

Государственный комитет Украины по угольной
промышленности

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МАКЕЕВСКИЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
по безопасности работ в горной промышленности
МакНИИ

На правах рукописи

УДК 622.867.004:614.842.614

ТОЛКАЧЕВ Олег Эдуардович

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДАЧИ ЖИДКОГО АЗОТА В АТМОСФЕРУ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ ИНЕРТИЗАЦИИ ПОЖАРНОГО
УЧАСТКА

Специальность 05.26.01 - "Охрана труда и пожарная
безопасность"

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

Макеевка-Донбасс



Робота виконана в Научно-исследовательского дела (НИИГД),
горноспасательного дела (НИИГД).

Научный руководитель -
докт. техн. наук

И. Е. Болбат

Официальные оппоненты:
д-р техн. наук, проф.

В. И. Саранчук

канд. техн. наук

В. К. Черниченко

Ведущее предприятие

Производственное объединение
"Донецкуголь"

Защита диссертации состоится "30" июня 1993 г.
в 13 часов на заседании специализированного совета
К-Г35.08.01 в Государственном Макиевском ордена Октябрьской
Революции научно-исследовательском институте по безопасности
работ в горной промышленности (339008, Макеевка Донецкой обл.,
ул. Дыхачева, 60).

С диссер. цией можно ознакомиться в библиотеке МакНИИ.

Автореферат разослан "25" июня 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
канд. техн. наук

В. М. Приходько

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Происходящие в шахтах пожары нарушают нормальный режим работы, причиняя огромный материальный ущерб, а также представляют большую опасность для здоровья и жизни шахтеров и горноспасателей, участвующих в ликвидации аварий. В связи с этим разработка способов дистанционного тушения пожаров является актуальной задачей в горноспасательном деле.

Наиболее эффективным способом предотвращения взрывов и ликвидации пожаров, особенно имеющих сложный характер, является инертзация атмосферы аварийного участка. В настоящее время для этого применяют газообразный азот, парогазовую смесь, диоксид углерода.

Использование жидкого азота для инертзации горных выработок пожарного участка путем непосредственного распыления в спутный вентиляционный поток позволяет снизить затраты на его испарение. При этом происходит охлаждение стенок горных выработок за счет утилизации жидким азотом тепла боковых пород.

Однако отсутствие научно обоснованной технологии подачи жидкого азота в атмосферу горных выработок не позволяет широко использовать на практике тушение подземных пожаров этим способом с минимальными затратами при максимальной эффективности.

Поэтому работа, посвященная разработке технологии подачи жидкого азота и выбору оптимальных режимов его газификации при запуске в спутный вентиляционный поток, является актуальной.

Работа выполнялась при разработке плановой научно-исследовательской темы ВНИИГД "Выполнить исследование и установить область применения жидкого и газообразного азота при ликвидации аварий и их последствий" (№ гос. регистрации 01870059141), выполненной по отраслевой научно-технической теме.

Цель работы - разработка эффективной технологии подачи и оптимальных режимов газификации жидкого азота для инертзации атмосферы пожарного участка, используя в качестве теплоносителя рудничный воздух и стенки горных выработок, и создание методических рекомендаций по расчету параметров подачи жидкого азота в спутный вентиляционный поток.

Идея работы состоит в комплексном исследовании процессов испарения капель азота за счет теплосъема от рудничной атмосферы и стенок горных выработок, гидродинамики двухфазных потоков,

снижения содержания кислорода в рудничной атмосфере и выборе на этой основе оптимальных режимов газификации жидкого азота.

Защищаемые научные положения, разработанные лично диссертантом, и новизна:

математическая модель распыления жидкого азота полидефлекторными оросителями;

математическая модель движения и испарения капель жидкого азота в спутном вентиляционном потоке с учетом гидродинамических и теплофизических параметров жидкого и газообразного азота;

комплекс программ решения системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы гидродинамики двухфазных потоков, теплопереноса между каплями жидкого азота и газовым потоком, теплопереноса между вентиляционным потоком и стенками горных выработок;

метод определения оптимальных режимов газификации жидкого азота с учетом проведенных расчетов распыления, движения и испарения азота в атмосфере горных выработок.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

корректностью постановки задач, применением современного математического аппарата и вычислительной техники, использованием современного экспериментального оборудования;

применением в теоретических исследованиях теории теплообмена, газодинамики и гидродинамики двухфазных потоков, численных методов решения системы дифференциальных уравнений, современных методов математической статистики;

результатами экспериментальных исследований, проведенных в натуральных условиях на полигоне НИИГД;

удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Научное значение работы заключается в том, что выбор оптимальных режимов газификации жидкого азота производится с использованием математической модели, адекватно описывающей процессы тепло- и массообмена при испарении капель азота в горной выработке, гидродинамики двухфазных потоков, что позволит наиболее эффективно и с минимальными затратами снизить содержание кислорода в атмосфере горных выработок.

