

УДК 622.272.6: 519.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОТЕКАНИЯ АЭРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ САМОНАГРЕВАНИИ УГОЛЬНОГО СКОПЛЕНИЯ

STUDY OF REGULARITIES OF THE AERO-THERMODYNAMIC PROCESSES DURING THE SELF-HEATING OF COAL ACCUMULATION

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:** Гипотеза формирования очагов самонагревания угля выдвинута в связи с тем, что предлагаемые в настоящее время для оценки эндогенной пожароопасности выемочных полей различные математические модели и методы прогноза не всегда приемлемы для решения практических задач профилактики эндогенных пожаров. Проверка гипотезы осуществлена путём проведения комплекса исследований, в результате которого определены критерии и безразмерные коэффициенты, оказывающие наиболее сильное влияние на формирование и развитие очагов самонагревания.*

***Abstract:** the Hypothesis of formation of self-heating of coal is advanced due to the fact that as currently proposed to assess endogenous Pozarevac-surface mining and various fields of mathematical models and methods predict all not-always acceptable to solve practical problems of the prevention of endogenous fires. Test of hypothesis carried out by conducting complex studies, as a result of which the criteria and the dimensionless coefficients that provide the most powerful influence on the formation and development of foci of self-heating.*

***Ключевые слова:** пожароопасность, тепломассообменные и окислительные процессы, система «уголь – воздух», внешний влагообмен, окисление угля.*

***Keywords:** fire risk, heat and mass transfer and oxidation processes, the system "coal – air", the external moisture, the oxidation of coal.*

Успешная борьба с эндогенными пожарами невозможна без понимания процессов происходящих в угольных скоплениях и обуславливающих самонагревание и самовозгорание угля. Общеизвестно, что причиной их возникновения является превращение энергии, выделяющейся в процессе химической реакции окисления угля и содержащихся в нем примесей, в тепловую энергию.

Существует ряд теорий, с помощью которых предпринимались попытки объяснить сущность процесса самовозгорания, например: пиритная теория, выдвинутая Ю. Либихом (1860г.), фенольная теория, теория угольно – кислородных компонентов и др. Общим для этих теорий является то обстоятельство, что в них рассматривается прежде всего процесс химического реагирования кислорода с углём и имеющимися в нём примесями,

абстрагируясь при этом от реальных физических условий, в которых протекает этот процесс. В дальнейшем ряд учёных (А. А. Скочинский, Л. Д. Шевяков, В. Ф. Парусимов и др.) занялись изучением процесса самовозгорания угля с учётом реального влияния конкретных горно-геологических и горнотехнических факторов. В результате был выявлен ряд управляемых факторов, влияющих на эндогенную пожароопасность и на основе этого разработать рекомендации по профилактике и тушению эндогенных пожаров (изоляция выработанного пространства, применение технологии отработки с закладкой выработанного пространства, деление выемочного поля на отдельные блоки с оставлением меду ними целиков, контроль за ранними признаками самовозгорания, проведение вскрывающих выработок по породе и т.п.).

Поскольку обработка пластов самовозгорающегося угля сопряжена с опасностью возникновения эндогенных пожаров, возникновение которых обусловлено совокупным взаимодействием различных факторов, в настоящее время изучение процесса самовозгорания угля требует комплексного подхода. В нём процесс самовозгорания должен быть рассмотрен как химический по сути, но протекающий в оптимальных для его развития конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях, с обязательным учётом теплофизической, термодинамической составляющей.

При этом должна быть рассмотрена природа ископаемых углей с учётом того, что они состоят из органической массы, минеральных примесей и влаги. Органической массы входят углерод, водород, кислород, азот, сера, фосфор. В органической массе угля установлено наличие четырёх микрокомпонентов: витрена, кларена, дюрена, фюзена. Молекулярная структура угля в виду её сложности до сих пор полностью не исследована.

