

УДК 622.23.05 +614.844.4

## О СИСТЕМЕ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Белозеров В.В.<sup>1</sup>, Колесников С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, [firemen@list.ru](mailto:firemen@list.ru)

Методология пожаровзрывобезопасной и экологически чистой подземной добычи угля в шахтах была разработана Ростовскими учеными и в настоящей работе осуществлено моделирование её внедрения на одной из Ростовских угольных шахт. Методология реализует принцип само притока воздуха через штольни и штреки шахты, за счет выделения из него в штреках кислорода установками термомагнитной сепарации воздуха (ТМСВ) и вывода его по отдельной трубе на поверхность, а также отделением и возвращением в штреки азота из оставшихся газов (метана, углекислого газа, аргона, гелия и др.) во втором – азотном мембранном каскаде. Оставшиеся газы также по отдельной трубе выводятся на поверхность для сжижения и дальнейшего использования. Шахтеры работают в «шлемах с микро-ТМСВ», которые выполняют функции средств защиты органов дыхания и зрения, автоматически поддерживая необходимую концентрацию кислорода.

*Ключевые слова:* термомагнитный сепаратор воздуха, газоразделение диамагнетиков, микро-ТМСВ, штрек, штольня, забой, лава, угольный комбайн, сжижение шахтных газов.

## ABOUT THE SYSTEM OF COMPLEX SAFETY OF COAL MINES

Belozerov V.V.<sup>1</sup>, Kolesnikov S.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Don State technical university, Rostov-on-Don, [firemen@list.ru](mailto:firemen@list.ru)

The methodology of fire and explosion-proof and environmentally friendly underground coal mining was developed by the Rostov scientists and in the real work modeling of its introduction on one of the Rostov coal mines is carried out. The methodology implements the principle of self-inflow of air through the adit and drifts, by separating oxygen from the air in the mine by thermomagnetic air separators (TMSA) and transporting oxygen in the pipe to the surface, as well as separation and return to the mine of nitrogen from the remaining gases (methane, carbon dioxide, argon, helium, etc.) in the second - in membrane cascade. The remaining gases are discharged through another pipe to the surface for liquefaction and further use. Miners work in "helmets with micro-TMSA", which perform the functions of respiratory protection and vision, automatically maintaining the necessary concentration of oxygen.

*Keywords:* thermomagnetic separator of air, gas separation of diamagnetic, nitrogen, micro TMSA, drift, adit, face, lava, coal combine, liquefaction of mine gases.

Как свидетельствует статистика аварий, пожаров и взрывов на угольных шахтах [1], а также результаты проведенных исследований [2,3], все существующие системы их защиты, включая инновации в этой области [4-6], не решают проблемы безопасной работы горняков и охраны их здоровья [7,8], из-за отсутствия системного подхода.

15 лет назад учеными Ростовского государственного университета был разработан метод термомагнитной сепарации воздуха [9] и на термомагнитный сепаратор воздуха (ТМСВ) был получен патент РФ [10], на основе которого, в т.ч. с применением малогабаритной азотной мембранной установки во втором каскаде газоразделения диамагнетиков (ГРДМ), была разработана (рис.1) модель системы безопасной и экологически чистой добычи угля [11,12].

Исследования последних лет показали, что в структуре газового баланса шахт необходимо учитывать также радон, т.к. доказана корреляция между его содержанием в шахтном воздухе и заболеванием раком органов дыхания [8].

Модель системы, базирующаяся на указанных выше принципах, реализовывала вентиляцию шахты способом само притока воздуха в штреки и штольни, формируя из него «азотную атмосферу» в забоях, отделяя кислород от шахтных газов и отправляя их по отдельным трубам на поверхность для переработки, а также защищая органы дыхания и зрения шахтеров с помощью «шлемов с микро-ТМСВ», что позволяло получить не только абсолютно безопасную систему подземной добычи угля, но и экономически эффективный наземный комплекс получения из шахтных газов СПГ и других полезных сжиженных продуктов (углекислый газ, аргон, гелий и др.).