Практическая ценность работы заключается в разработке рекомендаций по расчету параметров подачи жидкого азота в спутный вентиляционный поток, комплекса программ по расчету параметров газа и температуры стенок горной выработки при запуске жидкого азота, технологических схем инертизации изолированных участков с использованием жидкого азота.

Реализация результатов работы. Разработанные рекомендации включены в "Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах" (Донецк, 1989), которое направлено в подразделения ВГСЧ для использования при ликвидации подземных пожаров на шахтах отрасли. Комплекс алгоритмов и программ для ЭВМ ЕС-1033 "Расчет параметров распыления и испарения жидкого азота в горной выработке" сдан в промышленную эксплуатацию (акт сдачи от 13.06.88) и передан в отраслевой фонд алгоритмов и программ. Результаты работы использованы при ликвидации пожара на шахте им. А.А.Скочинского в 1986 г.

Апробация работы. Диссертационная работа и отдельные ее разделы докладывались и были одобрены на:

научно-техническом совете отдела борьбы с эндогенными пожарами НИИГД; секции ученого совета НИИГД "Предупреждение и ликвидация подземных пожаров"; ученом совете НИИГД; научно-практической конференции "Разработка и внедрение новых средств и способов, обеспечивающих улучшение охраны труда и техники безопасности на предприятиях отрасли" // Свердловск, 1989; научно-практической конференции "Проблемы пожаробезопасности и пожаротушения в народном хозяйстве" // Севастополь, 1992; международной научно-технической конференции "Взрывобезопасность технологических процессов" // Северодонецк, 1992.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 2 авторских свидетельства.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, двух приложений; изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 25 рисунков, 10 таблиц, список литературы из 100 наименований.

Автор выражает благодарность доктору техн. наук П.С.Павловскому за помощь при подготовке диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Пожары в угольных шахтах представляют собой наиболее сложный вид аварии, которые приводят к значительным потерям добычи угля, причиняя огромный материальный ущерб, а также представляют серьезную опасность для жизни шахтеров и горноспасателей.

В связи с этим разработка способов и средств дистанционного тушения подземных пожаров и предотвращения взрывов является актуальной проблемой в горноспасательном деле.

Наиболее эффективным способом предотвращения взрывов газа и ликвидации пожаров, особенно имеющих сложный характер, является инертизация атмосферы аварийного участка. Этот способ предполагает искусственное снижение концентрации кислорода в атмосфере пожарного участка путем подачи инертного газа. В настоящее время для этих целей применяют газообразный азот, углекислый газ, парогазовую смесь. По объему выпуска лидирующее место занимает азот — одно из общепризнанных эффективных средств снижения содержания кислорода, используемых для тушения пожаров и предотвращения взрывов в шахте.

За последние пять лет на шахтах отрасли число случаев применения и расход жидкого азота увеличились примерно в десять раз.

Использование для инертизации атмосферы горных выработок аварийного участка жидкого азота путем непосредственного его распыления в спутном вентиляционном потоке позволяет снизить затраты на его испарение. При этом кроме инертизации атмосферы пожарного участка происходит ее охлаждение за счет использования холода испарившегося азота.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом отсутствует научно обоснованная технология инертизации атмосферы аварийного участка жидким азотом, что не позволяет осуществлять на практике тушение подземных пожаров жидким азотом с минимальными энергозатратами при максимальной эффективности тушения.

