

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2661508

СПОСОБ ОЦЕНКИ РИСКА ВЗРЫВОВ МЕТАНА И ПЫЛИ В ШАХТАХ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Кабанов Евгений Игоревич (RU), Коршунов Геннадий Иванович (RU), Казанин Олег Иванович (RU), Рудаков Марат Леонидович (RU), Степанов Игорь Сергеевич (RU)*

Заявка № 2017133361

Приоритет изобретения 25 сентября 2017 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 17 июля 2018 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 25 сентября 2037 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E21F 17/00 (2018.02)

(21)(22) Заявка: 2017133361, 25.09.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.09.2017

Дата регистрации:
17.07.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.09.2017

(45) Опубликовано: 17.07.2018 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий (отдел
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Кабанов Евгений Игоревич (RU),
Коршунов Геннадий Иванович (RU),
Казанин Олег Иванович (RU),
Рудаков Марат Леонидович (RU),
Степанов Игорь Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

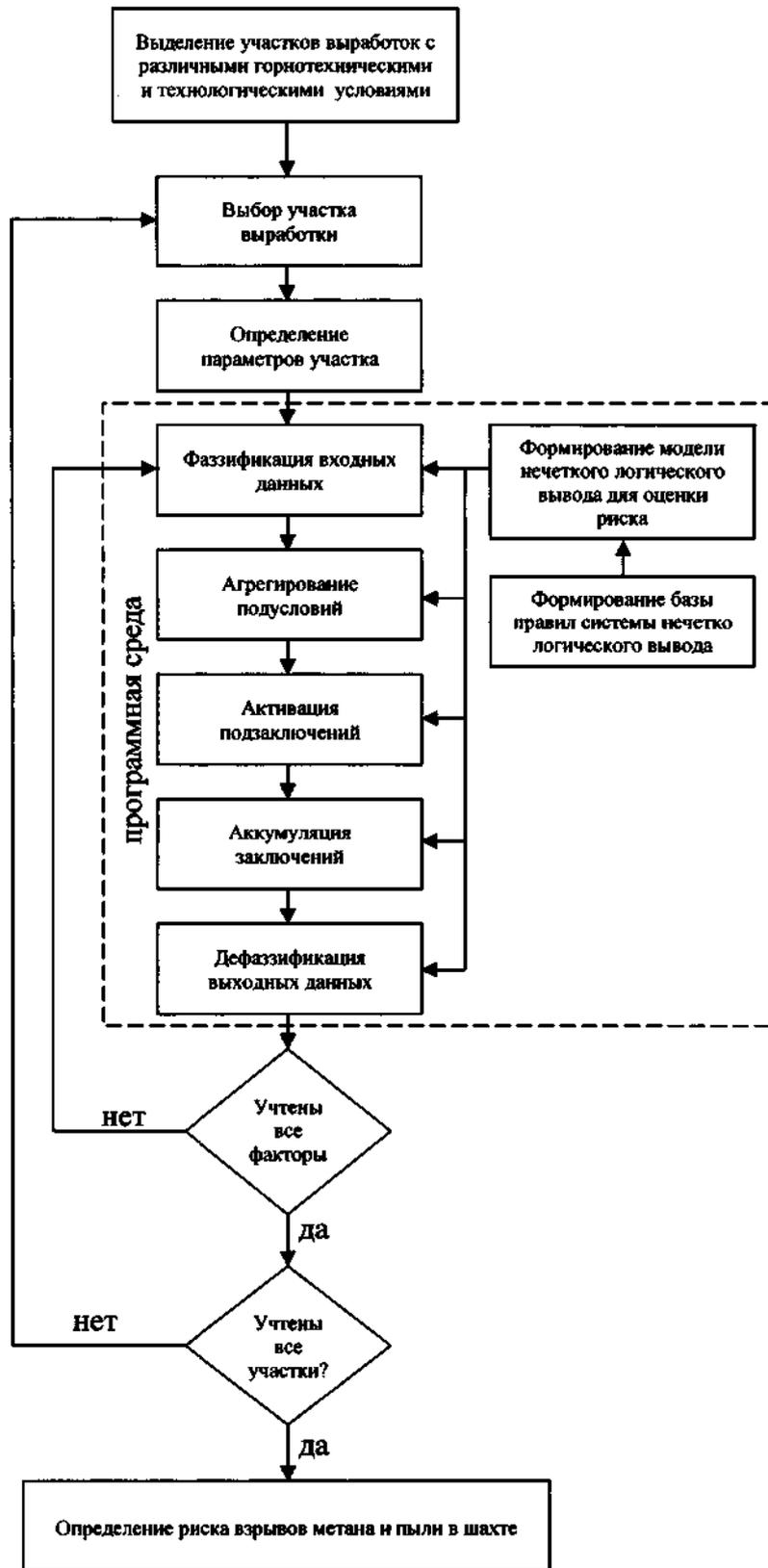
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: ДОМРАЧЕВ А.Н. и др.,
Использование аппарата нейронных сетей
и нечеткой логики при оценке вероятности
взрыва пылеметановоздушной смеси/
Научно-технический журнал "Вестник", N1,
2014, с.40-43. RU 2543238 C2, 27.02.2015. RU
2524860 C1, 10.08.2014. RU 2528807 C1,
20.09.2014. CN 103616491 A, 05.03.2014.