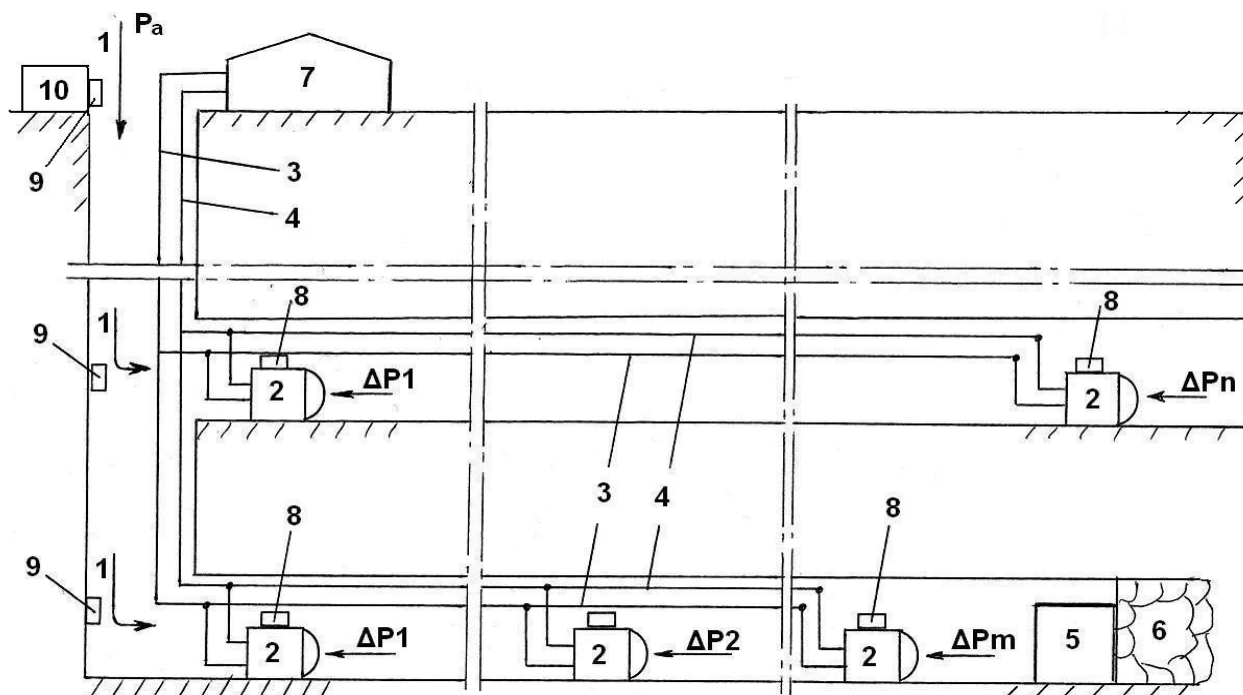


Рис.1- Блок-схема системы обеспечения безопасности угольных шахт

1 – атмосферный воздух, 2 – термомангнитный сепаратор воздуха с блоком газоразделения диамагнетиков (ТМСВ-ГРДМ), 3 – кислородный трубопровод («парамагнитный»), 4 – трубопровод остальных газов («диамагнитный»), 5 – угольный комбайн, 6 – угольный забой, 7 – центр переработки сепарированных газов, 8 – радиомодемы, 9 – репитеры, 10 – пункт диспетчерского управления,  $P_a$  – атмосферное давление,  $\Delta P_{m,n}$  – разность давлений в зоне работы «m»-го ТМСВ-ГРДМ в «n»-м штреке.

Используя предлагаемый подход, в магистерской диссертации была разработана модель такой системы для шахты № 56 в г. Красный Сулин Ростовской области [13].

Принимая во внимание, что первоначальная установка во всех штольнях и штреках «градиентного режима концентрации кислорода» (от 20% на входе до 5% в забоях и около

10% во всех штреках) не ограничена во времени, а увеличение объема выработки при добыче угля происходит пропорционально производительности используемых комбайнов, было выполнено моделирование минимального необходимого числа установок ТМСВ-ГРДМ и мест их установки.

