

УДК 622.272.6: 519.21

**МЕТОДИКА, ХОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ****METHODOLOGY, PROGRESS AND RESULTS OF THE RESEARCH PROCESS
SPONTANEOUS COMBUSTION OF COAL****Торро Виктор Оскарович,**

ст. преподаватель, e-mail: torrovo@mail.ru

Torro Victor O., senior teacher**Ремезов Анатолий Владимирович,**

д.т.н. профессор, e-mail: lion742@mail.ru

Remezov Anatoly V., Dr.Sc. (Engineering), Professor**Роут Геннадий Николаевич,**

канд. техн. наук, доцент

Rout, Gennady N., C.Sc. (Engineering), associate professor

Кузбасский государственный технический университет им.Т.Ф. Горбачева.

Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: На основе аналитического обзора литературных источников, патентных материалов и результатов, выполненных ВостНИИ, экспериментальных исследований с позиций кинетики окисления угля были получены основания для выдвижения рабочей гипотезы о формировании очагов самовозгорания угля. В статье для выяснения сущности отдельных стадий и выдвинутой гипотезы формирования очагов самовозгорания угля, показаны методика и ход исследований процесса самовозгорания угля, направленных на создание физической модели механизма развития этого явления.

Abstract: On the basis of analytical review of the literature, patent records and results performed by VostNII, experimental investigations with dispositions of the kinetics of the oxidation of coal were received the grounds for the extension of the working hypothe-SHL about the formation of foci of spontaneous combustion of coal. In the article to clarify the essence of the indiction stages and the hypotheses of formation of foci of spontaneous combustion of coal, the method and course of research of process of spontaneous combustion of coal, aimed at creating a physical model of the mechanism of this phenomenon.

Ключевые слова: формирование очагов самовозгорания, теплообмен, массообмен, теория сушки, система «уголь – воздух», молекулярная диффузия.

Keywords: formation of foci of spontaneous combustion, heat transfer, mass transfer, theory of drying, the system "coal – air", molecular diffusion.

Рассмотрение угольного скопления в выработанном пространстве, образовавшегося в результате ведения горных работ, как образующего совместно с кислородом воздуха, находящегося в рудничной атмосфере, гетерогенную систему «Уголь – воздух» вполне правомерно. Поскольку термодинамическая система это макроскопическое тело, выделенное из окружающей среды при помощи перегородок или оболочек, которые могут быть вполне условными, и состояние которого можно охарактеризовать макроскопическими параметрами: объемом, температурой, давлением и рядом других.

Термодинамическая система является представительной для оценки свойств и состояния макроскопического тела в том случае, когда она

состоит из достаточно большого числа частиц. Окружающей средой термодинамической системы являются тела, расположенные за её пределами.

В данном случае эта система будет являться по своему характеру гетерогенной, поскольку она состоит из двух гомогенных областей – фаз (уголь, воздух), при переходе через которые химический состав и физические свойства веществ изменяются.

Фазы, составляющие термодинамическую систему, в этом случае отличаются друг от друга по химическому составу и физическим свойствам. На границах их раздела происходит изменение свойств макроскопического тела, в данном случае разрыхленной массы угля. Состояние массы может измеряться параметрами состояния, делящи-

мися на интенсивные (не зависящие от количества вещества – давление, температура) и экстенсивные (зависящие от количества вещества – объём, масса, теплоёмкость). При том следует отметить, что экстенсивные параметры, отнесённые к единице массы вещества, приобретают смысл интенсивных (удельный объём, удельная теплоёмкость). Интенсивные параметры, которые определяют состояние термодинамической системы, называются термодинамическими параметрами состояния – это температура, давление, удельный объём (плотность тела).

На основе законов химической термодинамики возможно дать количественную оценку термодинамическим процессам, протекающим в разрыхленном угольном массиве с изменением химического состава и количества. Поскольку в данном случае речь идёт о окислительно-восстановительных химических реакциях, происходящих при ведении горных работ в подземных условиях.

Теоретической базой этого являются первый и второй законы термодинамики. Первый закон применительно к химическим процессам позволяет определить тепловые эффекты химических реакций. Второй – позволяет определить условия, при которых может протекать химическая реакция и пределы, до которых она может быть доведена, т. е. равновесное состояние реакции или равновесный состав реагирующих веществ и продуктов реакции. В нашем случае при исследовании закономерностей протекания аэротермодинамических процессов при самонагревании угольного скопления мы будем иметь дело с экзотермическим процессом, т.е. процессом, протекающим с выделением тепла.