(54) СПОСОБ ОЦЕНКИ РИСКА ВЗРЫВОВ МЕТАНА И ПЫЛИ В ШАХТАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области горной промышленности, преимущественно к угольной, и может быть использовано для оценки и прогноза риска взрывов метана и пыли в шахтах и газоопасных рудниках. Техническим результатом является повышение достоверности оценки риска взрывов метана и пыли в шахтах, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным выбросам и суфлярным выделениям метана, а также взрывчатости угольной пыли. Способ оценки риска взрывов метана и пыли в шахтах включает выделение участков с различными горнотехническими и технологическими условиями, экспериментальное определение концентрации метана в рудничном воздухе, измерение расхода воздуха и содержания пыли в

воздухе, бурение контрольных шпуров и измерение начальной скорости газовыделения в шпурах, регистрацию случаев суфлярного выделения из трещин, шпуров и скважин, осмотр и ревизию рудничного взрывобезопасного электрооборудования, отбор проб угля и определение инкубационного периода самовозгорания и выхода летучих веществ, формирование базы правил системы нечеткого логического вывода, использование программной среды для выполнения нечетких логических операций и определения вероятности взрыва. Риск взрыва метана и пыли оценивают с учетом влияния содержания пыли в воздухе на условия взрываемости метановоздушных смесей. 3 табл., 2 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
E21F 17/00 (2018.02)

(21)(22) Application: **2017133361, 25.09.2017**

(24) Effective date for property rights:
25.09.2017

Registration date:
17.07.2018

Priority:

(22) Date of filing: **25.09.2017**

(45) Date of publication: **17.07.2018** Bull. № 20

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2,
federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet", otdel intellektualnoj sobstvennosti i
transfera tekhnologij (otdel IS i TT)**

(72) Inventor(s):

**Kabanov Evgenij Igorevich (RU),
Korshunov Gennadij Ivanovich (RU),
Kazanin Oleg Ivanovich (RU),
Rudakov Marat Leonidovich (RU),
Stepanov Igor Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF ASSESSMENT THE RISK OF METHANE AND DUST EXPLOSION IN MINE**

(57) Abstract:

