционирование с нарушениями);  $Z_5$  - разгерметизация участка (отказ).

Для каждого параметра необходимо ввести две границы:  $A$  – предаварийная граница,  $D$  – аварийная граница.

Каждый из классов множества  $\bar{Z}$  определяется через функциональную зависимость  $Z_i = g_i(k_1, k_2, k_3, k_4, k_5)$ .

$$Z_1 = \begin{cases} k_1 < A_1 \\ k_2 > A_2 \\ k_3 < A_3 \\ k_4 < A_4 \\ k_5 > A_5 \\ k_6 > A_6 \end{cases}; Z_2 = \begin{cases} k_1 \geq A_1; k_1 < D_1 \\ k_2 = \forall \\ k_3 = \forall \\ k_4 = \forall \\ k_5 = \forall \\ k_6 = \forall \end{cases}; Z_3 = \begin{cases} k_1 \geq D_1 \\ k_2 = \forall \\ k_3 = \forall \\ k_4 = \forall \\ k_5 = \forall \\ k_6 = \forall \end{cases}; Z_4 = \begin{cases} k_1 = \forall \\ k_2 \leq A_2; k_2 > D_2 \\ k_3 \geq A_3; k_3 < D_3 \\ k_4 \geq A_4; k_4 < D_4 \\ k_5 \leq A_5; k_5 > D_5 \\ k_6 \leq A_6; k_6 > D_6 \end{cases}; Z_5 = \begin{cases} k_1 = \forall \\ k_2 \leq D_2 \\ k_3 \geq D_3 \\ k_4 \geq D_4 \\ k_5 \leq D_5 \\ k_6 \leq D_6 \end{cases}$$

Признаки, составляющие множество  $\bar{K}$ , являются детерминированными, их можно рассматривать как координаты в шестимерном пространстве признаков. Для решения задачи принадлежности текущего состояния к одному из классов множества  $\bar{Z}$  может быть использована теория распознавания образов. При этом необходимо определить центры тяжести областей диагноза (т. е. центры тяжести каждой из областей  $Z_i$ ) и определить расстояние от текущего состояния (точка в шестимерном пространстве признаков) до данных центров. Для этого следует использовать одну из стандартных метрик (напр. Евклидово расстояние, расстояние по Хэммингу и т. п.).

В нашем случае границы между областями, которые составляют классы  $Z_i$ , четкие, их можно описать линейными функциями, и они ортогональны по отношению к осям координат. Поэтому задачу распознавания состояния можно свести к задаче определения принадлежности точки к области.

В главе представлена методика формирования количества точек контроля для дегазационной системы шахты. Указаны условия эксплуатации и требования к оборудованию. Сформированы задачи системы контроля параметров газовоздушных потоков в дегазационной сети шахты, такие как:

- выполнение непрерывного контроля параметров газовой смеси (концентрации, разрежения, дебита) на всем пути ее прохождения от скважины до вакуум-насосной установки с централизованной передачей информации диспетчеру (оператору) в автоматизированную систему контроля и управления шахты;

- расчет дебита метана, приведенного к нормальным условиям (температуре 20 °С, давлению 1013 гПа) по данным о концентрации метана, абсолютного,

дифференциального давлений и температуре газовой смеси в месте проведения измерений;

- предоставление данных для оценки состояния дегазационной сети шахты и формирования отчетов автоматизированными системами.

Система контроля параметров газоздушных потоков в дегазационной сети шахты может быть использована как средство проведения вакуумно-газовых съемок в автоматическом режиме и получения значений основных технологических параметров транспортируемой смеси с высокой точностью и в непрерывном режиме, используемых для определения эффективности работы дегазационной системы шахты. Создание системы по модульному принципу позволит дополнительно решать задачи управления и регулирования вакуум-насосными станциями.

В четвертой главе описана техническая реализация информационной системы непрерывного технологического контроля параметров дегазационной системы шахты (далее Системы).

Спецификой Системы является постоянное изменение ее конфигурации во времени и в пространстве. Это связано с тем, что состав дегазационной сети, а также количество и расположение скважин постоянно меняются. Узлы Системы могут находиться на расстоянии до 5 км друг от друга. Также следует отметить неравномерность плотности точек контроля. Архитектура Системы должна учитывать эти особенности.

