

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-2-67-74

УДК 622.271.3

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ЭНДОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

## IMPROVEMENT OF SPONTANEOUS COAL COMBUSTION FORECAST METHODS IN COAL MINES

**Цибаев Сергей Сергеевич**,  
старший преподаватель, e-mail: cibaevss@kuzstu.ru  
**Sergey S. Tsibaev<sup>1</sup>**, Senior lecturer  
**Кравченко Иван Александрович**,  
студент, e-mail: ivan-4846@yandex.ru  
**Ivan A. Kravchenko**, student  
**Зорков Данил Викторович**,  
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: zorkovdv@kuzstu.ru  
**Danil V. Zorkov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, street Vesennyaya, Kemerovo,  
650000, Russian Federation

### **Аннотация:**

*Приведены результаты анализа современного состояния проблемы возникновения эндогенных пожаров при отработке угольных пластов в шахтах. Рассмотрено влияние горно-геологических условий на эффективность и безопасность отработки пластов, склонных к самовозгоранию. Показана необходимость комплексного подхода к решению проблемы эндогенных пожаров при отработке запасов в сложных горно-геологических условиях. Выявлены характерные участки, а также факторы возникновения очагов эндогенных пожаров. Предложена классификация методов прогноза и локализации эндогенных пожаров на угольных шахтах, включающая три основные группы: организационно-технологические, мероприятия по контролю и мониторингу аэрологической ситуации выемочного участка, методы локального предотвращения возникновения эндогенной пожароопасности. На примере отработки мощного пласта с применением технологии выпуска подкровельной пачки угля, как наиболее уязвимой по фактору эндогенной пожароопасности предложены технические и организационные решения по совершенствованию прогноза пожаров в границе выемочного участка. Они включают в себя дополнения и расширение сети датчиков аэрогазового контроля, хемометрический анализ полученных данных, сбор и обработку основных технологических параметров работы выемочного участка. На основе полученных данных выдается прогноз безопасных технологических параметров работы выемочного участка, учитывающих граничные условия хемометрического мониторинга.*

**Ключевые слова:** подземные горные работы, эндогенные пожары, хемометрика, контроль рудничной атмосферы, выпуск под кровельной пачки угля

### **Abstract:**

*Here in the results of the analysis of the current state of the problem of the occurrence of endogenous fires during mining of coal seams in mines. The influence of mining and geological conditions on the efficiency and safety of mining seams prone to spontaneous combustion is considered. The need for an integrated approach to solving the problem of spontaneous combustion during mining in difficult mining and geological conditions is shown. The specific areas as well as factors of spontaneous combustion occurrence were identified. A classification of methods for predicting and localizing spontaneous combustion in coal mines is proposed, which includes three main groups: organizational and technological measures, measures to control and monitor the aerological situation of the mine panel, and methods for local prevention of the occurrence of spontaneous combustion hazard. On the example of mining a thick coal seam using the technology of top coal caving, as the*

most endangered fire hazard factor, technical and organizational solutions are proposed to improve the forecast of fires at the boundary of a mining site. They include expansion of the network of air-gas control sensors, chemometric analysis of the obtained data, collection and processing of the main technological parameters of the mine panel. Based on the obtained data, a forecast is made of safe technological parameters of the excavation site, taking into account the boundary conditions of chemometric monitoring.

**Key words:** underground mining, endogenous fire, chemometrics, mine atmosphere control, top coal caving.

В настоящее время при прогрессивно развивающихся технологиях добычи угля подземным способом вопросы обеспечения безопасности труда горнорабочих при отработке пластов, склонных к самовозгоранию, приобретают высокую актуальность. В связи с

этим возникает угроза здоровью и жизни горнорабочих, снижается эффективность использования высокопроизводительных механизированных комплексов из-за аварийных простоев. Все это влечет за собой большие материальные затраты и приводит к снижению