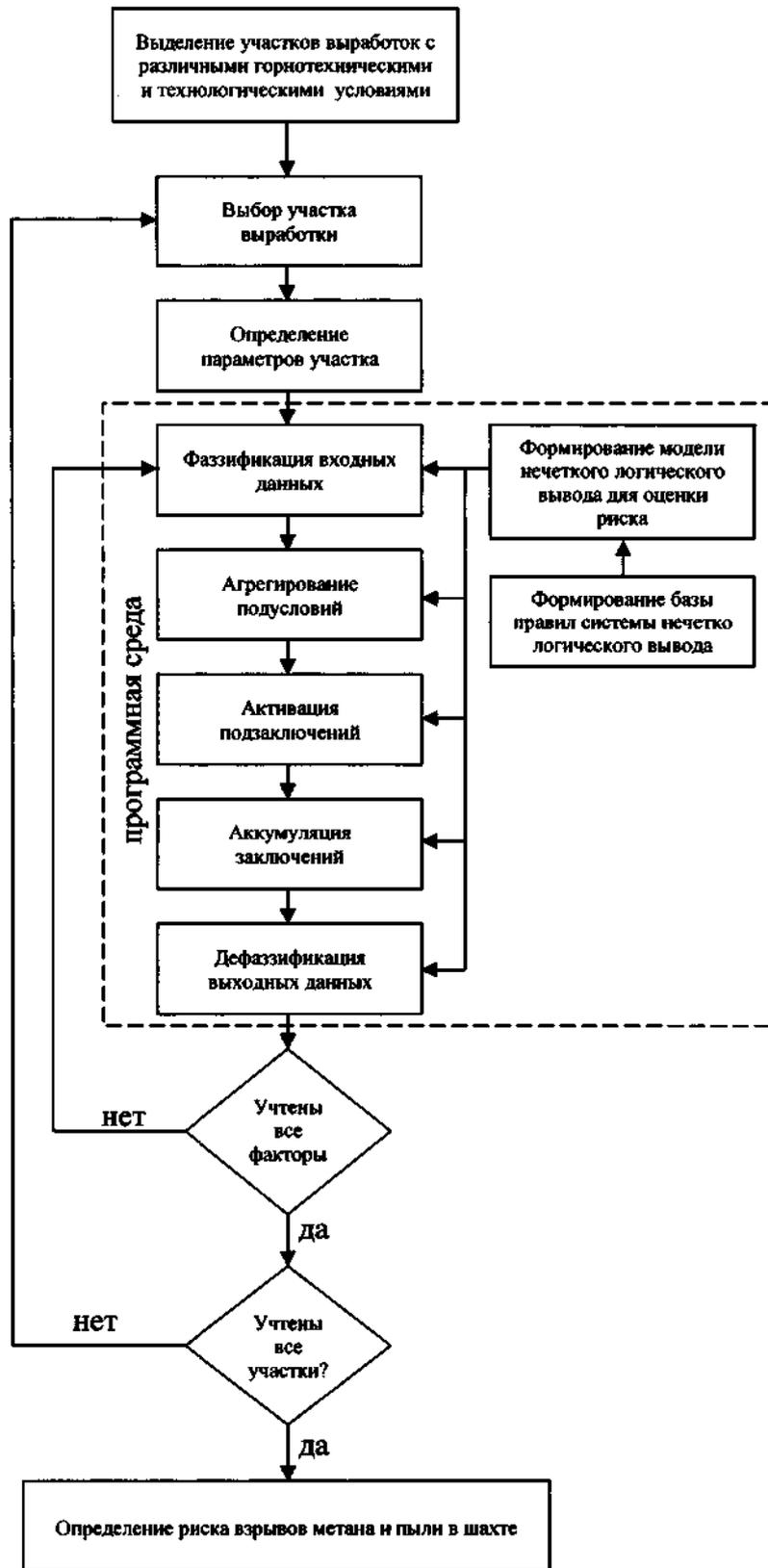
FIELD: mining.

SUBSTANCE: invention relates to mining, primarily to coal mining, and can be used to assess and predict the risk of methane and dust explosions in mines and gas-hazardous mines. Method for assessing the risk of methane and dust explosions in mines includes the allocation of sites with various mining and technological conditions, the experimental determination of the methane concentration in the mine air, measuring air consumption and dust content in the air, drilling control holes and measuring the initial velocity of gas evolution in the boreholes, recording cases of sulphurisation from cracks, holes and boreholes, inspection and revision of mine explosion-proof electrical equipment, sampling of coal and determination of the incubation period of

spontaneous combustion and release of volatile substances, the formation of a rule base for fuzzy logic inference, the use of a software environment for performing fuzzy logical operations and determining the probability of an explosion. Risk of explosion of methane and dust is estimated taking into account the influence of the dust content in the air on the explosive conditions of methane-air mixtures.

EFFECT: technical result is an increase in the reliability of the risk assessment of methane and dust explosions in mines that develop reservoirs that are dangerous for sudden releases and methane blower emissions, as well as for the explosiveness of coal dust.

1 cl, 3 tbl, 2 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к области горной промышленности, преимущественно к угольной, и может быть использовано для оценки и прогноза риска взрывов метана и пыли в шахтах и газоопасных рудниках.

Известен способ оценки риска на основе нечеткой информации (заявка RU №2015119134, опубл. 10.12.2016 г.), включающий измерение наблюдаемой величины целевого показателя при помощи прогнозируемой модели, выделение области, соответствующей парам требуемого и прогнозируемого значений целевого показателя, проведение сечения полученной области, выявление закономерности проявления исследуемого процесса, представление нечеткой информации о прогнозируемом и требуемом значениях целевого показателя в виде нечетких чисел, формирование области возможных исходов и проведение ее сечения для различных уровней достоверности, расчет точечного значения показателя риска для каждого уровня, формирование нечеткого показателя риска как множества полученных пар точечных значений показателя риска и их достоверности.