В каждой точке подземной дегазационной сети шахты, где необходимо контролировать параметры газоздушных потоков, устанавливается измерительная станция.

Все точки контроля должны быть оборудованы диафрагмой, штуцерами и отверстием с резьбой для контроля температуры.

Измерительные станции (далее ИС) объединяются в единую сеть по топологии "общая шина". В качестве стандарта связи выбран RS485, протокол передачи данных – MODBUS. Это позволяет гибко изменять структуру сети и количество работающих в ней узлов.

Данные с ИС передаются на поверхность диспетчеру шахты.

Использование такой архитектуры наложит ряд ограничений на создаваемую систему, которые в первую очередь связаны с особенностями стандарта связи RS485. Максимальная длина сегмента сети составляет 1200 м, скорость

передачи может быть 1,2-115,2 кбод, количество станций контроля в сегменте 7 шт.

Техническое обеспечение Системы представляет собой совокупность используемых технических средств. Структурная схема Системы представлена на рис. 5.

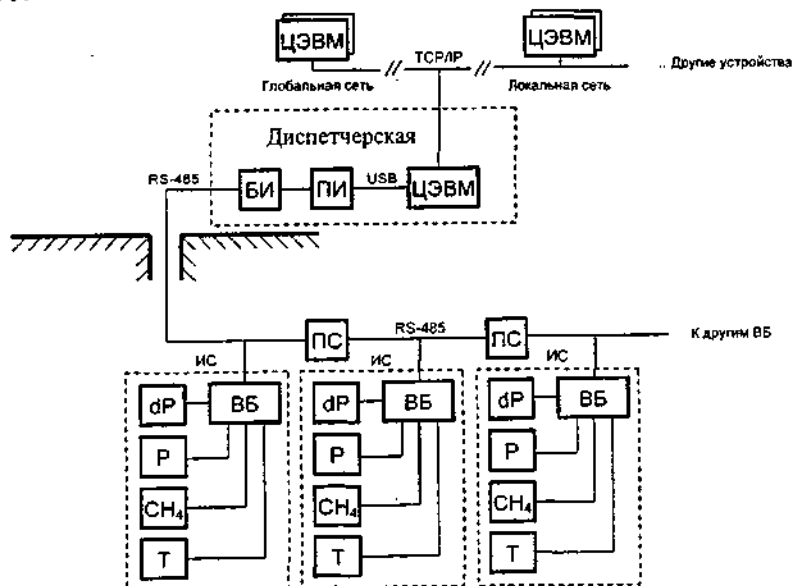


Рисунок 5 – Структурная схема Системы

ЦЭВМ – цифровая электронно-вычислительная машина; ПИ – преобразователь интерфейсов; БИ – барьер искробезопасности; ПС – повторитель сигналов; ВБ – вычислительный блок;  $dP$  – датчик дифференциального давления;  $P$  – датчик абсолютного давления;  $CH_4$  – датчик концентрации метана;  $T$  – датчик температуры; ИС – измерительная станция

Вычислительный блок (ВБ) представляет собой устройство сбора, обработки, отображения и передачи информации от датчиков. Другими словами, ВБ можно назвать контроллером, в состав которого входит процессорный модуль и периферия, включающая четыре аналоговых входа, четыре дискретных входа и четыре релейных выходов.

Повторитель сигналов служит для удлинения линии передачи данных стандарта RS-485.



Барьер искробезопасности предназначен для неповреждаемого гальванического разделения искробезопасных сегментов линии RS-485 от искроопасных сетей переменного тока во взрывобезопасных зонах. Также он может выполнять функции повторителя.

Техническое обеспечение системы представляет собой следующие функциональные блоки.

Вычислительный блок (далее ВБ) является мультипроцессорным перепрограммируемым устройством, которое предназначено для выполнения информационных, управляющих и вспомогательных функций. ВБ может работать как автономно, так и в составе информационно-измерительной системы шахты. Каждый ВБ является индивидуально конфигурируемым устройством.

Вычислительные блоки объединяются в единую сеть стандарта RS485 и предоставляют данные для систем более высокого уровня.

ПО вычислительного модуля предназначено для управления процессами отображения, хранения, обработки и передачи информации.