Следует также отметить, что в нашем случае в качестве теплоносителя в происходящем термодинамическом процессе служит поток рудничного воздуха, потому исследуемый процесс можно назвать аэротермодинамическим. И по этой же причине для расчёта параметров тепло – массообмена в гетерогенной системе «уголь – воздух» были использованы законы движения газов.

Для решения задач, связанных с распространением тепла в твёрдых телах необходимо учитывать:

1. В результате теплообмена в твёрдом теле происходит самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты, обусловленный градиентом температуры;

2. Характер источников тепла. В данном случае это будут:

- 2.1. источник заданной интенсивности, т.к. тепло выделяется в результате окислительных реакций.

Этот источник является внутренним, непрерывного действия, постоянным, неподвижным, положительным

- 2.2. источник заданной температуры, поскольку

им служит поток рудничного воздуха.

Этот источник является внешним, непрерывного действия, постоянным, подвижным, отрицательным, объёмным.

Причём выработка, в которой происходит окислительный процесс, принимается либо как линейный, либо как объёмный источник тепла.

Погрешность в результате решения дифференциального уравнения теплопроводности будет зависеть от соотношения между поперечными размерами выработки и расстоянием до точки, для которой рассчитывается температура.

Все внутренние источники тепла бывают только заданной интенсивности. Внешние могут быть как заданной интенсивности, так и заданной температуры.

Действие источника заданной температуры можно отождествлять с действием источника заданной интенсивности в том случае, когда температура на поверхности нагреваемого или охлаждаемого твёрдого тела изменяется пропорционально корню квадратному из времени теплового воздействия. В этом случае удельный тепловой поток, поступающий в твёрдое тело, будет постоянным.

Важным фактором, который следует учитывать при решении поставленных в исследовании задач, является тепловой режим.

В большинстве случаев не представляется возможным описать аналитически с достаточной точностью параметры взаимодействия теплоносителя с теплоприемником. В этих случаях пользуются экспериментальными замерами параметров взаимодействия теплоносителя с теплоприемником на моделях в лабораторных условиях.

Для перехода от данных полученных на моделях к реальным условиям пользуются теорией подобия. При этом учитывается, теплообмен это самопроизвольный необратимый процесс переноса тепла, обусловленный градиентом температуры. В нашем случае он соответствует теплообмену, совершающемуся при фазовых переходах. [21,22]

Все это послужило теоретическим обоснованием в ходе разработки методики для проведения исследований в лабораторных условиях по проверке гипотезы о формировании очагов самовозгорания угля.

Основываясь на обозначенных выше базовых теориях термодинамики и физической химии можно сделать вывод о том, что самовозгорание угля представляет собой сложный многостадийный процесс сушки химически активного материала, сопровождающийся фазовыми превращениями в гетерогенной системе «уголь – воздух» и развитием химической реакции окисления.

Аналитический обзор литературных источников, патентных материалов и результатов выполненных ВостНИИ, экспериментальных исследований с позиций кинетики окисления угля дал основания для выдвижения рабочей гипотезы о формировании очагов самовозгорания угля, которая

сформулирована следующим образом: «Формирование очага самовозгорания угля происходит в зоне адиабатического насыщения воздуха, фильтрующегося через угольное скопление, а местоположение этой зоны предопределяется внешним тепло- и массообменом при протекании гетерогенной реакции окисления в низкотемпературном интервале, соответствующем термодинамическим характеристикам фаз системы «уголь – воздух». Дальнейшее развитие окислительных процессов в сформированном очаге зависит от условий внутреннего массообмена в угольной фазе» [1 – 22].

То есть, находясь в зоне адиабатического насыщения, угольное скопление проходит через стадию низкотемпературного окисления, при которой тепло экзотермической реакции рассеивается в окружающую среду и в этом случае температура данного скопления не отличается от естественной для конкретной глубины. Затем в зависимости от интенсивности, происходящих массо- и теплообмена при протекании гетерогенной реакции окисления, процесс переходит в стадию самонагревания.

Эта стадия является ранней стадией эндогенного пожара, которая характеризуется малой скоростью протекания реакции окисления угля и медленным возрастанием его температуры от естественной до критической (90-30 °С).