Пористая структура углей предопределяет характер газовыделения и интенсивности проникновения в уголь воды и кислорода, а также обуславливает большую площадь их внутренней поверхности.

Реакция окисления угля кислородом является гетерогенной, происходящей на границе между твёрдой поверхностью и газом. Обычно гетерогенные химические реакции проходят ряд последовательных стадий:

- диффузия исходных веществ к поверхности раздела фаз, где протекает реакция;
- адсорбция исходных веществ на этой поверхности;
- химическая реакция, начинающаяся с поверхности слоя;
- десорбция частиц продуктов реакции, образовавшихся в пограничном слое;
- диффузия частиц из реакционной зоны вглубь одной из фаз.

Первую и пятую стадии называют диффузионными, все остальные кинетическими. При этом, если константа скорости диффузионной стадии меньше константы скорости кинетической стадии, то скорость процесса определяется скоростью диффузии и сам процесс находится в диффузионной области [1 – 12].

Всё это послужило базой для создания гипотезы о формировании очагов самовозгорания угля и определения параметров тепло- и массообмена при развитии процесса окисления в гетерогенной системе «уголь – воздух».

Под эндогенной пожароопасностью пласта понимается комплекс природных и горнотехнических факторов, определяющих вероятность очага самовозгорания угля. Так как действие факторов реализуется через контакт разрыхленного угля в выработанном пространстве (на границе с выработанным пространством) с воздухом. Меры по

снижению эндогенной пожароопасности включают в себя предотвращение доступа воздуха и времени контакта воздуха с разрыхленным углём.

Вначале следует отметить, что зонами повышенной эндогенной пожароопасности при обработке мощных пологих пластов с применением слоевых систем разработки являются:

1. Монтажные и демонтажные камеры, где выработанное пространство практически не уплотняется, в связи с опорой обрушенных пород кровли на целик;

2. Целики, оставляемые в выработанном пространстве в зонах геологических нарушений как переходимых, так и непереходимых механизированными комплексами;

3. Межслоевые пачки угля значительной мощности (более 0,4 м). подрабатываемые нижележащими слоями;

4. Целики угля (стенки) между выемочными столбами шириной более 2,0 м, на границе с которыми происходит движение воздуха по выработкам со значительным аэродинамическим сопротивлением из-за малого их сечения.

Из этого следует, что при обработке мощных пологих пластов с применением слоевых систем разработки очаги самовозгорания угля приурочены к местам концентрированных потерь, расположенных в зонах фильтрации воздуха.

В связи с ухудшением горно-геологических условий залегания пластов с увеличением глубины ведения горных работ роль горнотехнических мероприятий в профилактике эндогенных пожаров значительно снизилась. Для компенсации отрицательного влияния геологических факторов необходимо изыскание специальных профилактических мероприятий, направленных в первую очередь на торможение химической реакции окисления угля. В связи с этим актуальное значение имеет разработка нового принципа торможения окисления угля, учитывающего закономерности протекания аэротермодинамических процессов при самонагревании угольного скопления и позволяющего эффективно управлять ими в необходимых для практического применения направлениях.

Для оценки эндогенной пожароопасности выемочных полей предложены математические модели температурного поля нагревающегося угольного скопления. Существенным недостатком предложенных решений является то, что в них условия протекания процесса самовозгорания угля идеализированы, а фактор времени практически не учитывается или считается недостаточно корректно. Указанный метод не нашёл практического применения, а выбор, разработку и планирование профилактических мероприятий по предупреждению возникновения эндогенных пожаров производят с учётом опасности намеченного к обработке пласта по склонности угля к самовозгоранию.