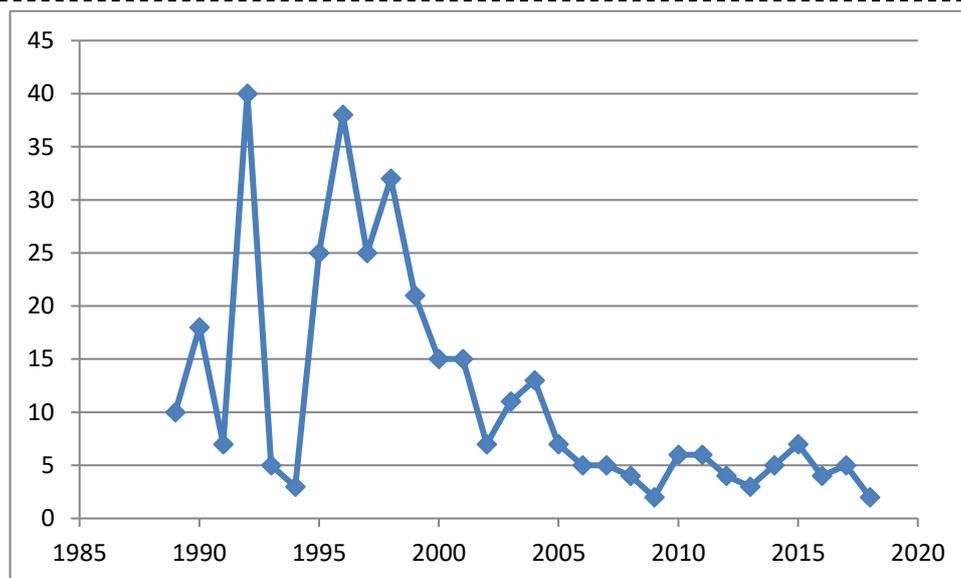


Рис. 1. Зарегистрированные эпизоды возникновения эндогенных пожаров за период с 1989 по 2011 гг.

Fig. 1. Reported episodes of endogenous fires for the period from 1989 to 2018

Таблица 1. Оценка ущерба от аварий на шахтах Кузбасса

Table 1. Assessment of damage from accidents in the mines of Kuzbass

№	Дата	Организация	Вид аварии	Ущерб, руб.
1	25.05.1998	Облкемеровоуголь, шахта «Красный Кузбасс»	Эндогенный пожар в выработанном пространстве пл. Мощный с пром. квершлага	405989000
2	09.09.2000	Шахта «Западная»	Эндогенный пожар в конвейерно-рельсовом штреке	56853000
3	08.01.2002	Прокопьевскуголь, шахта «Тырганская»	Эндогенный пожар в выработанном пространстве	20900000
4	08.02.2005	Южкузбассуголь, шахта «Есаульская»	Эндогенный пожар в вентиляционном штреке	284882000
5	13.06.2010	Прокопьевскуголь, шахта Им. Дзержинского	Эндогенный пожар в скате	81600000
6	23.08.2010	Прокопьевскуголь, шахта «Зиминка»	Эндогенный пожар в квершлага	54404000
7	07.07.2011	Стройсервис, Шахта №12	Эндогенный пожар в квершлага	84576000