Признаком стадии самонагревания является устойчивый рост концентраций индикаторных газов (окиси углерода, водорода, радона) выше фоновых значений в трёх пробах последовательно набранных в контрольных точках через сутки при неизменном вентиляционном режиме.

Продолжительность этой стадии определяет инкубационный период самовозгорания угля. Оценка его производится на основании результатов лабораторных испытаний угольных проб.

Для выяснения сущности отдельных стадий и выдвинутой гипотезы формирования очагов самовозгорания угля, разработана физическая модель механизма развития этого явления. Она базируется на основных положениях теории сушки коллоидных капиллярно – пористых материалов и закономерностях кинетики гетерогенных реакций с учётом тепло – и массообмена процессов в системе «уголь – воздух».

Физическая модель механизма развития процесса самовозгорания угля представлена на рис. 1. В модели предусматривается, что начальная температура угля меньше температуры адиабатического насыщения воздуха, имеющего относительную влажность $\phi < 1$. При указанных термодинамических характеристиках фаз системы «угольное скопление – окружающая среда» в ней протекают тепло – и массообменные процессы в таком направлении, при котором происходит нагревание угля даже в начальный период времени (см. рис. 1, 3 и 4). Это сопровождается увеличением интен-

сивности влагообмена с поверхности угольного скопления и снижением его влагосодержания, в результате чего повышается скорость химической реакции окисления угля k (см. рис. 1, 1 и 2).

В соответствии с выдвинутой гипотезой наибольший практический и научный интерес представляет исследование начальной стадии процесса, в конце которой температура становится равной температуре адиабатического насыщения воздуха. Аналитическое определение продолжительности этой стадии связано с решением задачи по нагреванию (охлаждению) газом неподвижного слоя кусковых материалов, известной как задача Т. Шумана.

Прогревание угольного скопления воздухом в начальный период сопровождается процессами массопередачи веществ из одной фазы в другую через поверхность раздела фаз системы «уголь – воздух». К таким процессам следует отнести удаление влаги из угля путём её испарения (сушка) и соединение угольного вещества с кислородом (окисление).

Перенос влаги и кислорода внутри куска угля происходит за счёт молекулярной диффузии, которая является весьма медленным процессом и зависит от вида переносимого вещества, свойств угля, температуры и давления. Этот вид переноса веществ в пределах одной фазы называется внутренней массопередачей.

В движущейся фазе наблюдается внешняя массопередача, которая является сложным процессом и определяется как молекулярной диффузией, так и непосредственным переносом веществ, благодаря наличию скорости потока. Такой вид суммарного переноса веществ зависит от гидродинамических условий процесса (скорости потока и масштаба турбулентности) и называется турбулентной (конвективной) диффузией.

В процессе сушки суммарный (результатирующий) поток влаги внутри куска угля определяется диффузией и термодиффузией. Решающую роль в перемещении водяного пара с поверхности кусков угля в окружающую среду играет внешняя массопередача, которая зависит от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Эти параметры влияют на продолжительность процесса конвективной сушки и критическое влагосодержание материалов. Так, согласно экспериментальным данным ВостНИИ, при постоянной скорости движения и температуре воздуха повышение его относительной влажности с 60 % до 85 % увеличивает продолжительность сушки в 1,6 раза при одинаковом конечном влагосодержании угля. Увеличение скорости движения воздуха существенно повышает интенсивность сушки в первом периоде и значительно меньше сказывается в конце процесса сушки. При прочих равных параметрах повышение температуры воздуха в 3 раза увеличивает интенсивность сушки в первом периоде в 2,5 раза.