В соответствии с вышеизложенным в диссертационной работе поставлены и решены следующие основные задачи:

исследовать процесс распыления жидкого азота полидефлекторными оросителями с учетом возможного испарения азота в сопле оросителя;

установить закономерности изменения температуры, скорости и потока масс распыленного азота и газа, содержания кислорода в атмосфере горных выработок в зависимости от расхода жидкого азота, параметров горной выработки и газового потока;

построить строгую, логически замкнутую и физически обоснованную математическую модель процессов, происходящих при подаче, распылении и газификации жидкого азота в атмосфере горной выработки;

решить на ЭВМ полученную систему дифференциальных уравнений с начальными и граничными условиями на входе в выработку и на границах капля-газ, газ - стенка горной выработки;

провести натурные экспериментальные исследования распыления и газификации жидкого азота в атмосфере штольни на экспериментальном полигоне;

установить оптимальные режимы газификации жидкого азота с учетом использования теплоты рудничного воздуха и стенок горных выработок для получения минимально возможной концентрации кислорода в атмосфере горных выработок;

разработать технологические схемы инертизации изолированных участков с использованием жидкого азота;

разработать рекомендации по расчету параметров подачи жидкого азота в спутный вентиляционный поток.

инертизация атмосферы пожарного участка происходит в результате вытеснения кислорода, содержащегося в воздухе, газообразным азотом. В связи с этим снижение доли кислорода в пожарном участке в основном зависит от интенсивности испарения жидкого азота, которое осуществляется за счет теплообмена между каплями распыленного азота, газовым потоком и стенками горных выработок.

На процесс теплообмена влияют разность температур капель, газа, пород, относительная скорость капель и газового потока, общая площадь поверхности капель, которая определяется дисперсностью распыления жидкости, расходом азота.

Математическая модель процессов движения и испарения распыленного азота в горной выработке включает в себя 8 дифференциальных уравнений: теплообмена между газом, каплями и стенкой выработки; теплоотдачи в глубь массива; массообмена между каплями и газом; уравнение температуры капли; движения газа и капель; сохранения масс; осаждения капель; уравнение состояния, а также

граничные условия четвертого рода на контакте газового потока со стенкой выработки и третьего рода на контакте газа с каплями жидкого азота.

Дифференциальные уравнения теплообмена между стенкой и газовым потоком с учетом отвода тепла от газа к каплям азота на их нагрев и испарение имеют следующий вид:

$$\frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial \tau} + v \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial x} - \alpha \left[\frac{\partial^2 T_{\Gamma}}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial r} \right) \right] + \left[\frac{Q}{v} + (T_{\Gamma} - T_{\kappa}) \overline{\rho} c_p \frac{\partial m_{\kappa}}{\partial x} \right] \frac{N}{\rho c_p S_B}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_c}{\partial \tau} = \alpha_c \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} \right], \quad (2)$$

где T_{Γ} - температура газа, К; τ - время, с; v - скорость газа, м/с; x - координата по длине выработки, начиная от места распыления азота, м; α - коэффициент температуропроводности газовой среды, м²/с; r - координата по радиусу, начиная от центра выработки, м; Q - скорость теплопереноса к капле азота, Дж/с; T_{κ} - температура капли, К; m_{κ} - масса капли, кг; N - число капель азота, проходящих в единицу времени, с⁻¹; S_B - площадь поперечного сечения выработки, м²; ρ - плотность газа, г/м³; c_p - теплоемкость газа, Дж/(кг·К); T_c - температура стенки, К; α_c - коэффициент температуропроводности стенки горной выработки, м²/с.

Теплота, поступающая от газа к каплям азота, расходуется на их нагрев и испарение. Изменение температуры капель азота определяется по формуле:

$$\frac{dT_{\kappa}}{dx} = \frac{1}{m_{\kappa} c_{\kappa}} \left(\frac{Q}{v} - \varepsilon \frac{dm_{\kappa}}{dx} \right), \quad (3)$$

где c_{κ} - теплоемкость жидкого азота, Дж/(кг·К); ε - теплота испарения азота, Дж/кг.

Уравнение массопереноса принято в виде, учитывающем нелинейный характер парциального давления азота вблизи испаряющихся

капель

$$\frac{dm_{\kappa}}{dx} = \alpha d_{\kappa}^2 \frac{\alpha_{\mathcal{D}}^p}{v} p \ln \frac{p-p_{\text{нп}}}{p-p_{\text{п}}}, \quad (4)$$

где $\alpha_{\mathcal{D}}^p$ - коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности парциальных давлений, с/Н.