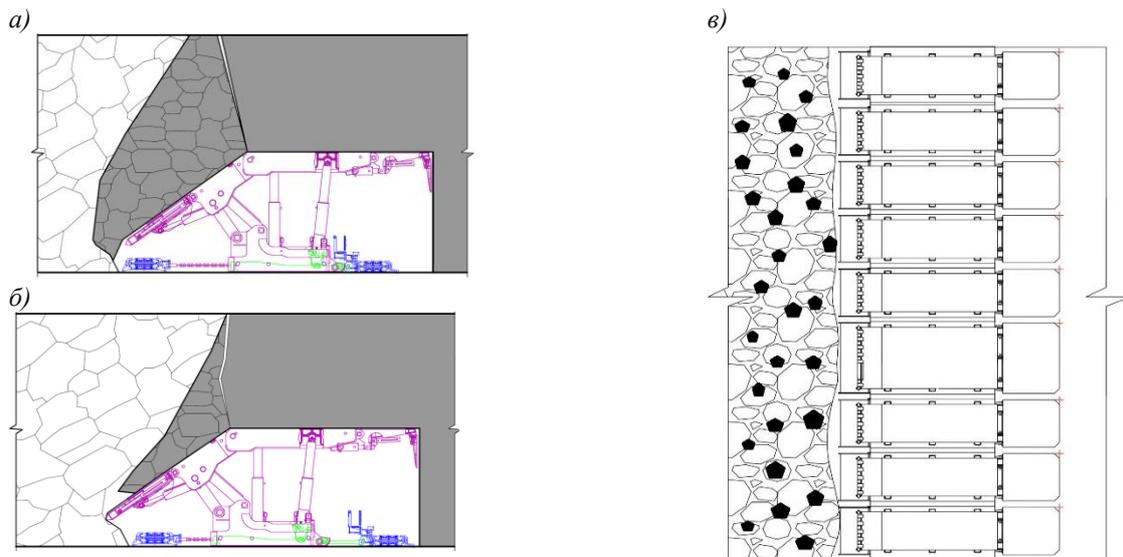


Рис. 2. Положение очистного забоя при выпуске подкровельной пачки угля: а) начальное; б) конечное; в) концентрированные потери разрыхленного угля, образующиеся в выработанном пространстве  
Fig. 2. The position of the face when caving the top coal: a) initial; b) final; c) concentrated losses of loose coal, formed in the developed space

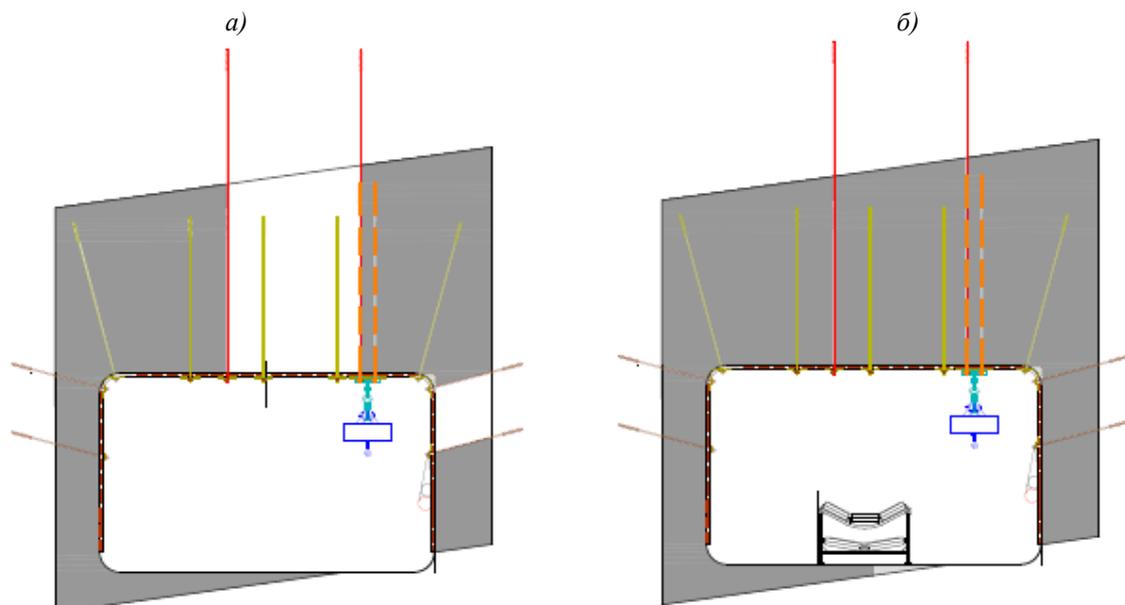


Рис. 3. Потери в выпускаемом слое подкровельной пачки угля на сопряжениях с вентиляционным (а) и конвейерным (б) штреками  
Fig. 3. Losses in the caved layer of the top pack of coal at the interfaces with the ventilation (a) and conveyor (b) drifts

темпов угледобычи.