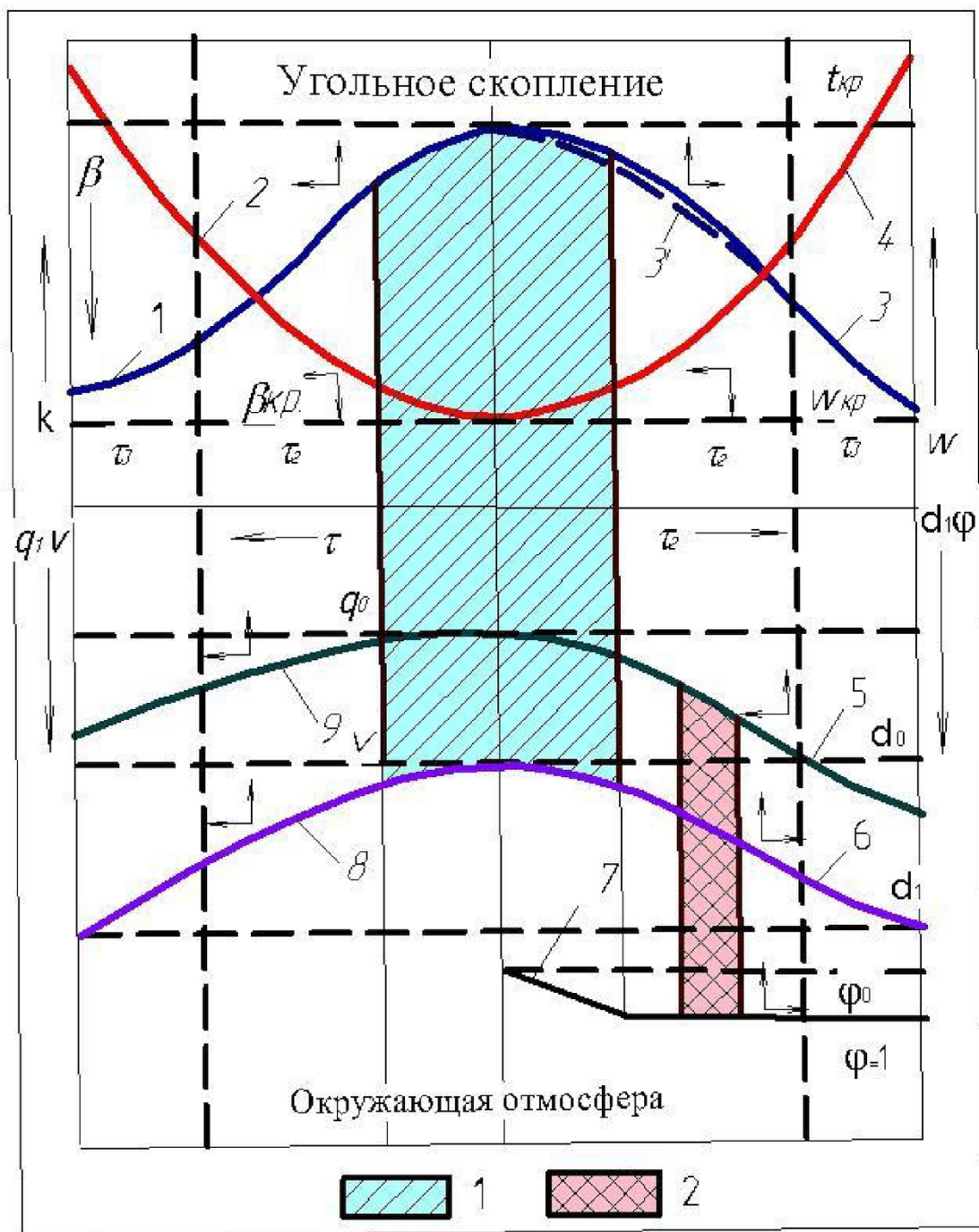


Рис. 1. Физическая модель механизма развития процесса самовозгорания угля: 1 – состояние системы «уголь – воздух», соответствующее выдвинутой гипотезе о формировании очагов самовозгорания угля; 2 – область параметров окружающей атмосферы воздуха при торможении процесса окисления и самонагревания угля

Fig. 1. The physical model of the mechanism of development of process of spontaneous combustion of coal: 1 – the state of the system "coal – air", put forward the corresponding hypothesis about the formation of foci of spontaneous combustion of coal; 2 – area environmental parameters of air at torme-NII process of oxidation and self-heating of coal

В реальных условиях шахты из рассмотренных выше параметров, влияющих на интенсивность сушки в начальный период, в значительных пределах может изменяться лишь скорость движения утечек воздуха через разрыхленные скопления угля в выработанном пространстве. Эти

изменения обусловлены главным образом неустойчивым проветриванием выемочных полей, особенно при наличии диагональных соединений, колебаниями барометрического давления на земной поверхности и повышением аэродинамического сопротивления выработанного пространства

при увеличении расстояния до очистного забоя. Сказанное даёт основания полагать, что в начальный период окисления угля интенсивность влагообмена определяется скоростью фильтрации воздуха через угольное скопление.