Уравнение движения капель имеет вид

$$-m_{\kappa} \frac{dv_{\kappa}}{dx} = c_d S_{\kappa} \rho \frac{u^2}{2v}, \quad (5)$$

где v_{κ} - скорость капель, м/с; c_d - коэффициент сопротивления; S_{κ} - площадь поперечного сечения капли, м²; u - разность скоростей капель и газа, м/с.

Уравнение движения определяет изменение давления, учитывая сопротивление движению газа и капель

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \frac{\partial v}{\partial \tau} + \frac{\rho}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\alpha \Pi_{\text{в}}}{S_{\text{в}}} v^2 + \sum \mathcal{D}_{\text{газ}}, \quad (6)$$

где α - коэффициент аэродинамического сопротивления, кг/м³; $\Pi_{\text{в}}$ - периметр выработки, м; $\sum \mathcal{D}_{\text{газ}}$ - потеря давления от сопротивления, оказываемого газом при движении капель, Па/м.

Уравнение сохранения массы

$$S_{\text{в}} \frac{d(v \cdot \rho)}{dx} = -N \frac{dm_{\kappa}}{dx}, \quad (7)$$

Изменение числа капель за счет осаждения

$$\frac{dN}{dx} = -\frac{v_{\text{в}}}{v} \cdot \frac{N}{H}, \quad (8)$$

где $v_{\text{в}}$ - скорость осаждения капель, м/с; H - высота выработки, м.

Теплофизические свойства газа определялись как функция температуры и содержания компонентов. При усреднении температуры

газового потока по сечению выработки и некоторых преобразований уравнение (I) приведено к виду

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + v \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{2\alpha}{\rho c_p R_0} (T_c|_{r=R_0} - T) + \left[\frac{Q}{v} + \overline{\rho c_p} (T - T_k) \frac{dm_k}{dx} \right] \frac{N}{\rho c_p S_B} \quad (9)$$

Систему уравнений (2) - (9) замыкает уравнение состояния. Система дифференциальных уравнений решалась на ЭВМ методом конечных разностей с граничными условиями четвертого рода на контакте газового потока со стенкой горной выработки

$$T|_{r=R_0} = T_c|_{r=R_0}; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = -\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial r} \Big|_{r=R_0}, \quad (10)$$

где λ_c - коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м·К), на контакте капля-газ приняты граничные условия третьего рода

$$Q = \lambda_k S_{\text{пк}} (T - T_k) \cdot Z, \quad (11)$$

где α_k - коэффициент теплоотдачи газ-капля, Вт/(м²·К);

$S_{\text{пк}}$ - площадь поверхности капли, м²; Z - коэффициент, представляющий собой отношение теплоты, которая проводится к поверхности капли чистым конвективным теплопереносом, к общей теплоте, обусловленной конвекцией и массопереносом.

Коэффициент Z определяется по эмпирической зависимости

$$Z = z(e^{\frac{z}{\delta}} - 1), \quad (12)$$

где z - коэффициент, равный $\frac{c_p v \delta}{2\alpha \alpha_k (\frac{v}{\alpha} + \delta) \lambda}$; δ - толщина оболочки испаряющейся жидкости вблизи капли, м; определяется по эмпирической зависимости $\delta = \frac{d_k}{Nu - Z}$.

Градиент температуры на стенке выработки при $r = R_0$ принимается равным

$$\frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = \frac{\alpha_c}{\lambda_c} (T_c|_{r=R_0} - T), \quad (13)$$

где α_c - коэффициент теплоотдачи газ-стенка, Вт/(м²·К).

Исследованы процессы подачи и дробления азота. В частности проведены теоретические исследования дробления жидкого азота в полидефлекторных оросителях. Рассмотрен механизм дробления потока жидкости, отсекаемого на одном дефлекторе, и силы, действующие на пленку жидкости при ее дроблении на капли. Установлено, что на процесс дробления влияет поперечная составляющая силы, а продольная - на скорость вылета капель. Энергия пленки жидкости расходуется на преодоление сопротивления при движении, на дробление пленки на капли и преодоление внутреннего трения, т.е.

$$W = W_c + W_d + W_b, \quad (14)$$

где W - поперечная составляющая удельной энергии жидкости, Дж/с; W_c - энергия, расходуемая на преодоление сопротивления, Дж/с; W_d - энергия, расходуемая на дроблении пленки, Дж/с; W_b - энергия, расходуемая на преодоление внутреннего трения, Дж/с.