Нормативно-правовое регулирование параметров отработки участков запасов, склонных к самовозгоранию, а также проведение текущего прогноза пожароопасности и профилактических широко освещается в периодических изданиях и нормативных актах [1-3].

Эндогенный пожар возникает в результате произвольного самовозгорания подземных пород и горючих материалов [5].

В результате проведенного анализа литературных и периодических источников установлены характерные участки возникновения эндогенных пожаров [4, 6]:

1. Выработанные пространства действующих очистных забоев (25 %);
2. Отработанные изолированные участки (30...40 %);
3. Отработанные неизолированные участки (12...37 %);

4. Капитальные и подготовительные выработки (30...40 %).

К самопроизвольному горению приводят факторы, обуславливающие эндогенную пожароопасность при следующих технологиях высокопроизводительной добычи с использованием комплексно-механизированных забоев:

1. Оставление в выработанном пространстве концентрированных пространственно-расположенных потерь разрыхленного угля вызывает увеличение образования индикаторных пожарных газов, а также повышение температуры угля;

2. Раздробленный уголь, который может вызвать увеличение образования индикаторных пожарных газов без повышения температуры угля;

3. Направленность и интенсивность процесса тепло- и массообмена между воздушным потоком и окисляющимися потерями разрыхленного угля;

4. Большой объем угольной пыли и повышения ее концентрации в потоке воздуха, поступающего в выработанное пространство;

5. Концентрированные потери разрыхленного угля, образующиеся в выработанном пространстве в линейной части забоя (рис. 2);

6. Величина утечек воздуха и длительность поступления их к скоплениям разрыхленного угля;

При отработке мощных пластов технологией с выпуском подкровельной пачки угля кроме основных причин возникновения эндогенных пожаров также характерны:

1. Высокая вероятность возникновения аэродинамической связи с поверхностью или ранее отработанными участками [7].

2. Потери в выпускаемом слое подкровельной пачки угля на сопряжениях с конвейерным и вентиляционным штреками (рис. 3);

Действующая нормативно-правовая документация, литературные источники, а также проектная документация на отработку участков запасов, склонных к самовозгоранию, регламентирует методику и параметры контроля и предотвращения возможных очагов эндогенной пожароопасности [7, 8, 9, 10, 11, 12].

В результате анализа приведенных выше источников можно выделить 3 группы методов контроля и предотвращения эндогенных пожаров на угольных шахтах:

1. Организационно-технологические методы:

1.1. Использование технологий адаптации геологической информации;

1.2. Обеспечение проветривания лавы с минимальными значениями давления воздуха во входящей вентиляционной струе;

1.3. Скорость подвигания очистных забоев на пластах, отнесенных к категории склонных к самовозгоранию, должна быть не менее 60 м/мес, а

на весьма склонных к самовозгоранию – не менее 90 м/мес;

1.4. Поддержание в зимний период года теплового режима шахты, при котором температура воздуха в 5 м от сопряжения вентиляционного канала с вентиляционным уклоном должна быть не менее +2°C для обеспечения эффективного увлажнения общешахтной поступающей струи;

1.5. Принятие рациональных решений по вентиляционным режимам, профилактическим мероприятиям и локализации очагов самовозгорания угля.

2. Мероприятия по контролю и мониторингу аэрологической ситуации выемочного участка:

2.1. Проверка опасности образования местных скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой;

2.2. Контроль за эндогенной пожароопасностью, за качеством обработки целиков угля и выработанного пространства антипирогенами;

2.3. Мониторинг процесса низкотемпературного окисления угля в целиках и выработанных пространствах;

2.4. Систематический контроль за температурой поверхности в кровле, бортах и почве выработок в местах повышенной эндогенной пожароопасности;

2.5. Использование технологии моделирования тепловой ситуации в угольных целиках и угольных скоплениях. К отработке пласта с выпуском подкровельной пачки можно отнести периодический автоматический контроль за микроконцентрацией оксида углерода с помощью контрольной аппаратуры непрерывного действия.