В процессе сушки в периоды времени τ_2 и τ_3 происходит замедление интенсивности влагообмена и уменьшение скорости сушки (см. рис.1, кривые 1 и 3) вследствие углубления зоны испарения и увеличения пути диффузии водяных паров внутри куска угля. Это приводит к сокращению расходуемого на испарение влаги количества выделяющегося тепла, большая часть которого воспринимается угольным веществом. По указанной причине температура угля повышается, что в свою очередь увеличивает скорость химической реакции окисления (см. рис.1, кривые 2 и 4). Причём в период времени τ_2 температура угля превышает температуру окружающей среды, а потоки тепла и влаги в куске угля имеют одинаковое направление (от угля к воздуху). Однако увеличение интенсивности испарения влаги в микро – и макрокапиллярах по мере роста температуры угля не компенсирует снижение коэффициента влагообмена $\beta_{\text{вл}}$ из – за повышения длины пути диффузии водяных паров.

Рост константы скорости реакции окисления в периоды времени τ_2 и τ_3 возможен лишь при увеличении притока кислорода внутрь куска угля. Поэтому развитие процессов самонагревания угля в эти периоды времени определяется условиями внутренней массопередачи кислорода, при которой скорость процесса сравнительно мало зависит от скорости потока.

Кинетика гетерогенного процесса, в котором диффузный перенос реагирующего вещества через поверхность раздела фаз сопровождается химической реакцией, может быть установлена с использованием метода, предложенного Д. А. Франк – Каменецким. Для рассматриваемой системы «уголь – воздух» диффузия происходит из фазы I (воздух) в фазу II (уголь), в которой протекает химическая реакция, а концентрация кислорода в объёме фазы I и на границе фаз $C = C_0$.

Тогда диффузия кислорода в угле описывается уравнением:

$$D(\delta^2 \cdot C / \delta^2 \cdot y) = \delta \cdot C / \delta \cdot \tau, \quad (1)$$

С учётом стока кислорода за счёт реакции окисления угля уравнение (1) принимает вид

$$D(\delta^2 \cdot C / \delta^2 \cdot y) = \delta \cdot C / \delta \cdot \tau + C \cdot k, \quad (2)$$

где k – константа скорости реакции окисления угля.

Решение уравнения (2) для стационарного режима с учётом краевого условия (при $y = 0$, $C = C_0$ имеет вид

$$C = C_0 \cdot e^{-\sqrt{k/D}y} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что глубина проникновения кислорода внутрь куска угля (y) зависит от соотношения между коэффициентом диффузии D и k – константой скорости реакции окис-

ления угля.

При стационарном процессе окисления угля поток кислорода к поверхности раздела фаз должен быть равен потоку в глубину куска угля, т.е.

$$\Pi = \beta'_k \cdot (C_0 - C) = C' \sqrt{D} \cdot k, \quad (4)$$

где β'_k – коэффициент внешней массопередачи кислорода; C' – коэффициент кислорода у поверхности угля.

Из баланса кислорода на границе фаз системы «уголь – воздух» определяем

$$C' = (\beta'_k \cdot C_0) / (\beta'_k + \sqrt{D} \cdot k); \quad \Pi = (\beta'_k \cdot C_0 \cdot \sqrt{D} \cdot k) / (\beta'_k + \sqrt{D} \cdot k) \quad (5)$$

В том случае, когда $\beta'_k < \sqrt{D} \cdot k$, поток кислорода определяется выражением $\Pi = (\beta'_k \cdot C_0)$, т.е. зависит от коэффициента внешней массопередачи. При развитии процесса окисления угля такое соотношение параметров может наблюдаться при относительно малых скоростях воздушного потока или при сравнительно высоких температурах, которые соответствуют уже сформировавшемуся очагу самовозгорания угля.

При $\beta'_k > \sqrt{D} \cdot k$, поток кислорода $\Pi = C_0 \cdot \sqrt{D} \cdot k$, т.е. скорость окисления угля определяется внутренней массоотдачей кислорода и протеканием химической реакции. Указанное сочетание параметров и существенное влияние их на процесс окисления могут быть при относительно высоких скоростях воздушного потока и при сравнительно низких температурах, которые обычно имеют место в начальный период самовозгорания угля. В этот период обычно происходит окисление главным образом свежееобнаженных поверхностей угля, общее количество сорбированного кислорода невелико, а диффузия его внутрь кусков затруднено вследствие того, что микро – и макропоры поры заполнены метаном и влагой.