Для оценки эндогенной пожароопасности выемочных полей используются математические

модели температурного поля нагревающегося угольного скопления. Однако полученные аналитические результаты, несмотря на преимущественно правильное отражение физических закономерностей, не всегда приемлемы для решения практических задач профилактики эндогенных пожаров. Существенным недостатком таких решений является то, что в них, как правило, условия протекания процесса самовозгорания угля идеализированы, а фактор времени практически не учитывается или учитывается недостаточно корректно. Так предложенные методы прогноза эндогенной пожароопасности горных работ основаны на определении или критических параметрах (мощность, температура скопления угля, скорость фильтрации воздуха), или частоты возникновения эндогенных пожаров в зависимости от количественных и качественных факторов, обуславливающих самовозгорание угля и определяемых статистическим анализом. В условиях шахт Восточных районов России указанные методы не нашли широкого практического применения, а выбор и планирование пожаропрофилактических мероприятий производят с учётом опасности намечаемого к разработке пласта по склонности угля к самовозгоранию.

Необходимо отметить, что многообразие тематических моделей, объясняющих протекание аэродинамических процессов в выработанных пространствах шахт, обусловлено не только сложностью проблемы, но и во многом зависит от недостатка инструментальных исследований количественного значения факторов и закономерностей, предопределяющих развитие теплофизических явлений при самонагревании угля. К таким факторам следует отнести температуру и влагосодержание угля и проходящего воздуха, динамика изменения которых определяет интенсивность протекания теплообменных и окислительных процессов. Однако применительно к тепловому состоянию системы «уголь – воздух» исследования указанных факторов производились преимущественно с целью определения роли влажности угля в развитии его самовозгорания. Следует отметить, что влиянию теплофизических параметров рудничного воздуха на окислительные процессы до последнего времени не предавалось существенного значения, а изучение условий формирования этих параметров проводилось в основном для выбора рациональных способов управления тепловым режимом шахт, а также с целью обнаружения ранних стадий самовозгорания угля.

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: объёмом, 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 однородных 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, делящимися 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. [1-12]

Для проверки гипотезы о формировании очагов самовозгорания угля и определения параметров тепло- и массообмена при развитии процесса окисления в гетерогенной системе «уголь – воздух» выполнен термодинамический анализ результатов проведённого ВостНИИ крупномасштабного эксперимента по установлению динамики самовозгорания угля в опытных камерах, замазанированных углём и в шахтных условиях. Установлено, что по характеру изменения влажности угля процесс его самовозгорания возможно разделить на три стадии: разогревание, интенсивное испарение влаги из угля и углубление зоны испарения. Рассмотренные стадии составляют по существу инкубационный период самовозгорания, который тем продолжительнее, чем выше прирост

ная (естественная) влажность угля, меньше его сорбционная способность к кислороду и приток воздуха [1–3,6–8].

Уголь является капиллярно – пористым телом, поэтому внутренний массообмен в нём через обнажённую поверхность представляет ряд последовательных и противоположно направленных стадий, которые могут протекать по следующим схемам:

1. Струйное и диффузное выделение метана – диффузия кислорода – окисление угля;

2. Диффузия и термодиффузия влаги – испарение влаги – внешний влагообмен – диффузия кислорода – окисление угля. Из теории гетерогенных реакций известно, что результирующая скорость развития такого многостадийного процесса определяется скоростью наиболее медленной стадии.

В первой схеме стадией, лимитирующей скорость химической реакции окисления, является струйное выделение метана, которое протекает в течение двух, трёх суток. Интенсивное окисление свежееобнаженной поверхности макро – и микропор, открывшихся после выделения метана, может происходить при значительном притоке воздуха и приводит к самонагреванию угольного скопления. Для дальнейшего развития процесса самонагревания угля необходимо увеличение реагирующей поверхности, что может быть достигнуто только за счёт раскрытия макро- и микропор, заполненных влагой. Поэтому при развитии процесса окисления по второй схеме наиболее медленной стадией следует считать диффузию и термодиффузию влаги из угля.

Для проверки рассмотренных положений определены по общепринятым методикам параметры массообмена влаги и кислорода в системе «уголь – воздух» применительно к развитию процесса самовозгорания угля в указанных выше опытных камерах (табл. 1).