3. Методы локального предотвращения возникновения эндогенной пожароопасности:

3.1. Обработка антипирогенами краевых частей угольных целиков;

3.2. Дегазация выработанного пространства;

3.3. Повышение влажности подаваемого воздуха за счет осуществления контроля текущей эндогенной пожароопасности горных работ (эффективности профилактических мероприятий) по изменению влажности не реже 1 раза в 5 суток;

3.4. Ликвидация возникающей аэродинамической связи посредством засыпки провалов, чтобы исключить аэродинамическую связь с действующими выработками и снижение содержания кислорода в выработанном пространстве;

3.5. Изоляция отработанного пространства лавы возведением взрывоустойчивых перемычек из цементной смеси;

3.6. Проведение частичной воздушно-депресссионной съемки с анализом герметичности изолирующих сооружений, напоров, давления,



Рис. 4. Стационарный газоанализатор типа GaSos.  
Fig. 4. Stationary gas analyzer of GaSos. type

утечек воздуха;

3.7. При вскрытии очистным забоем не выявленных ранее геологических нарушений необходимо уточнять мероприятия по предупреждению эндогенных пожаров, предусмотренных в данном паспорте;

3.8. Проведение профилактической обработки угольных целиков между дренажным штреком и вентиляционным штреком и между конвейерным штреком и вентиляционным штреком, демонтажной камеры водными растворами антипирогенов.

Для технологии отработки пласта с выпуском подкровельной пачки угля характерны следующие методы:

3.9. Распыление твердого антипирогена с применением малогабаритной установки для набрызгбетонирования;

3.10. Нагнетание азота и подача инертной пены с поверхности через скважины отсечного ряда, пробуренные с поверхности в выработанное пространство лавы;

3.11. Обработка изолирующими материалами типа Tekflex или смолами контура взрывоустойчивых перемычек, установленных в сбойках между воздухоподающими выработками и выработками с исходящей струей воздуха;

3.12. Подача аэрозоля омагниченной воды в выработанное пространство;

3.13. Обработка инертной пеной с применением пенообразователя «Эльфор» зон скопления угля;

3.14. Возведение взрывоустойчивых перемычек по окончанию демонтажа комплекса в газодренажном штреке и вентиляционном штреке со стороны транспортной печи;

3.15. С целью уменьшения потерь угля в

выработанном пространстве выпуск подкровельной пачки необходимо производить до появления включений породы до 30%;

3.16. Для снижения притока свежего воздуха в выработанное пространство лавы на сопряжении лавы с конвейерным штреком за крепью сопряжения и первой секцией предусматривается возведение вентиляционного сопротивления путем укладки мешков с угольной штыбкой по всему сечению конвейерного штрека.

В результате анализа причин возникновения эндогенных пожаров, а также оценки эффективности способов их локализации предлагается совершенствование существующего мониторинга аэрологической обстановки шахт с целью выявления начала эндогенного пожара в угольном пласте и выработанном пространстве. Мониторинг охватывает длительные измерения концентрации  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{CH}_4$ , температуры и влажности в выработанном пространстве и призабойной части, в непрерывном и дискретном режимах и обработке полученных данных при помощи хемометрических методов.

Хемометрика – химическая дисциплина, которая занимается применением математических и статистических методов для планирования и выбора оптимальных условий проведения химического эксперимента и аналитического измерения, а также получения максимума информации из химических данных. Методы хемометрики используются на всех основных этапах химического анализа [13].

Для мониторинга как используется уже установленная сеть датчиков аэро-газового контроля, так и предусматривается установка дополнительных средств контроля в выработанном пространстве и вблизи изолирующих перемычек [14]. В скважины, которые ранее использовались для подачи инертной пены с поверхности – отсечного ряда, помещаем датчик измерения  $\text{CO}$  и термопару.