При углублении зоны испарения и увеличения регулирующей поверхности для интенсификации процесса окисления угля необходимо повышения расхода кислорода, что в свою очередь требует увеличения скорости воздушного потока (рис.1 кривые 8 и 9). Фактором имитирующим развитие процесса в целом в этот период, может быть или внутренняя массопередача кислорода в соответствии с рассмотренными выше соотношениями параметров.

Отсутствие перепада влагосодержаний между поверхностью и центром кучков угля, что имеет место в период времени τ_3 , характеризуется развитием процесса окисления по всему объёму кусков и наибольшими значениями объёма поглощённого кислорода и скорости воздушного потока (рис.1 кривые 8 и 9) [1 – 22].

Выводы

1. Результаты анализа теоретических положений разработанной физической модели механизма развития процесса самовозгорания угля показали определяющее влияние на продолжительность начальной стадии окисления внешней массопере-

дачи влаги (от угольного скопления к окружающей атмосфере) в соответствии с выдвинутой гипотезой формирования очагов эндогенных пожаров. Причём поток влаги в указанном направлении зависит от параметров термодинамического состояния системы «уголь – воздух» в период времени τ_1 , (рис. 1, заштрихованная область «А»);

2. В том случае, если проходящий через угольное скопление воздушный поток, начиная с некоторого момента времени, имеет термодинамические параметры, расположенные в области «Б» на рис.1, то будет происходить внутреннее

увлажнение угля. Это обусловлено направленностью тепло – и влагообменных процессов, которые сопровождаются охлаждением воздушного потока, конденсацией водяных паров на поверхности кусков и замедлением скорости сушки и окисления угля. Поэтому поддержание указанных термодинамических параметров окружающей среды является по существу альтернативным техническим решением по торможению развития процесса окисления и самонагрева угольного скопления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Временное руководство по выбору технологических схем проветривания и управления газовыделением на выемочных участках. ВостНИИ, Москва, 1984. - 73с.
2. Руководство по применению способов торможения развития самонагрева угля в выработанных пространствах выемочных полей шахт. ВостНИИ, Кемерово, 1985. - 60с.
3. Возникновение очагов самовозгорания угля в шахтах / Л.П. Белавинцев // Уголь. – 1985. -№ 7. – С. 43 - 45.
4. Способ предупреждения эндогенных пожаров в действующих выемочных полях. /В.О. Торро, Л.П. Белавинцев и др. // Авторское свидетельство № 1693258, 22 июля 1991 г.
5. Разработать комплексный способ и схемы профилактики эндогенных пожаров при слоевой выемке из мощных пологих и наклонных пластов / Л.П. Белавинцев, В.О. Торро и др. // Отчет ВостНИИ, № гос. Регистрации 01910051535. Кемерово, 1993.
6. Способ разработки мощных пологих угольных пластов / Ю. И. Морозов, Н. Г. Сердобинцев, В. О. Торро и др. // Патент №2039262, 1995. – 7с.
7. Руководство по применению способа профилактики эндогенных пожаров на принципе интенсификации дезактивации угля в шахтах Кузбасса / П. П. Белавинцев, В. А. Голунь, С. П. Ворошилов, З. С. Быкова, В. О. Торро и др. // Министерство топлива и энергетики, ВостНИИ, Кемерово, 1997. – 18с.
8. Аэродинамический способ предупреждения эндогенных пожаров в шахтах / Л. П. Белавинцев, В. О. Торро, и др. // Уголь. – 1994. -№11. – С.37-38.
9. Механизм развития процесса самовозгорания угля / В.О. Торро, А.В. Ремезов, Н.В. Рябков и др. III научно – практическая конференция с международным участием «Науки о Земле: современное состояние и приоритеты развития» 29 – 30 апреля 2015 г., Дубай (ОАЭ). Академический журнал Западной Сибири. – 2015. - № 2(57) том 11. – С. 82 – 85.
10. Анализ схем проветривания выемочных полей на мощных угольных пластах / В. О. Торро, В.П. Тациенко, А. В. Ремезов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2015 - № 5. – С. 15 – 22.
11. Основные закономерности формирования очагов самонагрева угля / В. О. Торро, А. В. Ремезов // Международный академический вестник. – 2015 г. – № 2(8). – С. 137 – 143.
12. Слеживаемость обрушенных пород мощных пологих пластов Кузнецкого бассейна / В.О. Торро, В.П. Белов, А.В. Ремезов, С.И. Калинин // VII Межрегиональная научно-техническая конференция «Освоение минеральных ресурсов Севера», Воркута. - 2008. – С. 89-93
13. Опыт отработки мощных пластов пологого залегания / В. О. Торро, В. П. Белов, А. В. Ремезов // Уголь, 2008 – №1. С. 11-14.
14. Исследование проявления горного давления при отработке мощного пласта с выпуском угля из подкровельной пачки / В.О. Торро, С.И. Калинин, Н.Г. Сердобинцев, И.С. Биктимиров, С.А. Новосельцев // Уголь.-2009.- №1.- С.64-67.
15. Опыт отработки мощных пологих пластов в Кузбассе / В.О. Торро, В.А. Ремезов и др. // Кемерово: ООО «ОФСЕТ», 2015. – 898с.
16. Необходимость создания интеллектуальных систем нового уровня управления всех технологических процессов для обеспечения безопасности труда при подземной добыче угля / А.В. Ремезов, В.О.Торро и др. // III Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», Междуреченск. - 2014. – С. 58-59.
17. Разработка технологических схем отработки мощных пологих пластов наклонными слоями с восходящим порядком выемки слоев / В. О. Торро, А. В. Ремезов // Материалы II Международной научно-практической конференции, Уфа, 29-30 сентября 2014 г.- РИО ИЦИПТ (Исследовательский центр Информационно-правовых технологий). – С. 131-143.