С увеличением температуры в самонагреваемом угольном скоплении коэффициент влагообмена повышается и достигает максимума при

снижении влагосодержания угля на 40 % от начального, а затем уменьшается до минимального значения при практической влажности угольного вещества (табл. 1). Установленная закономерность подтверждается также анализом теплового баланса кинетики сушки угольного скопления в опытной камере, из которого следует, что уменьшению коэффициентов влагообмена и массопереноса кислорода из воздушного потока соответствует стадия углубления зоны испарения влаги из угля.

Из данных табл. 1 следует, что $\beta'_{вл.} \gg \beta'_{к.}$ т.е. наиболее медленной стадией, лимитирующей скорость процесса окисления угля, является влагообмен в угольном скоплении. Данный вывод подтверждает выдвинутую гипотезу о формировании очагов самовозгорания угля.

Для расчёта параметров тепло – и массообмена при формировании очага самовозгорания угля в шахтных условиях получено критериальное уравнение:

$$N_{и\dot{q}} \approx N_{\dot{e}\dot{o}} = A \cdot Re^i \cdot P_r^{0,43} \cdot G_e^{\dot{o}} \quad (1)$$

где: $N_{и\dot{q}}, N_{и\dot{m}}$ – соответственно тепло- и массообменный критерии Нуссельта; Re, P_r – соответственно критерии Рейнольдса и Прандтля, определяемые, по общеизвестным формулам;

G_e – критерий Гухмана, вычисляемый из выражения:

$$G_u = \frac{T_{\dot{y}\dot{e}} - T_{\dot{e}}}{T_{\dot{e}}} \quad (2)$$

где: $T_{\dot{y}\dot{e}}, T_{\dot{e}}$ – максимальная температура угля и воздуха соответственно.

В диапазоне значений теплообменного критерия $F_{о\dot{q}} = 50-200$, коэффициенты A, n, m – определяются в зависимости от критерия Рейнольдса по табл. 2

Таблица 1. Коэффициенты массопереноса кислорода из воздушного потока ($\beta'_{к.}$) и влагообмена ($\beta'_{вл.}$) при развитии процесса самонагревания угля в шахтных условиях
Table 1. The coefficients of mass transfer of oxygen from an air stream ($\beta'_{к.}$) and possession of hoomana ($\beta'_{вл.}$) with the development of the process of heating coal in the mine conditions

Температура угля, °С	Коэффициент влагообмена*, $\beta'_{вл.} \cdot 10^9, 1/с$	Коэффициент влагообмена**, $\beta'_{к.} \cdot 10^6, 1/с$	Соотношение между параметрами $\beta'_{вл.}$ и $\beta'_{к.}$
14,5	3,1	6,0	0,52
21,0	4,4	10,5	0,42
34,0	8,4	39,3	0,21
47,0	2,0	24,2	0,08
52,0	1,1	23,4	0,05

* коэффициенты влагообмена отнесён к разности концентраций пара при температуре фаз системы «уголь – воздух»

** коэффициенты массопереноса кислорода из воздушного потока на $1 м^3$ угольного скопления в опытной камере для слоя с очагом интенсивного окисления угля