В качестве средств непрерывного контроля параметров рудничной атмосферы предлагается использовать стационарный газоанализатор типа GaSos (рис. 4). Прибор предназначен для измерения объемной доли в воздухе метана, кислорода, оксида и диоксида углерода, водорода, температуры газовой среды, абсолютного давления, для определения треугольника взрываемости и технологического контроля относительной влажности в выработанном пространстве действующих очистных забоев, а также в воздухе рабочей зоны в шахтах, опасных по газу и пыли [15].

Дополнительные газоанализаторы устанавливаются как в скважинах отсечного ряда, так и за изолирующими перемычками выработанного пространства, связываются в единую сеть, подключаемую к аналого-цифровому преобразователю (АЦП). GSM-модуль передает

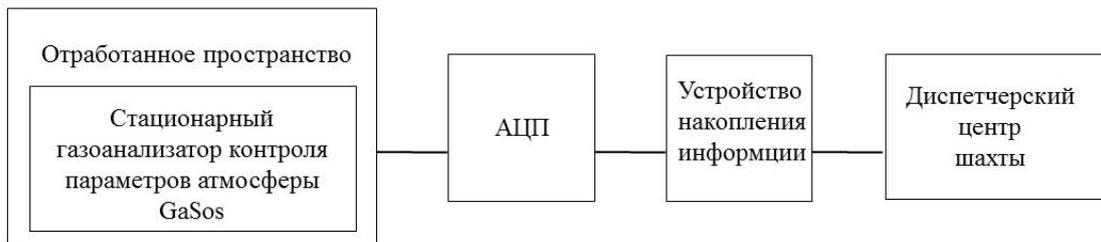


Рис. 5. Общая структура цифровой системы сбора, передачи, хранения данных.  
Fig. 5. General structure of a digital system for data collecting, transmitting, and storing.

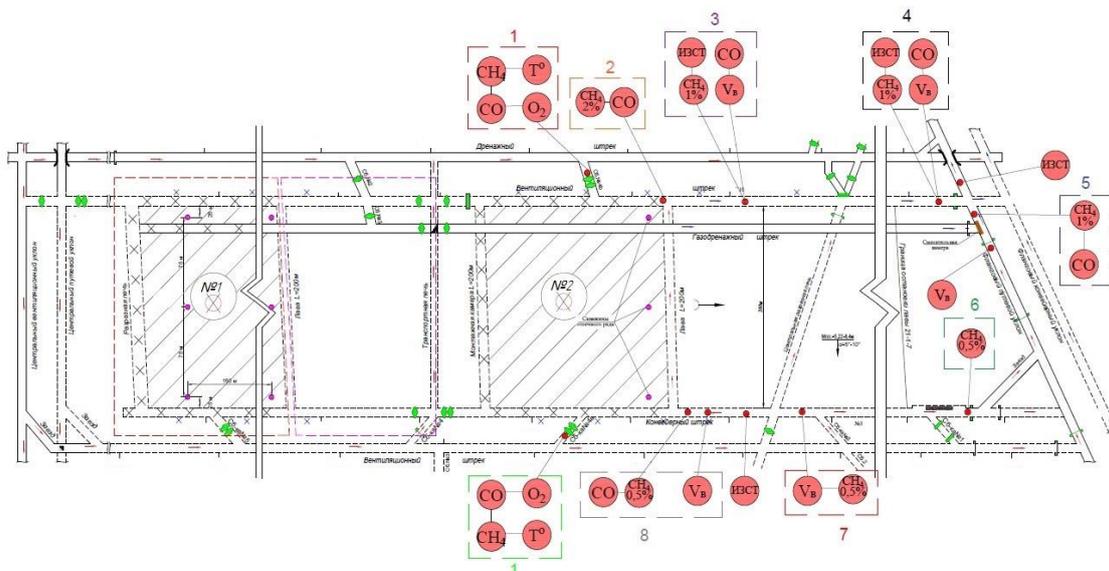


Рис. 6. План выемочного участка.  
Fig. 6. Excavation plan.