Подставив значения каждой составляющей в уравнении (1) и сделав некоторые преобразования, получено уравнение для определения среднего диаметра капель жидкости. Установлено, что на величину среднего диаметра капли в основном влияют силы сопротивления воздуха.

Поскольку азот при подаче может находиться в емкости при температуре кипения и частично испаряться в сопле форсунки, вводится температурный коэффициент расхода жидкости μ_t , который зависит от давления азота перед форсункой, в форсунке и после форсунки. С учетом вышесказанного уравнение для определения среднего диаметра капель азота примет вид

$$\bar{d} = 121 d_0 \nu_b \rho_{ж} / A \mu_t \sqrt{H} \sin \alpha, \quad (15)$$

где \bar{d} - средний диаметр капель, м; d_0 - внутренний диаметр форсунки, м; ν_b - кинематическая вязкость воздуха, м²/с; $\rho_{ж}$ - плотность жидкого азота, кг/м³; A - коэффициент массового расхода жидкого азота через форсунку, кг/(Па^{1/2}·с);

$\mu_{\frac{1}{2}}$ - коэффициент расхода испаряющейся жидкости; H - напор перед форсункой, Па; α - угол скоса граней форсунки, рад.

Экспериментальные исследования проводились с целью уточнения математической модели процессов движения и испарения расплывленного азота в горной выработке для создания инертной среды в аварийном участке и определения параметров процесса распыления жидкого азота различными форсунками. Эксперименты проводились в штольне на экспериментальном полигоне НИИГД. Азот распылялся в горизонтальной подземной выработке площадью поперечного сечения в свету $4,5 \text{ м}^2$ и длиной 150 м. Одновременно с жидким азотом в штольню через проем в перемычке направляли поток теплого воздуха. Для постановки экспериментов и обработки их результатов использовалась математическая теория планирования экспериментов. В экспериментах варьировались следующие факторы: отношение массовых расходов азота и воздуха, внутренний диаметр форсунки, расстояние от места распыления азота, время с начала эксперимента.

В ходе исследования проводился контроль температуры газового потока, концентрации кислорода в газозудной смеси по длине штольни, расход жидкого азота и скорость вентиляционного потока. Измерение температуры и концентрации кислорода осуществлялось специальными датчиками, установленными в замерных колодцах на расстоянии 10, 60, 120 м от места запуска азота.

В результате обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость объемной доли кислорода в газе от исследуемых факторов:

$$C_{O_2} = -1,01 \frac{G_a}{G_B} + 717 d_0 + \frac{1170}{\tau} - 1,86 \ln l + 0,473 (\ln l)^2, \quad (16)$$

где C_{O_2} - объемная доля кислорода в газе, %; G_a - массовый расход жидкого азота, кг/с; G_B - массовый расход воздуха по выработке, кг/с; l - расстояние от места выпуска азота до места отбора пробы, м.

Кроме того, были проведены эксперименты по определению параметров распыливающих устройств при работе их на жидком азоте. Исследовалась работа различных типов полидефлекторных, винтовых и центробежных форсунок, получены их расходно-напорные характе-

ристики и коэффициенты массового и объемного расходов при распылении жидкого азота.

Имитационное моделирование на ЭВМ процессов распыления и испарения азота показало, что результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований хорошо согласуются между собой, средняя ошибка содержания кислорода в атмосфере с доверительной вероятностью 0,95 составляет 1,08 %, относительная ошибка не превышает 10 %, относительная ошибка аппроксимации температуры газа с доверительной вероятностью 0,95 не превышает 12 %.

Для определения оптимального режима запуска азота исследованы факторы, влияющие на процессы дробления и испарения азота, а также способствующие снижению доли кислорода в атмосфере пожарного участка. Из уравнения массопереноса видно, что интенсивность его прямо пропорциональна суммарной площади поверхности всех капель. С уменьшением диаметра капель суммарная площадь поверхности их (при равном объеме) увеличивается. Кроме того, мелкодисперсные капли имеют меньшую скорость осаждения, а следовательно, количество их в потоке уменьшается незначительно.

Однако увеличение дисперсности потока капель имеет свои недостатки. Так, для более мелкого распыления жидкости одними и теми же форсунками необходимо создать более высокое давление в азотной емкости, а следовательно, интенсифицировать работу испарителя наддува, что особенно затруднительно при интенсивной подаче азота. Кроме того, суммарный поток мелкодисперсных капель азота создает дополнительную потерю давления от сил сопротивления, оказываемых газом при движении капель.