В шахте № 56 используются комбайны «Темп – 1» [14], предназначенные для выемки крутых (40...60°) пластов. Целевой угольный пласт вскрыт тремя скважинами, на основе которых установлено, что его мощность составляет 1,3 м. Уголь-антрацит отнесен к IV категории бурения.

Схема штреков и забоев шахты представлена на рисунке 2, а в технические характеристики комбайна – в таблице 2.

Таблица 1

Технические характеристики комбайна «Темп – 1»

вынимаемая мощность пласта, м	0,95-1,4
ширина захвата, мм	900; 1000
диаметр по резцам	0,56
скорость резания, м/с	1,96
мощность, кВт	107
напряжение, в	660

На основе технических характеристик была рассчитана скорость движения комбайна в забое (м/с) [15]:

$$V_n^{max} = \frac{P_{уст}}{H_w m B \gamma} \quad (1)$$

где  $H_w$  - удельный расход электроэнергии (МДж/т),  $m$  - мощность вынимаемого пласта угля (м),  $B$  - ширина захвата исполнительного органа (м),  $\gamma$  - плотность угля (т/куб.м).

$$V_n^{max} = \frac{107 * 10^3}{1.95 * 10^6 * 1.4 * 0.9 * 1.3} = \frac{107}{3194.1} = 0.033(\text{м/с})$$

Объем выработки одним комбайном (л/с) [15]:

$$V = \pi r^2 h \quad (2)$$

$$V = 3.14 * 0.28^2 * 0.033 = 8.13 (\text{л/с})$$

В шахте используются 3 комбайна. Следовательно, суммарный объем самопритока воздуха в шахту должен быть не менее - 0.025 куб. м/с.