ВБ может работать в двух режимах:

- режим измерения, в котором проводятся измерения сигналов с датчиков, обработка и запись (передача) данных, отображение измеренных значений и просмотр текущей конфигурации;

- режим конфигурирования ВБ, который предназначен для ввода настроечных параметров: диапазонов измерения датчиков, порогов срабатывания световой сигнализации, корректировки внутренних часов ВБ, ввода значения диаметра трубопровода и отв. диафрагмы, номера станции и скорости по modbus.

Диаграмма деятельности ПО вычислительного модуля (ПО ВМ) представлена на рис. 6, OPC-сервера – на рис. 7.

Системное программное обеспечение сервера сбора данных представляет собой OPC сервер, предоставляющий стандартный метод доступа к периферийным устройствам систем типа SCADA (или любому другому программному обеспечению, построенному на технологиях COM\DCOM\OLE).

Модели классов программного обеспечения OPC-сервера и ВБ представлены на рис. 8, 9.

Разработанный при непосредственном участии автора диссертационной работы комплекс программно-технических средств нашел широкое применение

на шахтах Печорского и Кузнецкого угольных бассейнов, а также в ряде других производств, не связанных с угольными шахтами.

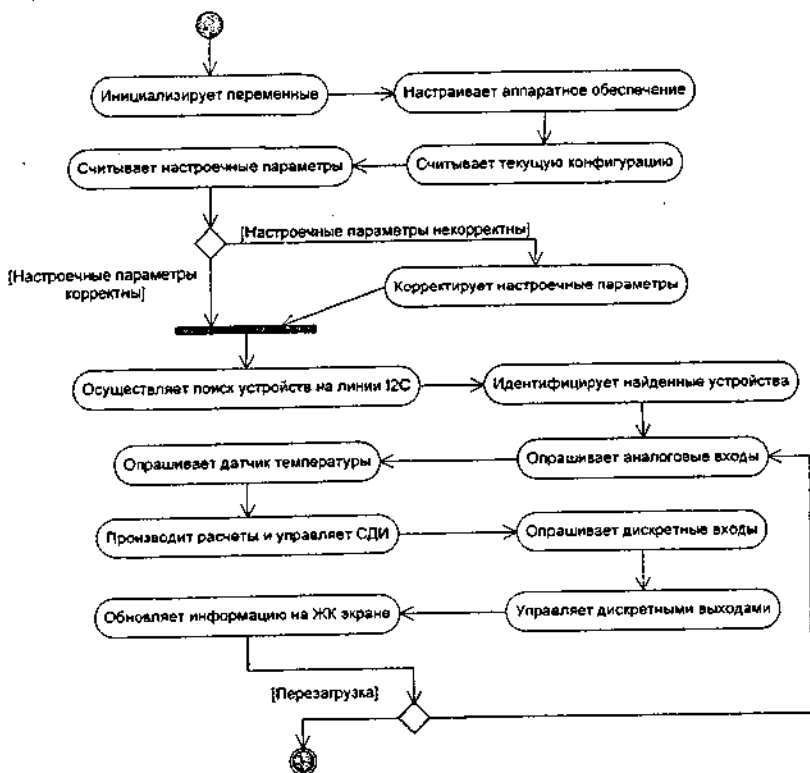


Рисунок 6 – Диаграмма деятельности ПО ВМ в общем виде

В настоящее время на шахтах объединения ОАО «Воркутауголь» (ш. Северная и ш. Воркутинская) в общей сложности работает порядка 35 измерительных станций. На шахтах объединения ОАО «Прокопьевскуголь» (ш. Зиминка, ш. Красногорская) установлено по четыре подземные станции контроля. На шахтах объединения ОАО «ОУК «Южжубассуголь» (ш. Усковская, ш. Абашевская, ш. Есаульская, ш. Кушеяковская, ш. Алардинская, ш. Осинниковская) установлено и находится в работе порядка 30 замерных станций.

Также оборудование нашло применение на шахтах ОАО «Шахта Заречная», ОАО «Распадская», ш. Полосухинская.