Недостатком данного способа является то, что в нем не учитывают факторы, влияющие на риск взрыва метана и пыли, что делает невозможным его применение для оценки риска взрывов метана и пыли в шахтах.

Известен способ прогноза взрывоопасности метановоздушных смесей в шахтах (патент RU №2524860, опубл. 10.08.2014 г.), включающий измерение метаноносности пластов угля, определение метанообильности выемочных участков, регистрацию вспышек и взрывов метана на шахтах углегазовых месторождений в течение времени их работы, установление частоты аварийных по метану ситуаций, выделение выемочных участков с различными горнотехническими условиями разработки, установление показателя взрывоопасности метановоздушных смесей.

Недостатком данного способа является то, что оценку взрывоопасности метановоздушных смесей выполняют на основе определения частоты аварийных по метану ситуаций, что делает невозможным проведение прогноза риска взрывов метана для проектируемых участков шахт. Кроме того, в данном способе не учитывают влияние содержания пыли в воздухе на условия взрываемости метановоздушных смесей.

Известен способ определения частоты взрывов метана (Айруни А.Т., Клебанов Ф.С., Смирнов О.В. Взрывоопасность угольных шахт. - М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. - С. 66-67), включающий определение частоты события «загазирование до взрывоопасной концентрации метана», определение частоты события «высокая температура» при совпадении с событием «загазирование до взрывоопасной концентрации метана», определение частоты события «отказ системы газового контроля» и определение частоты пересечения вышеуказанных событий.

Недостатком этого способа является низкая достоверность определения частоты взрыва метана, связанная с рядом допущений, принятых при определении частот событий «высокая температура» и «отказ системы газового контроля». Кроме того, в данном способе не учитывают влияние содержания пыли в воздухе на условия взрываемости метановоздушных смесей.

Известен способ прогноза риска взрывов метана и пыли в шахтах (патент RU №2528807, опубл. 20.09.2014 г.), включающий экспериментальное определение интенсивности метано- и пылевыведения на выемочном участке, измерение расхода воздуха и концентрации метана в нем и запыленности рудничного воздуха, определение температуры воспламенения метана и пыли, определение частоты аварийных по метану и пыли ситуаций, измерение расхода воздуха и концентрации метана в рудничной атмосфере в процессе снижения параметров проветривания участка, установление

динамики снижения расхода воздуха и роста концентрации метана до ее взрывоопасной величины в смеси, определение температуры воспламенения метана и пыли на глубине ведения горных работ при фактических давлении и влажности воздуха, установление риска взрыва метанопылевоздушной смеси.

5 Недостатком данного способа является то, что оценку взрывоопасности метановоздушных смесей выполняют на основе определения частоты аварийных по метану и пыли ситуаций, а также на основе экспериментальных данных, полученных в натуральных условиях, что делает невозможным выполнение прогноза риска взрыва метана и пыли для проектируемых выработок шахт.

10 Известен способ оценки риска взрывов метана и пыли в шахтах Домрачев А.Н., Палеев Д.Ю., Говорухин Ю.М., Криволапое В.Г., Липатин В.И. Использование аппарата нейронных сетей и нечеткой логики при оценке вероятности взрыва пылеметановоздушной смеси // Научно-технический журнал «Вестник». №1. 2014. - С. 40-43), принятый за прототип, включающий экспериментальное определение
15 концентрации метана в рудничном воздухе, формирование базы правил системы нечеткого логического вывода, использование программной среды для выполнения нечетких логических операций и определения вероятности взрыва.

Недостатки данного способа заключаются в том, что в нем не выделяют участки, с
20 отличными друг от друга горнотехническими и технологическими условиями, не учитывают содержание пыли в воздухе, обеспеченность участка воздухом, опасность разрабатываемых пластов по внезапным выбросам и суфлярным выделениям метана, взрывчатости угольной пыли, а так же опасность образования высокотемпературного источника воспламенения смеси, который необходим для возникновения взрыва метана и пыли. Кроме того, в способе не учитывают влияние содержания пыли в воздухе на
25 условия взрываемости метановоздушных смесей. Указанные недостатки приводят к информационной неполноте процедуры оценки риска и низкой достоверности ее результатов.