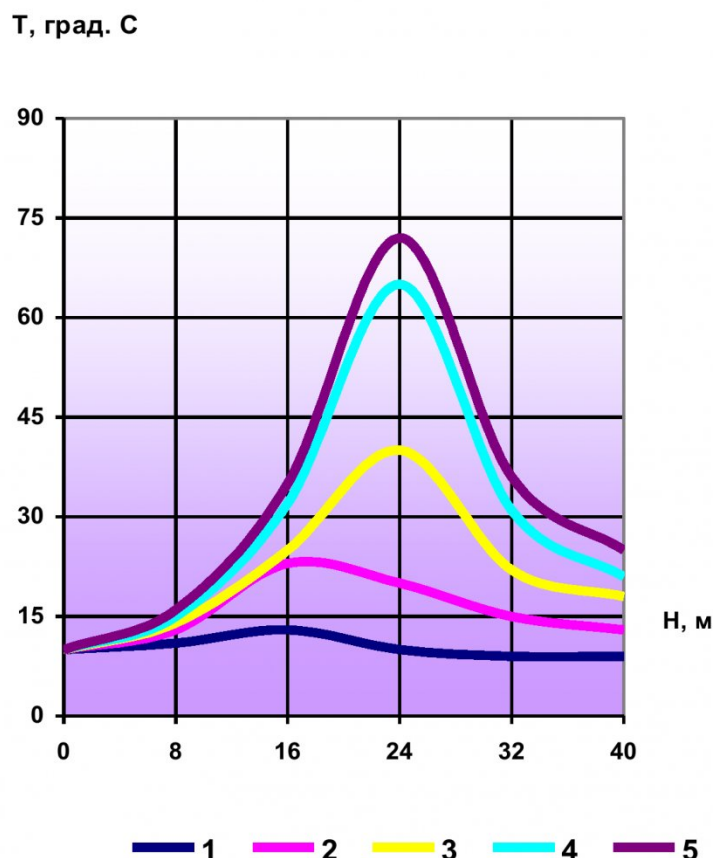


Рис. 1. Изменение температуры угля t° по высоте H опытной камеры при формировании в ней очага самовозгорания: 1, 2, 3, 4, 5 – при величине $Pe \cdot Fo$, равный соответственно $1 \cdot 10^3$; $2,3 \cdot 10^3$; $4,7 \cdot 10^3$; $8,7 \cdot 10^3$

Fig. 1. The change in temperature of the coal t° the height H of the experimental chamber during the formation of the research Institute of the center of spontaneous: 1, 2, 3, 4, 5 – when the value of $D \cdot Fo$, equal respectively $1 \cdot 10^3$; $2,3 \cdot 10^3$; $4,7 \cdot 10^3$; $8,7 \cdot 10^3$

Таблица 2. Таблица определения коэффициентов A, n, m
Table 2. Table determine the coefficients A, n, m

Критерий Рейнольдса, Re	Значения коэффициентов		
	A	n	m
20-28	0,059	0,33	0,15
29-40	0,098	0,51	0,20
41-60	0,016	0,80	0,30

С увеличением скорости движения воздуха через угольное скопление критерии N_{uq}, N_{um} возрастают, достигают максимума при $Re = 40$, а затем уменьшаются. Это можно объяснить как изменением режима движения воздуха, так и снижением интенсивности тепло – и массообмена вследствие углубления зоны испарения внутри кусков угля при значениях критерия Рейнольдса (Re) превышающих, указанную выше величину.

Как показал анализ уравнения (1) интенсивность тепло – и массообмена в угольном скоплении, а, следовательно, и скорость окислительного

процесса, зависит от стадии самонагрева и соответствующей ей температуры угля. Определяющее влияние на протекание указанных процессов оказывают критерий Re и G_u , о чём свидетельствует закономерное увеличение как абсолютных значений критериев Рейнольдса и Гухмана (G_u), так и показателей степеней при них по мере приближения температуры угля к критической величине ($80^\circ C$).

С увеличением критерия G_u уменьшается относительная влажность воздуха, что ускоряет сушку угля и способствует повышению интенсивности окислительного процесса. Поэтому на развитие самовозгорания угля существенное влияние оказывает режим движения воздуха и его относительная влажность, характеризуемые критериями Re и G_u .

Рассмотрение условий формирования очага самовозгорания угля в шахтных условиях (рис. 1) показало, что на некотором расстоянии от входа воздушной струи в угольное скопление устанавли-

ливается максимальная температура, которая убывает по мере удаления от очага.