Таким образом, в каждом конкретном случае необходимо решать задачу выбора оптимального режима распыления капель. На ЭВМ по составленной программе просчитаны различные варианты дробления, движения и испарения капель азота и по результатам расчета построена номограмма определения оптимальных режимов подачи и распыления жидкого азота для различных форсунок и массовых расходов азота и воздуха.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований легли в основу разработанных методических рекомендаций по расчету параметров подачи жидкого азота в спутный вентиляционный поток, которые вошли в "Руководство по применению

инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах", утвержденное Центральным штабом ВГСЧ Минуглепрома СССР и используемое подразделениями ВГСЧ при ликвидации подземных пожаров на шахтах отрасли.

Составлены технологические схемы инертизации изолированных пожарных участков с использованием жидкого азота для различных систем разработки и схем вентиляции. Так, в частности, при прямоточной с подсвежением системой вентиляции перемычка на вентиляционном штреке полностью перекрывает движение свежей струи, а подача жидкого азота осуществляется через открытый проем в перемычке на откаточном штреке; исходящая струя отводится через открытый проем в перемычке на вентиляционном штреке. При возвратноточной схеме вентиляции проемы обеих перемычек, находящихся на откаточном и вентиляционном штреках, открыты; для сохранения нормального режима вентиляции жидкий азот подается в вентиляционный поток со стороны откаточного штрека.

При возвратноточной с подсвежением схемой вентиляции подача азота осуществляется таким образом, чтобы очаг пожара располагался между вентиляционным штреком и откаточным штреком с открытым проемом; проем в перемычке на втором откаточном штреке должен быть постоянно закрыт, открыт он может быть только в том случае, когда возникает необходимость в дополнительной подаче инертного газа.

При использовании возвратноточной системы вентиляции с раздвоением вентиляционной струи по двум направлениям отвод пожарных газов осуществляется через проем в перемычке, расположенной на одном из вентиляционных штреков, проем в перемычке на другом вентиляционном штреке закрыт в течение всего времени инертизации аварийного участка.

Результаты исследований были использованы при тушении пожара на шахте им. А.А.Скочинского в 1986 г. Пожар возник в конвейерном штреке, схема проветривания выемочного участка - возвратноточная на выработанное пространство. Через один час после возникновения пожара произошло обрушение кровли и активное тушение пожара стало невозможным, пожарный участок был заизолирован перемычками, установленными на конвейерном и вентиляционном штреках. Для ускорения ликвидации пожара применена рециркуляция

газовой смеси с подачей в нее распыленного азота. Проект тушения пожара был рассмотрен и утвержден на техсовете ПО "Донецк-уголь". Подача азота производилась циклически 2-3 раза в сутки, осуществлялась 28 суток, расход жидкого азота составлял 120 л/мин. По расчетам температура пород в районе очага пожара снизилась до 50 °С, т.е. ниже критической, при которой возможен рецидив пожара; участок был вскрыт и проветрен, рецидива пожара не было, но оксид углерода удерживался на уровне десятичных процента в течение суток при подаче на участок воздуха, затем пожар был списан. В данных условиях применения жидкого азота с рециркуляцией позволило более чем на полгода сократить продолжительность изоляции аварийного участка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано теоретическое обоснование и практическое решение актуальной задачи повышения эффективности и безопасности ведения аварийных работ посредством инертизации атмосферы и охлаждения газового потока распыленным азотом.

Основные результаты исследований сводятся к следующему.

1. Установлено, что наиболее эффективным способом газификации жидкого азота в горных выработках является утилизация теплоты рудничного воздуха и стенок выработок при распылении азота в спутный вентиляционный лоток.

2. Разработана математическая модель процесса дробления капель азота в полидефлекторных оросителях, получены удобные для практических расчетов зависимости расхода азота через форсунку и среднего диаметра капель при распылении жидкого азота.

3. Разработана математическая модель процессов, происходящих при распылении и газификации жидкого азота в атмосфере горной выработки.

4. Разработан комплекс программ, реализующий на ЭВМ численное решение системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы гидродинамики двухфазных потоков, тепломассопереноса между каплями жидкого азота, вентиляционным потоком и стенками горных выработок.