Техническим результатом является повышение достоверности оценки рисков взрывов метана и пыли в шахтах разрабатывающие пласты, опасные по внезапным выбросам
30 и суфлярным выделениям метана, а также взрывчатости угольной пыли.

Технический результат достигается тем, что дополнительно выделяют участки с различными горнотехническими и технологическими условиями, затем на каждом участке измеряют расход воздуха и содержание пыли в воздухе, производят бурение контрольных шпуров и измерение начальной скорости газовыделения в шпурах,
35 регистрируют случаи суфлярного выделения из трещин, отбирают пробы угля, затем определяют инкубационный период самовозгорания и выход летучих веществ, а риск взрыва оценивают с учетом влияния содержания пыли в воздухе на условия взрываемости метановоздушных смесей.

Способ поясняется следующими фигурами:

40 Фиг. 1 - алгоритм осуществления способа оценки риска взрывов метана и пыли в шахтах;

Фиг. 2 - структурная иерархия учета факторов в модели нечеткого логического вывода.

Способ осуществляется следующим образом. В сети горных выработок выделяют
45 участки с отличными друг от друга горнотехническими и технологическими условиями (Фиг. 1). В отношении к каждому участку устанавливают значения содержания метана и пыли в воздухе, расхода воздуха, определяют опасность разрабатываемых пластов по взрывчатости угольной пыли, самовозгоранию, внезапным выбросам и суфлярным

выделением метана, а так же опасность образования высокотемпературного источника воспламенения при использовании электрооборудования. В вычислительной программной среде формируют базу правил системы нечеткого логического вывода, выполняют нечеткие логических операций и определяют вероятность взрыва. При этом
5 оценку риска взрыва метана и пыли производят с учетом влияния содержания пыли в воздухе на условия взрываемости метановоздушных смесей.

Содержание метана на участке устанавливают по фактическим данным путем проведения газовоздушных съемок. В случае проектируемых участков допускается использование величин, измеренных в процессе геологической разведки месторождения
10 в соответствии с рекомендациями нормативного документа путем отбора образцов угля в виде кернов и определения в них содержания метана в лабораторных условиях.

Содержание пыли в воздухе участка устанавливают путем прямого измерения с использованием стандартных способов и средств отбора пыли. В случае проектируемых участков, содержание пыли в воздухе определяют по результатам измерений в
15 существующих участках шахты, эксплуатируемых в аналогичных условиях.

Фактический расход воздуха на участке устанавливают путем прямого измерения для определения обеспеченности участка воздухом. Для этого производят сравнение фактического расхода воздуха с расчетными значениями потребности в воздухе по формуле

$$\omega = \frac{Q_{\phi}}{Q_p},$$

где ω - показатель обеспеченности участка воздухом;

Q_{ϕ} - фактический расход воздуха на участке, м³/мин;

Q_p - расчетное значение требуемого расхода воздуха на участке, м³/мин.

В случае проектируемых участков допускается принятие величины обеспеченности участка воздухом, равной 1.

Опасность разрабатываемых пластов по взрывчатости угольной пыли устанавливают в соответствии с рекомендациями нормативного документа путем отбора образцов
30 угля и определения выхода летучих веществ как потери массы навески при нагревании пробы угля в лабораторных условиях. В случае проектируемых участков, отбор проб производят в существующих участках шахты, либо в процессе геологической разведки месторождения.

Опасность разрабатываемых пластов по самовозгоранию устанавливают в соответствии с рекомендациями нормативного документа путем отбора образцов угля и определения инкубационного периода самовозгорания расчетными методами в лабораторных условиях. В случае проектируемых участков, отбор проб производят в существующих участках шахты, либо в процессе геологической разведки месторождения.

Опасность разрабатываемых пластов по внезапным выбросам устанавливают в соответствии с рекомендациями нормативного документа по проведению текущего контроля выбросоопасности путем бурения контрольных шпуров и измерения начальной скорости газовыделения в шпурах. В случае проектируемых участков выбросоопасность пластов устанавливают в соответствии с рекомендациями нормативного документа по прогнозу выбросоопасности при ведении геологоразведочных работ.

Опасность разрабатываемых пластов по суфлярным выделениям устанавливают в соответствии с рекомендациями нормативного документа на основе регистрации случаев суфлярного выделения метана из трещин, шпуров и скважин в пределах поля шахты.