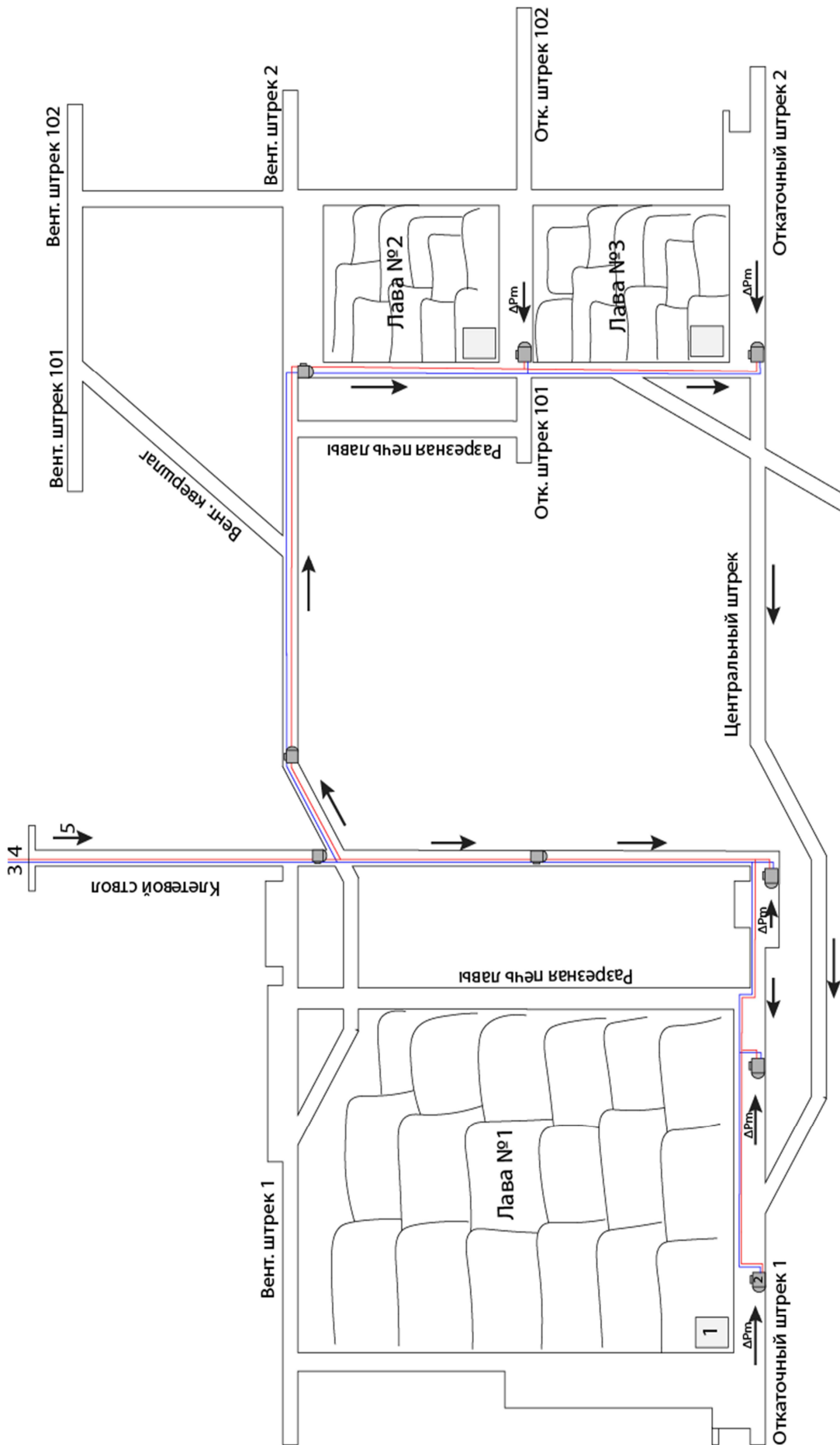


Рис. 2 – Блок схема шахты №56 г. Красный Сулин

где, 1 – комбайн «Темп - 1», 2 – термомагнитный сепаратор воздуха с блоком газоразделительной системы диамагнетиков (ТМСВ-ГРДМ) и радиомодем, 3 – кислородный трубопровод («парамагнитный»), 4 – трубопровод остальных газов («диамагнитный»), 5 – самоприток атмосферного воздуха.

При этом, для своевременного поглощения суфлярных выбросов в забоях, объемы которых могут на порядок превышать объем выработки одним комбайном, т.е. порядка 80 л/с,

ТМСВ-ГРДМ в забоях должны работать на половинной производительности – 40 л/с, чтобы за 1-3 секунды «поглотить выброс» и вывести его на поверхностную переработку.

Таким образом, учитывая, что установки ТМСВ-ГРДМ объединяются в систему радиомодемами и должны располагаться в зоне прямой видимости друг от друга и репитеров – при переходах из штреков в штольни и на поверхность, получим необходимое число ТМСВ-ГРДМ для шахты № 56 в количестве 10 установок (рис.2).

Расчет экономической эффективности «виртуального внедрения» предлагаемой системы на шахте № 56 в г. Красный Сулин Ростовской области был выполнен на основе анализа производственной себестоимости 1 тонны угля, которая составила 731,83 руб./тн. (рис.3).