накопленную информацию в диспетчерский центр шахты, где можно будет наблюдать за состоянием выработанного пространства лавы и при необходимости своевременно принимать меры по уменьшению эндогенной пожароопасности (рис. 5).

Полученные данные поступают в диспетчерский центр на поверхности и сопоставляются с основными технологическими параметрами работы очистного забоя, такими как: скорость движения комбайна, скорость подвигания забоя, продолжительность периода выпуска подкровельной пачки и др. Накопление статистических данных позволяет установить связь между возникновением эпизодов, выходящих из поля типичных событий мониторинга аэрологической обстановки, и изменением основных технологических параметров забоя.

Анализ причин возникновения этих эпизодов

позволит выявить потенциально пожароопасные участки выемочного столба, предвидеть возникновение опасных ситуаций, уточнить границы основных технологических параметров.

На рис. 6 представлены предлагаемые технические и организационные решения по совершенствованию прогноза эндогенной пожароопасности выемочного участка на примере технологии с выпуском подкровельной пачки угля.

Реализация предложенных решений позволяет значительно сократить сроки и повысить точность локализации потенциально опасных очагов возникновения эндогенных пожаров, оптимизировать основные технологические параметры работы очистного забоя и избежать существенных материальных и временных затрат при ликвидации последствий эндогенных пожаров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов Ю.М., Игишев В.Г., Шлапаков П.А., Ширяев С.Н., Шлапаков Е.А. О новой нормативной базе проблем борьбы с эндогенными пожарами в шахтах // Уголь. 2018. №2. С. 67-70. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-2-67-70
2. Агеев, В.Г. Эндогенные пожары на различных этапах становления шахт Донбасса [Текст]/ В.Г. Агеев, П.С. Пашковский, С.П. Греков. - Донецк, 2018. - 147 с.
3. Риск самовозгорания угля и опасность эндогенных пожаров на шахтах Кузбасса / Г.В. Стась, А.В. Волберг, Е.В. Смирнова, М.П. Ганин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 3. С. 93 - 104.
4. Завиркина Т.В. Анализ статистики эндогенных пожаров на угольных шахтах России // Горные науки и технологии, 2014. – № 1. – С. 30-36.
5. Ремезов А.В. Почему существуют эндогенные пожары? // Инновации в технологиях и образовании сборник статей участников IX Международной научно-практической конференции, 2016. – С. 106-120.
6. Завиркина Т.В. Анализ причин эндогенных пожаров угольных шахт // Научный вестник Московского государственного горного университета, 2012. – № 7. – С. 21-25.
7. Отработка мощного угольного пласта механизированным комплексом с выпуском подкровельной пачки: монография / С.И. Калинин [и др.]. – Кемерово, 2011. – 224 с.
8. Deng J, Xiao Y, Li Q, Lu J, Wen H. Experimental studies of spontaneous combustion and anaerobic cooling of coal. Fuel 2015;157:261–9.
9. Liu W, Qin Y. A quantitative approach to evaluate risks of spontaneous combustion in longwall gobs based on CO emissions at upper corner. Fuel 2017;210:359–70.
10. Y. Lu, "Laboratory study on the rising temperature of spontaneous combustion in coal stockpiles and a paste foam suppression technique," Energy & Fuels, vol. 31, no. 7, pp. 7290–7298, 2017.
11. Зорков Д.В., Ренев А.А., Цибаев С.С. Геомеханическое обоснование въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 4.
12. Цибаев С.С., Калинин С.И., Ренев А.А., Зорков Д.В. Оценка влияния затопления горных выработок на состояние приконтурного массива горных пород и элементов анкерной крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 5. - С. 35-43.
13. Родионова О.Е. Хемометрический подход к исследованию больших массивов химических данных // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2006. Т.50. С. 128-144.
14. Renev A., Tsibaev S., Kalinin S. The evaluation of negative anthropogenic factors subjection on bolts stability and surrounding massif deformations / Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection" (COAL 2018), Advances in Engineering Research, 2018, vol. 176, pp. 361-366. 10.2991/coal-18.2018.67 DOI: 10.2991/coal-18.2018.67
15. Jun Deng, Changkui Lei, Yang Xiao, Kai Cao, Li Ma, Weifeng Wang, Bin Laiwang. Determination and prediction on «three zones» of coal spontaneous combustion in a gob of fully mechanized caving face // Fuel. 2018. Vol. 211. P. 458-470.