Опасность образования высокотемпературного источника воспламенения при использовании электрооборудования устанавливают в соответствии с рекомендациями нормативного документа по осмотру и ревизии рудничного взрывобезопасного электрооборудования. В случае проектируемых участков опасность образования высокотемпературного источника воспламенения при использовании электрооборудования устанавливают на основе проведенного осмотра и ревизии рудничного взрывобезопасного электрооборудования, предполагаемого к использованию на участке.

Указанные параметры являются входными данными для выполнения алгоритмов нечеткого логического вывода в вычислительной программной среде. Для выполнения нечетких логических операций формируют базу правил системы нечеткого логического вывода на основе известных зависимостей, определяющих взаимное влияние параметров факторов риска на вероятность взрыва метана и пыли в шахтах. На основе базы правил системы нечеткого логического вывода и структурной иерархии учета факторов риска формируют модель нечеткого логического вывода в вычислительной программной среде.

Для определения риска взрыва метана и пыли на анализируемом участке, полученные для него параметры вносят в модель нечеткого логического вывода в вычислительной программной среде, где последовательно выполняются следующие операции.

Фаззификацию входных данных выполняют для их приведения в область нечетких чисел, построенных на терм-множестве лингвистических переменных, отражающих степень опасности исследуемого фактора. Целью этого этапа является получение значений истинности для всех подусловий из базы правил.

Агрегирование подусловий выполняют для определения степени истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода.

Активация подзаклучений выполняют для определения степени истинности для каждого подзаклучения и получения совокупности активизированных нечетких множеств для каждого подзаклучения в базе правил. При этом каждому подзаклучению сопоставляют множество с новой функцией принадлежности.

Аккумуляцию заключений выполняют для получения нечеткого множества для каждой из выходных переменных путем объединения нечетких множеств. Для этого каждой выходной переменной сопоставляют объединение множеств, и определяют результирующую функцию принадлежности.

Дефаззификацию выполняют для получения количественного значения для каждой из выходных переменных путем применения метода центра тяжести.

После многократного выполнения операций нечеткого логического вывода с учетом базы правил системы нечеткого логического вывода и структурной иерархии учета факторов, получают значение риска взрыва метана и пыли на анализируемом участке.

После проведения оценки риска взрывов для всех выделенных участков, риск взрыва метана и пыли на шахте определяют как максимальное значение риска взрыва метана и пыли среди всех участков.

Результаты оценки риска взрывов метана и пыли в шахтах используют для ранжирования шахт и участков шахт по степени опасности, для разработки мероприятий по снижению вероятности их возникновения и исключению аварийных ситуаций.

Способ поясняется следующим примером. Для оценки риска взрыва метана и пыли в сети выработок выделен участок, в отношении которого получены - данные, указанные в таблице 1. Для фаззификации исходных данных указанные параметры прошли экспертную классификацию на основе лингвистических переменных, представленных

в таблице 2.

Таблица 1 – Параметры анализируемого участка

5	Параметр	Содержание метана, %	Содержание пыли, г/м ³	Воздухообеспеченность участка	Выход летучих веществ, %	Инкубационный период, сут
	Значение	1,1	7	1,1	18	64
	Лингвистический показатель	Повышенное	Повышенное	Средняя	Опасна	Средняя
10	Параметр	Начальная скорость газовыделения в шпурах, л/мин	Наличие случаев суфлярного выделения метана	Результат осмотра и ревизии рудничного взрывобезопасного электрооборудования		
	Значение	8	Не зарегистрированы	Обнаружены незначительные нарушения		
15	Лингвистический показатель	Склонный	Не опасный	Средняя		

Таблица 2 – Интервалы построения лингвистических переменных

Содержание метана в воздухе, %				
20	Значение параметра	< 1	1 - 3	> 3
	Значение лингвистической переменной	Низкое	Повышенное	Высокое
Содержание пыли в воздухе, г/м ³				
25	Значение параметра	< 6	6-12	> 12
	Значение лингвистической переменной	Низкое	Повышенное	Высокое
Воздухообеспеченность участка				
30	Значение параметра	> 1,2	1,2 – 1,0	< 1
	Значение лингвистической переменной	Высокая	Средняя	Низкая