Изменение относительной температуры по пути фильтрации воздуха в угольном скоплении для фиксированного момента времени может быть описано уравнением.

$$\Theta = \frac{t(x)}{t_{\max}} = \frac{1}{B \cdot \sqrt{2\pi} \cdot e^{\frac{(x-k)^2}{2B^2}}}, \quad (3)$$

Это уравнение по структуре аналогично известному в теории вероятности нормальному закону случайных величин. Из уравнения следует, что положение максимума температуры и его высота зависят от параметров B и k . Чем выше параметр B , тем выше максимум температуры, причём он смещается ближе к месту входа воздушной струи в угольное скопление при уменьшении значения параметра k .

Результаты натурных исследований показывают, что для данного периода времени, в течение которого процесс самонагрева угля можно принять квазистационарным, параметры B и k зависят соответственно от критериев:

$$C_1 = \frac{\beta_k \cdot H}{v}, \quad C_2 = \frac{v \cdot H}{a}, \quad (4)$$

где: β_k – коэффициент массопередачи кислорода из воздушного потока, 1/сек; a – температуропроводность угля, м²/сек; v – скорость движения воздуха через угольное скопление м/сек.

Критерий C_1 характеризует снижение концентрации кислорода вдоль фильтрационного потока и определяется как скоростью потока, так и протеканием химической реакции окисления угля. С увеличением критерия C_1 наблюдается резкое уменьшение концентрации кислорода, что в начальный период процесса свидетельствует о недостаточной скорости фильтрации, а при высоких температурах – о большом значении коэффициента массопередачи кислорода вследствие интенсивного протекания процесса окисления угля.

Критерий C_2 по размерности, входящих в него параметров является аналогом теплообменного критерия Пекле, характеризующего отношение изменения энтальпии потока к количеству тепла, переданного теплопроводностью. С увеличением критерия C_2 при повышении скорости движения воздуха (до оптимального значения) возрастает максимум температуры, который одновременно смещается по направлению фильтрационного потока воздуха. Как показали исследования, формирование очага самонагрева угля, особенно в начальный период, зависит также от местонахождения зоны адиабатического насыщения воздуха. Это подтверждается наличием критерия Гухмана, характеризующего относительную влажность воздуха, в уравнении 1. [2, 6 – 8]

Выводы

1. На основании исследований массо- и теплообмена в системе «уголь – воздух» установлено, что закономерности формирования очагов самовозгорания угля с учётом реального фактора времени заключаются в следующем:

1.1. Плотность результирующего потока влаги (от угля к воздуху) и генерация тепла при окислении угля в зависимости от времени имеют идентичный прогрессирующий характер в интервале скоростей фильтрации воздуха через угольное скопление $(2,5-4,6) \cdot 10^{-3}$ м/сек, соответствующих ламинарному и переходному режимам ($Re=25-41$);

1.2. При температуре угля 32-45°C и скорости фильтрации потока воздуха $(4,7-6,0) \cdot 10^{-3}$ м/сек, происходят уменьшение влагообмена и термодинамическая стабилизация гетерогенной реакции окисления в угольном скоплении вследствие углубления зоны испарения внутрь кусков угля и увеличения пути диффузии влаги;

1.3. При понижении температуры угля на 3-5°C и относительной влажности его до 60-70% во второй стадии кинетики сушки (интенсивное испарение влаги из угля) приводят к перемещению экстремума системы «уголь – воздух» в зону, опасную по возникновению эндогенных пожаров;

1.4. Период перехода процесса самонагрева угольного скопления в стадию возгорания наступает при снижении влажности угля в среднем на 60 % по сравнению с естественной и турбулентном режиме движения воздуха ($Re \geq 59$);

1.5. Предельное значение естественной влажности каменного угля, при котором экстремум системы «уголь – воздух» не переходит в опасную зону, составляет 8 %.

1.6. Установленные закономерности подтверждают выдвинутую гипотезу о формировании очагов самовозгорания угля, согласно которой наиболее значимым фактором, определяющим как развитие каждой из стадий этого процесса, так и переход их из одной в другую, является влагообмен в системе «уголь – воздух».