18. Разработать требования к ведению горных работ при схемах проветривания с подсыжением восходящей струи воздуха / В.М. Маевская, З.С. Быкова // Отчет ВостНИИ, № гос. Регистрации 01826039430. Кемерово, 1984 г. – 76 с.
19. Оценка и выбор технологических схем проветривания при проектировании горных работ на пластах самовозгорающегося угля / В.М. Маевская, З.С. Быкова и др. // Тр. ВостНИИ. Предупреждение эндогенных пожаров в шахтах. Кемерово – 1986 г. С. 2 – 13. – Библиогр. : с. 12 – 13 (4 наим.).
20. Белавинцев Л.П. Возникновение очагов самовозгорания угля в шахтах // Уголь. – 1985 г. - № 7. – с. 43 – 45.
21. С.А. Гончаров. Термодинамика / Москва, Изд. МГГУ, 2002. – 440 с.
22. В. Г. Ерохин, М. Г. Маханько. Основы термодинамики и теплотехники / Москва, ЛЕНАНД, 2014. – 232 с.

REFERENCES

- 1 Vremennoe rukovodstvo po vyboru tehnologicheskikh shem provetrivaniya i upravleniya gazovydeleniem na vyemochnykh uchastkakh. VostNII, Moskva, 1984. - 73s. (rus)
2. Rukovodstvo po primeneniyu sposobov tormozheniya razvitiya samonagrevaniya uglja v vyrabotannykh prostranstvakh vyemochnykh polej shaht. VostNII, Kemerovo, 1985. - 60s. (rus)
3. Vozniknovenie ochagov samovozgoraniya uglja v shahtah / L.P. Belavincev // Ugol'. – 1985. -№ 7. – S. 43 - 45. (rus)
4. Sposob preduprezhdeniya jendogennykh pozharov v dejstvujushchih vyemochnykh poljah. /V.O. Torro, L.P. Belavincev i dr. // Avtorskoe svidetel'stvo № 1693258, 22 ijulja 1991 g. (rus)
5. Razrabotat' kompleksnyj sposob i shemy profilaktiki jendogennykh pozharov pri sloevoj vyemke iz moshhnykh pologih i naklonnykh plastov / L.P. Belavincev, V.O. Torro i dr. // Otchet VostNII, № gos. Registracii 01910051535. Kemerovo, 1993. (rus)
6. Sposob razrabotki moshhnykh pologih ugol'nykh plastov / Ju. I. Morozov, N. G. Serdobincev, V. O. Torro i dr. // Patent №2039262, 1995. – 7s. (rus)
7. Rukovodstvo po primeneniyu sposoba profilaktiki jendogennykh pozharov na principie intensivizacii dezaktivacii uglja v shahtah Kuzbassa / P. P. Belavincev, V. A. Golun', S. P. Voroshilov, Z. S. Bykova, V. O. Torro i dr. // Ministerstvo topliva i jenergetiki, VostNII, Kemerovo, 1997. – 18s. (rus)
8. Ajerodinamicheskij sposob preduprezhdenija jendogennykh pozharov v shahtah / L. P. Belavincev, V. O. Torro, i dr. // Ugol'. – 1994. -№11. – S.37-38. (rus)
9. Mehanizm razvitiya processa samovozgoraniya uglja / V.O. Torro, A.V. Remezov, N.V. Rjabkov i dr. III nauchno – prakticheskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem «Nauki o Zemle: sovremennoe sostojanie i priority razvitiya» 29 – 30 aprelja 2015 g., Dubai (OAJe). Akademicheskij zhurnal Zapadnoj Sibiri. – 2015. - № 2(57) tom 11. – S. 82 – 85. (rus)