Опасность внезапных выбросов			
Значение начальной скорости газовыделения в шпурах, л/мин	< 4		> 4
Значение лингвистической переменной	не склонный		склонный
Опасность суфлярных выделений			
Признак	Суфлярные выделения не зарегистрированы		Суфлярные выделения зарегистрированы
Значение лингвистической переменной	Не опасный		Опасный
Опасность по взрывчатости пыли			
Выход летучих веществ, %	< 10		> 10
Значение лингвистической переменной	Не опасна		Опасна
Опасность по самовозгоранию			
Значение инкубационного периода, сут	>80	80-40	<40
Значение лингвистической переменной	Низкая	Средняя	Высокая
Опасность образования дугового разряда при эксплуатации электрооборудования			
Признак по результатам осмотра и ревизии	Нарушений в состоянии оборудования не выявлено	Выявлены незначительные нарушения	Выявлено нарушение взрывозащиты электрооборудования
Значение лингвистической переменной	Низкая	Средняя	Высокая

На основе сформированной базы управляющих правил системы логического вывода, составленной на основе экспертных оценок, и структурной иерархии, представленной на фиг. 2, в вычислительной программной среде MatLab Fuzzy Logic Toolbox сформирована модель нечеткого логического вывода для последовательного выполнения операций фаззификации, агрегирования подусловий, активации подзаключений, аккумуляции заключений и дефаззификации в соответствии с алгоритмом нечеткого вывода Мамдани. Структурная иерархия фиг. 2 отражает последовательность и принципы совместного учета факторов в модели нечеткого логического вывода. При составлении модели использовались трапециевидные нечеткие числа, построенные на 01-носителе. Результаты работы модели показаны в таблице 3

и свидетельствуют о высоком уровне риска взрыва метана и пыли на участке, обусловленным совместным присутствием повышенных концентраций метана и взрывоопасной пыли на участке и наличием нарушений при эксплуатации электрооборудования.

5 **Таблица 3 - Результаты оценки риска взрыва метана и пыли на участке**

10	Параметр	Значение	Лингвистический показатель
	Вероятность образования взрывоопасной концентрации метана в воздухе	0,497	Средняя
15	Вероятность образования взрывоопасной концентрации пыли в воздухе	0,495	Средняя
	Вероятность образования источника инициирования	0,848	Высокая
	Вероятность образования взрывоопасной среды	0,656	Средняя
20	Риск взрыва метана и пыли	0,804	Высокий