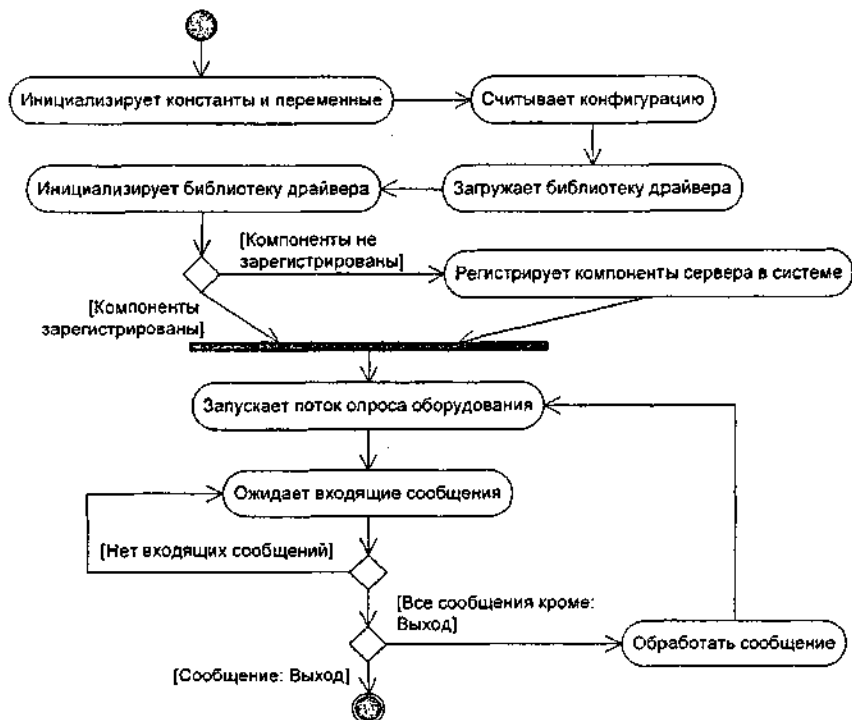


Рисунок 7 – Диаграмма деятельности OPC-сервера

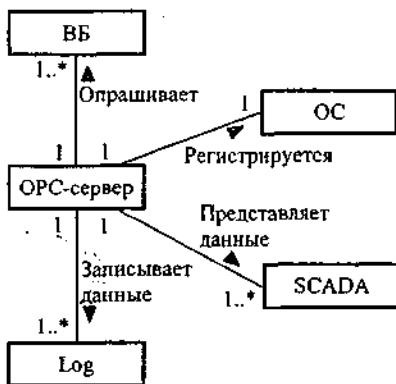


Рисунок 8 – Моделирование класса OPC-сервер

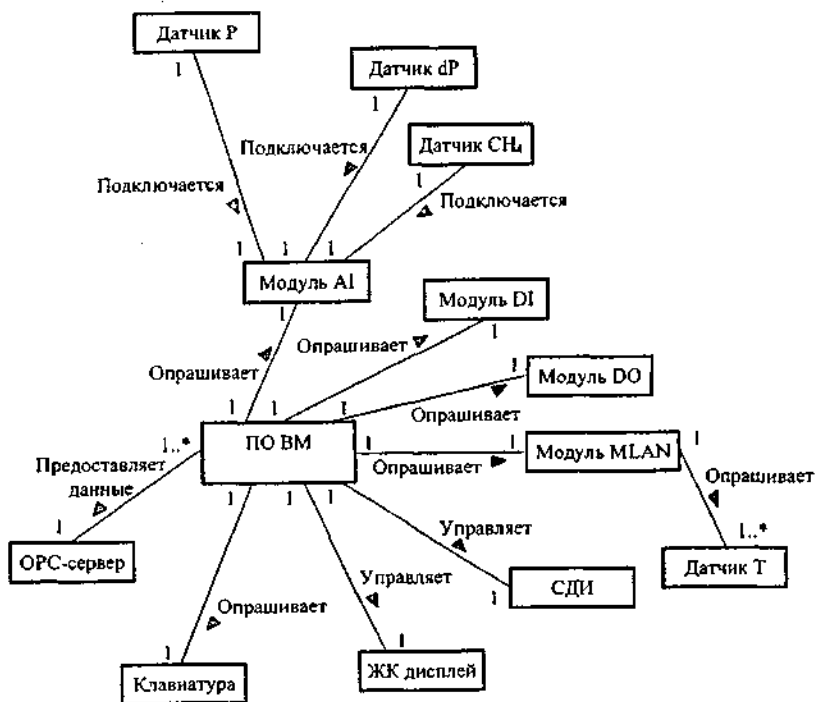


Рисунок 9 – Моделирование класса ПО ВМ

### Заключение

В диссертации дается решение научно-практической задачи повышения эффективности дегазации угольных шахт на основе непрерывного мониторинга процесса транспортирования метановоздушной смеси.