## REFERENCES

1. Filatov U., Igishev V., Shlapakov P., Shiriaev S., Shlapakov E. O novoj normativnoj baze problem bor'by s endogennymi pozharami v shahtah [The new regulatory framework for the control of endogenous fires in mines]. Ugol' – Russian Coal Journal, 2018, No. 2, pp. 67-70. (In russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-2-67-70
2. Ageev V., Pashkovski S., Grekov S. Endogenous fires at various stages of the development of the mines of Donbassa, 2018. 147 p.
3. G.V. Stas', A.V. Volberg, E.V. Smirnova, M.P. Ganin. Risk samovozgoraniya uglja i opasnost' jendogennyh pozharov na shahtah Kuzbas-sa // Izvestija Tul'skogo gosudar-stvennogo universiteta. 2017. № 3. pp. 93 - 104.
4. Zavirkina T. Analysis of statistics of endogenous fires in Russian coal mines / Mining science and technology, vol 1, pp. 30 – 36, 2014.

5. Remezov A. Why are there spontaneous combustion? / Proceedings of the IX international scientific conference «Innovations in technology and education» pp. 106 – 120, 2016.
6. Zavrkina T. Analysis of the reasons of endogenous fires in the coal mines / Scientific Bulletin of Moscow State Mining University, 2012. vol 7. pp. 21-25.
7. Kalinin S. Development of a thick coal seam using top coal caving technology. 2011. 224 p.
8. Deng J, Xiao Y, Li Q, Lu J, Wen H. Experimental studies of spontaneous combustion and anaerobic cooling of coal. Fuel 2015;157:261–9.
9. Liu W, Qin Y. A quantitative approach to evaluate risks of spontaneous combustion in longwall gobs based on CO emissions at upper corner. Fuel 2017;210:359–70.
10. Y. Lu, “Laboratory study on the rising temperature of spontaneous combustion in coal stockpiles and a paste foam suppression technique,” Energy & Fuels, vol. 31, no. 7, pp. 7290–7298, 2017.
11. Zorkov D.V., Renev A.A., Tsibaev S.S. The geomechanical research of longwall entry into pre-driven recovery room. Mining Informational and Analytical Bulletin, Series Mining Engineer-Manager’s Library, 2015, issue 4, pp. 12 – 20.
12. Tsibaev S., Kalinin S., Renev A., Zorkov D. Evaluation of the effect of flood on sur-rounding massif and bolting state. Mining Informational and Analytical Bulletin, Series Mining Engineer-Manager’s Library, 2015, issue 5, pp. 35 – 43
13. Rodionova O. Chemometric approach to the study of large amounts of chemical data / The Russian chemist journal (The Russian chemist society journal named after Mendeleev). 2006. vol .50. pp. 128-144.
14. Renev A., Tsibaev S., Kalinin S. The evaluation of negative anthropogenic factors subjection on bolts stability and surrounding massif deformations / Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection" (COAL 2018), Advances in Engineering Research, 2018, vol. 176, pp. 361-366. 10.2991/ coal-18.2018.67 DOI: 10.2991/coal-18.2018.67
15. Jun Deng, Changkui Lei, Yang Xiao, Kai Cao, Li Ma, Weifeng Wang, Bin Laiwang. Determination and prediction on «three zones» of coal spontaneous combustion in a gob of fully mechanized caving face // Fuel. 2018. Vol. 211. P. 458-470.

Поступило в редакцию 17.03.2020  
Received 17 March 2020