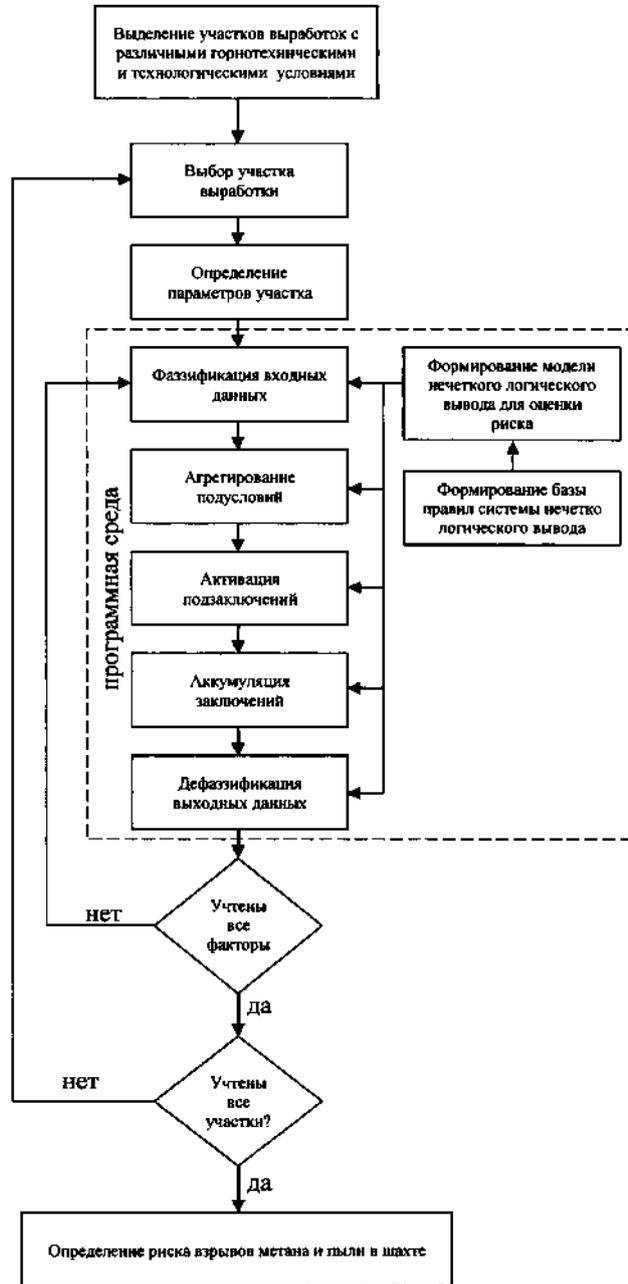
(57) Формула изобретения

25 Способ оценки риска взрывов метана и пыли в шахтах, включающий экспериментальное определение концентрации метана в рудничном воздухе, формирование базы правил системы нечеткого логического вывода, использование программной среды для выполнения нечетких логических операций и определения вероятности взрыва, отличающийся тем, что дополнительно выделяют участки с различными горнотехническими и технологическими условиями, затем на каждом 30 участке измеряют расход воздуха и содержание пыли в воздухе, производят бурение контрольных шпуров и измерение начальной скорости газовыделения в шпурах, регистрируют случаи суфлярного выделения из трещин, отбирают пробы угля, затем определяют инкубационный период самовозгорания и выход летучих веществ, а риск взрыва оценивают с учетом влияния содержания пыли в воздухе на условия 35 взрываемости метановоздушных смесей.

40

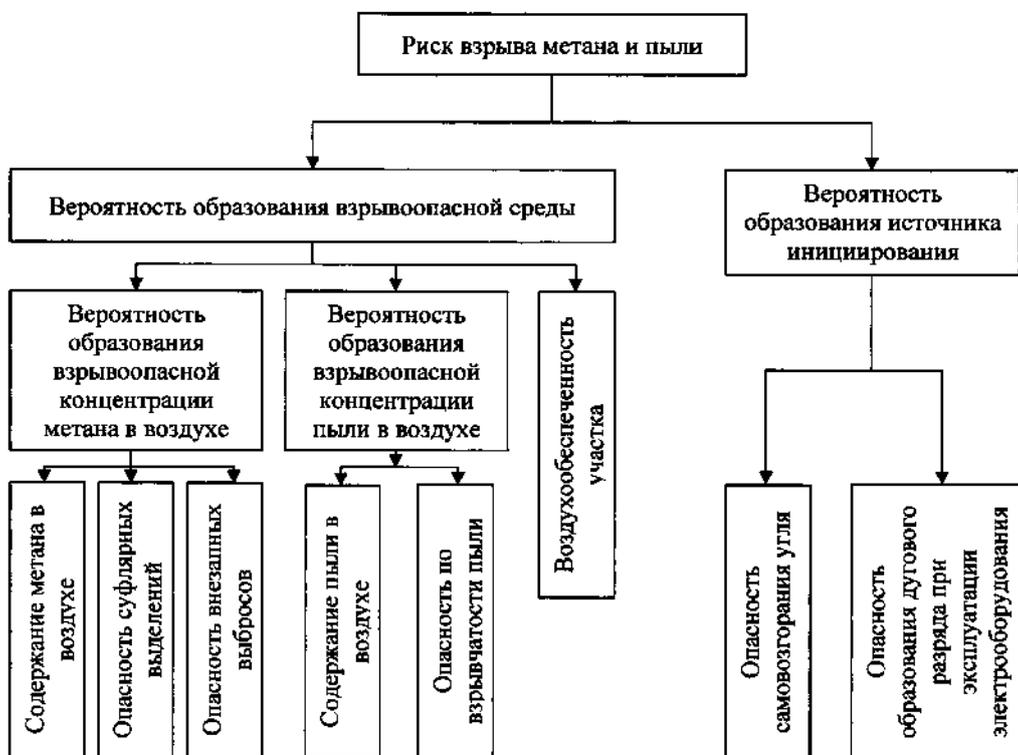
45

СПОСОБ ОЦЕНКИ РИСКА ВЗРЫВОВ МЕТАНА И ПЫЛИ В ШАХТАХ



Фиг. 1

СПОСОБ ОЦЕНКИ РИСКА ВЗРЫВОВ МЕТАНА И ПЫЛИ В ШАХТАХ



Фиг. 2