Для достижения названной цели в представленной диссертационной работе автором были получены следующие результаты.

1. Проведены классификация факторов, влияющих на протекание процесса извлечения метана с выделением двух основных групп: горно-геологические и горнотехнические и ранжирование критериев оценки дегазации с точки зрения эффективности использования дегазационной системы и необходимости ее применения в условиях угольных шахт с высокой метанообильностью.

2. Обоснована экономическая и экологическая целесообразность повышения эффективности работы дегазационной системы шахты и предложены различные пути решения этой задачи. Основным способом решения данной проблемы автор работы видит создание системы технологического контроля и

на его базе управление подземной и наземной частями дегазационной системы. Для проведения оперативного прогноза предлагается использование диагностической системы дегазационной сети шахты, которая позволит значительно снизить количество аварийных ситуаций.

3. Проведен анализ типовых дегазационных скважин, газотранспортной сети и вакуум-насосной станции с выявлением и обоснованием параметров, подлежащих технологическому контролю. Исследованы методы и способы контроля концентрации метана, абсолютного и дифференциального давления и температуры, произведен анализ методов расчета дебита метана и метановоздушной смеси. Установлено, что большинство сегодняшних методик измерения параметров метановоздушной смеси, а также расчета дебита по существу не пригодны для проведения непрерывного технологического контроля. Предлагается перечень решений, позволяющих построить действенную, эффективную систему технологического контроля.

4. Разработана математическая модель работы газотранспортной системы шахты. Модель описывает процессы изменения давления и дебита метановоздушной смеси на участке дегазационного трубопровода. Представлена методика расчета коэффициентов дифференциальных уравнений, используемых в модели, с учетом возможности либо прямого, либо косвенного измерения величин, применяемых в ходе расчета.

5. Разработана диагностическая система газотранспортной сети дегазационной системы шахты. Оценка текущего состояния объекта производится по данным, полученным от системы технологического контроля, в сравнении их с эталонами, рассчитанными в математической модели. Полученная оценка служит основой для принятия решений по устранению возможных неисправностей. Информация от диагностической модели используется для решения задачи прогноза.

6. Предлагается один из подходов к решению задачи формирования структуры системы контроля параметров газовоздушной сети, основанный на информации о физико-геологических параметрах угольного пласта и вмещающих пород и горнотехнических особенностей разработки месторождения. Исследованы условия эксплуатации и разработаны требования к оборудованию, которое должно решать такую задачу.

7. Разработано техническое и программное обеспечение системы непрерывного технологического контроля параметров газовоздушных потоков

дегазационной сети шахты. Созданное оборудование прошло успешные испытания и продолжает работать на шахтах Российской Федерации.

**Основные результаты работы опубликованы в следующих работах:**

*- в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК*

1. Лапин Э.С., Абдрахманов М.И. К задаче диагностики дегазационной сети шахты // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – № 1. – Стр. 77 – 83.

2. Лапин Э.С., Абдрахманов М.И. Диагностическая система дегазационной сети шахты // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – № 8. – Стр. 62 – 67.

*- в других изданиях*

3. Абдрахманов М.И. Опыт внедрения системы автоматизации вакуум-насосной станции на ш. Красногорская // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, 23-24 апреля 2012 г. – Екатеринбург, 2012. - 811 с.

4. Абдрахманов М.И. К задаче диагностики дегазационной сети шахты // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, 11 – 12 апреля 2011 г. – Екатеринбург, 2011.

5. Абдрахманов М.И. Система диагностики дегазационной сети шахты // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, 12 – 21 апреля 2010 г. – Екатеринбург, 2010.

6. Абдрахманов М.И. Анализ дегазационной системы шахты как объекта управления // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, 21 – 28 апреля 2009 г. - Екатеринбург, 2009.

7. Абдрахманов М.И. Задачи автоматизации дегазационной установки // Материалы Уральской горнопромышленной декады, г. Екатеринбург, 14 – 23 апреля 2008 г. – Екатеринбург, 2008.

Подписано в печать 22.05.13 г.

Формат 60 x 84 1/16

Бумага офсетная

Печать на ризографе

Печ. л. 1,0

Тираж 100 экз. Заказ 31.

---

Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники издательства УГГУ

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Уральский государственный горный университет