10. Analiz shem provetrivaniya vyemochnykh polej na moshhnykh ugol'nykh plastah / V. O. Torro, V.P. Taccienko, A. V. Remezov // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh, 2015 - № 5. – S. 15 – 22. (rus)
11. Osnovnye zakonomernosti formirovaniya ochagov samonagrevaniya uglja / V. O. Torro, A. V. Remezov // Mezhdunarodnyj akademicheskij vestnik. – 2015 g. – № 2(8). – S. 137 – 143. (rus)
12. Slezhivaemost' obrushennykh porod moshhnykh pologih plastov Kuzneckogo bassejna / V.O. Torro, V.P. Belov, A.V. Remezov, S.I. Kalinin // VII Mezhhregional'naja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Osvoenie mineral'nykh resursov Severa», Vorkuta. - 2008. – S. 89-93/ (rus)
13. Opyt otrabotki moshhnykh plastov pologogo zaleganiya / V. O. Torro, V. P. Belov, A. V. Remezov // Ugol', 2008 – №1. S. 11-14. (rus)
14. Issledovanie projavlenija gornogo davlenija pri otrabotke moshhnogo plasta s vy-puskom uglja iz podkrovel'noj pachki / V.O. Torro, S.I. Kalinin, N.G. Serdobincev, I.S. Biktimirov, S.A. Novosel'cev / Ugol'.- 2009.- №1.- S.64-67. (rus)
15. Opyt otrabotki moshhnykh pologih plastov v Kuzbasse / V.O. Torro, V.A. Remezov i dr. // Kemerovo: OOO «OFSET», 2015. – 898s. (rus)
16. Neobhodimost' sozdaniya intellektual'nykh sistem novogo urovnja upravlenija vseh tehnologicheskikh processov dlja obespechenija bezopasnosti truda pri podzemnoj dobyche uglja / A.V. Remezov, V.O.Torro i dr. // III Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Sovremennye tendencii i innovacii v nauke i proizvodstve», Mezhdurechensk. - 2014. – S. 58-59. (rus)
17. Razrabotka tehnologicheskikh shem otrabotki moshhnykh pologih plastov naklonny-mi slojami s voshodjashhim porjadkom vyemki sloev / V. O. Torro, A. V. Remezov // Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskaj konferencii, Ufa, 29-30 sentjabrja 2014 g.- RIO ICIPT (Issledovatel'skij centr Informacionno-pravovykh tehnologij). – S. 131-143. (rus)
18. Razrabotat' trebovaniya k vedeniju gornyx rabot pri shemah provetrivaniya s pod-svezheniem

voshodjashhej strui vozduha / V.M. Maevskaja, Z.S. Bykova // Otchet VostNII, № gos. Registracii 01826039430. Kemerovo, 1984 g. – 76 s. (rus)

19. Ocenka i vybor tehnologicheskikh shem provetrivanija pri proektirovanii gornyh rabot na plastah samovozgoajushhegosja uglja / V.M. Maevskaja, Z.S. Bykova i dr. // Tr. Vos-tNII. Preduprezhdenie jendogennyh pozharov v shahtah. Kemerovo – 1986 g. S. 2 – 13. – Bib-liogr. : s. 12 – 13 (4 naim.). (rus)

20. Belavincev L.P. Vozniknovenie ochagov samovozgoranija uglja v shahtah // Ugol'. – 1985 g. - № 7. – s. 43 – 45. (rus)

21. Termodinamika S.A. Goncharov / Moskva, Izd. MGGU, 2002. – 440 s.

22. Osnovy termodinamiki i teplotehniki V. G. Erohin, M. G. Mahan'ko / Moskva, LENAND, 2014. – 232 s. (rus)

Поступило в редакцию 26.05.2016

Received 26 May 2016