2. Выполненные исследования показали, что на формирование и развитие очагов самовозгорания угля в шахтных условиях наиболее сильное влияние оказывают критерии Re , G_u , F_o и безразмерные критерии C_1 и C_2 .

3. На базе полученных результатов исследований был обоснован и сформулирован аэротермодинамический принцип торможения процесса окисления и самонагрева угля. Сущность которого заключается в поддержании жёстко фиксированной области термодинамического состояния гетерогенной системы «уголь - воздух» и переводе её экстремума в зону, неблагоприятную для возникновения эндогенных пожаров, за счёт изменения направленности протекания влагообмена между фазами этой системы при целенаправленном регулировании аэродинамических и теплофи-

зических параметров воздуха.

4. Актуальность разработанного принципа состоит в следующем:

4.1. Использование данного принципа позволяет осуществить термодинамическую стабилизацию и управление скоростью процесса окисления путём регулирования аэродинамических и теплофизических параметров утечек воздуха за счёт создания аэродинамического барьера в системе

«уголь – воздух» и поддержания естественной влажности угля при обеспечении условий, исключающих сушку угольного скопления;

4.2. Разработанный принцип явился научной основой для разработки новых технических решений по предупреждению возникновения эндогенных пожаров при выемке пластов угля в сложных горно-геологических условиях шахт [2,6 – 8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белавинцев Л. П. Возникновение очагов самовозгорания угля в шахтах // Уголь. – 1985 г. - № 7. – с. 43 – 45.
2. Разработать комплексный способ и схемы профилактики эндогенных пожаров при слоевой выемке из мощных пологих и наклонных пластов / М. П. Белавинцев, В. О. Торро и др. // Отчет ВостНИИ, Кемерово, 1993.
3. 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. – 18 с.
4. 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.
5. 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.
6. Опыт отработки мощных пологих пластов в Кузбассе / В.О. Торро, А. В. Ремезов и др. // Кемерово: ООО «ОФСЕТ», 2015. – 898 с.
7. Анализ схем проветривания выемочных полей на мощных угольных пластах / В. О. Торро, В. П. Тащненко, А. В. Ремезов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015 г. – № 5. – С. 15-22.
8. Основные закономерности формирования очагов самонагревания угля / В. О. Торро, А. В. Ремезов // Международный академический вестник. – 2015 г. – № 2(8). – С. 137-143.
9. Термодинамика С.А. Гончаров. – Москва, Изд-во МГГУ, 2002. – 440 с.
10. Основы термодинамики и теплотехники В. Г. Ерохин, М. Г. Маханько / Москва, ЛЕНАНД, 2014. – 232 с.
11. Игишев. В. Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах / Москва, Недра, 1987. – 177 с.
12. Предупреждение и тушение эндогенных пожаров В. В. Егосин, Е. В. Кухаренко / Кемерово, 1992. – 125 с.

REFERENCES

1. Belavincev L. P. Vozniknovenie ochagov samovozgoranija uglja v shahtah // Ugol'. – 1985 g. - № 7. – s. 43 – 45. (rus)
2. Razrabotat' kompleksnyj sposob i shemy profilaktiki jendogennyh pozharov pri sloevoj vyemke iz moshhnyh pologih i naklonnyh plastov / M. P. Belavincev, V. O. Torro i dr. // Otchet VostNII, Kemerovo, 1993. (rus)
3. Rukovodstvo po primeneniju sposoba profilaktiki jendogennyh pozharov na principe intensivatsii dezaktivatsii 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. – 18 s. (rus)
4. Razrabotka tehnologicheskikh shem otrabotki moshhnyh pologih plastov na-klonnyimi slojami s voshodjashhim porjadkom vyemki sloev / V. O. Torro, A. V. Remezov // Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ufa, 29-30 sentjabrja 2014 g. – RIO ICIPT (Issledovatel'skij centr Informacionno-pravovyh tehnolo-gij). – S. 131-143. (rus)
5. Neobhodimost' sozdaniya intellektual'nyh 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)