5. На основании результатов экспериментальных исследований подтверждена адекватность разработанных математических моделей и получена эмпирическая зависимость для определения объемной доли кислорода в атмосфере аварийного участка при запуске в него распыленного азота.

6. Установлены оптимальные режимы газификации жидкого азота, при использовании теплоты рудничного воздуха и стенок горных выработок для получения минимально возможной концентрации кислорода.

7. Разработана методика расчета параметров выпуска жидкого азота в спутный вентиляционный поток аварийного участка и технологические схемы инертизации изолированных участков с использованием жидкого азота.

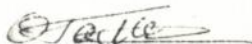
8. На основе полученных результатов разработано "Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах" / Утв. Центральным штабом ВГСЧ Минуглепрома СССР 19.07.89.

9. Результаты исследований использованы при ликвидации пожара на шахте им. А.А.Скочинского ПО "Донецкуголь".

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Исследование функции распределения частиц при распыле жидкости полидефлекторными оросителями / Кушнарев А.М., Поздняков К.И., Яремчук М.А., Толкачев О.Э., Попов Э.А.; ВНИИГД. - Донецк, 1986. - Деп. в ЦНИЭИуголь 05.05.86, № 3736уп-86 Деп.
2. Методика расчета параметров выпуска жидкого азота в спутный вентиляционный поток аварийного участка / Попов Э.А., Яремчук М.А., Толкачев О.Э. // Тезисы докладов научно-практической конференции, 7-8 сентября, 1989 г. - Свердловск, 1989. - С.43.
3. Подготовка эксперимента при запуске распыленного азота в вентиляционный поток. Попов Э.А., Толкачев О.Э., Пашковский П.С., Яремчук М.А.; ВНИИГД. - Донецк, 1989. - Деп. в ЦНИЭИуголь 27.02.90, № 5070уп-90 Деп.
4. Математическая модель движения и испарения распыленного азота в спутном вентиляционном потоке / Толкачев О.Э.; ВНИИГД. - Донецк, 1990. - Деп. в ЦНИЭИуголь 08.06.90, № 5150/II.
5. Охлаждение горной выработки распыленным азотом / Болбат И.Е., Зинченко И.Н., Толкачев О.Э. // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - Киев, 1991. - Вып. 89. - С.77-80.
6. Разработка математической модели процесса распыления быстроиспаряющихся жидкостей полидефлекторными оросителями / Толкачев О.Э.; ВНИИГД. - Донецк, 1992. - Деп. в ЦНИЭИуголь 24.10.92, № 5398IБ.
7. А.с. 1326232 СССР, МКИ 5 А 62 С 5/00. Способ газификации сжиженного газа / Попов Э.А., Яремчук М.А., Толкачев О.Э. (СССР); ВНИИГД. - № 3956398/29-12; Заявл. 02.07.85; Публ. 30.07.87. Бюл. № 28.
8. А.с. 1420181 СССР, МКИ 5 Е 21 Г 5/00. Способ тушения подземных пожаров в горных выработках / Колыщенко М.В., Судилковский М.Н., Толкачев О.Э. (СССР); ВНИИГД. - № 4071617/22-03; Заявл. 24.02.86; Публ. 30.08.88, Бюл. № 32.
9. Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах: Утв. ЦШ ВГСЧ Минуглепрома СССР 19.07.89 / ВНИИГД. - Донецк, 1989. - 190 с.

Личный вклад автора. Все результаты, составляющие основное содержание диссертации, получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад автора состоит в следующем: в [1] математически определена функция распределения капель жидкости по крупности; в [2] проведены теоретические исследования доли испаряющегося азота в спутном вентиляционном потоке; в [3] составлен план проведения экспериментов с применением математической теории планирования экспериментов, получена эмпирическая зависимость объемной доли кислорода в потоке газа при испарении азота; в [5] разработаны уравнения тепло-массообмена между каплями азота и газовым потоком, предложено уравнение с нелинейным распределением парциального давления азота вблизи испаряющейся капли азота; в [7] дано теоретическое обоснование испарения жидкого азота; в [8] предложена формула для определения расхода инертного газа.



Подписано к печати 03.05.93. Формат 60x90^{1/16}

Усл.печ. л.1,25. Тираж 150 экз. Офсетная печать. Заказ 1577.

Бесплатно

ИНИИЛ 340048, г.Донецк, ул. Артёма, 157

AB 27.676

AB 27.676