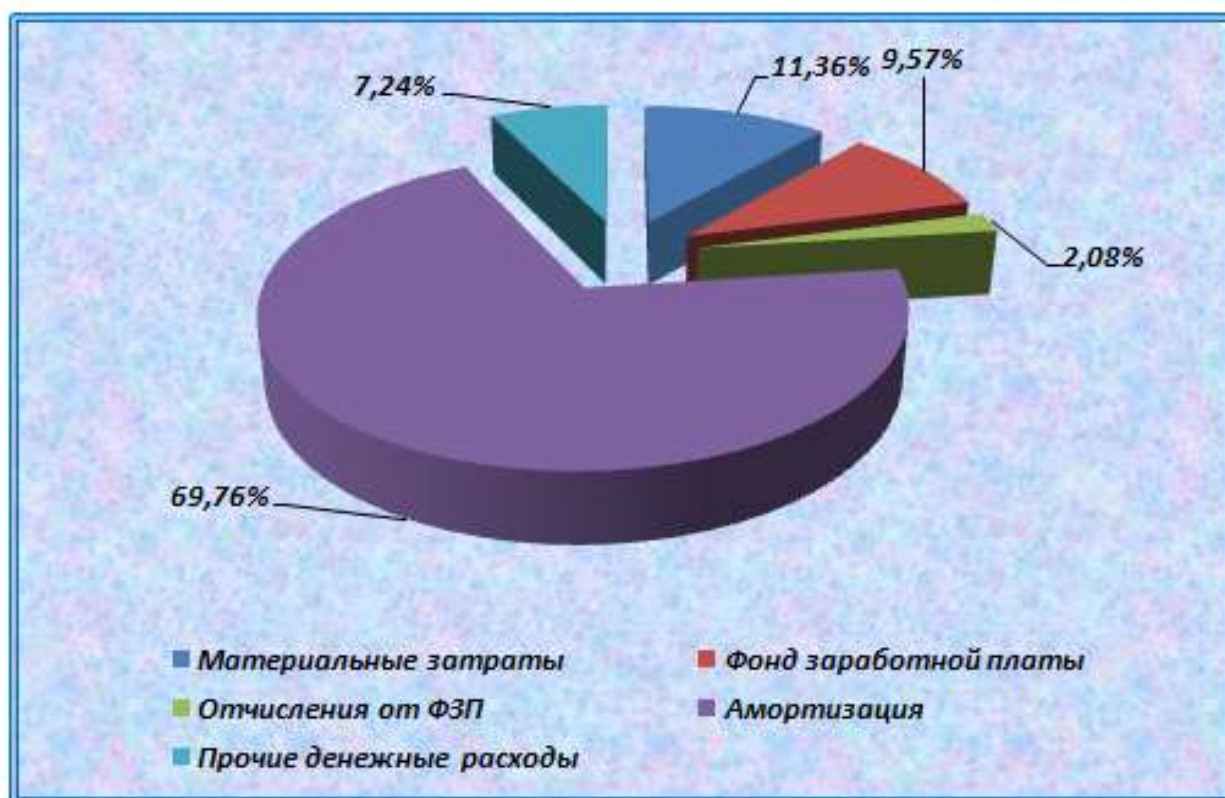


Рис.3 – Структура себестоимости 1 тонны угля

Анализ показал, что 81% себестоимости «падает» на амортизацию (69,76%) и прочие расходы (11,36), в структуре которых около половины приходится на ремонты и обслуживание вспомогательного (к основному процессу угледобычи) оборудования и обеспечению условий труда шахтеров (вентиляции, автоматики и связи, горноспасателей, экологию и т.д.).

Дело в том, что в отличие от «сегодняшней аварийной автоматики», которая следит только за метаном и опасными факторами пожара и взрыва (ОФПВ), часто отказывая и ложно срабатывая, ТМСВ-ГРДМ оснащены датчиками концентрации кислорода, которые являются не «аварийными», а технологическими, т.к. именно с их помощью устанавливается «градиентный режим» кислорода от 20% у штольни, 10% в начале штрека и 5% в забое.

Поэтому, т.к. все ТМСВ-ГРДМ «связаны радиомодемами» в автоматизированную систему (с отображением ситуационных планов шахты на экранах диспетчерской), любое отклонение от «градиентного режима» тут же отображается и компенсируется производительностью «соседних» ТМСВ-ГРДМ до тех пор, пока обслуживающий персонал не устранит причину происшедшего (выход из строя датчика, компрессора ТМСВ и т.д.).

Таким образом, применяя методику расчета окупаемости предлагаемой системы с учетом реализации сжиженных шахтных газов при их поверхностной переработке, можно утверждать, что через 5 лет после внедрения предлагаемой системы производственная себестоимость 1 тонны угля снизится до 439,098 рублей, а шахтеры, наконец, получают современную защиту своему здоровью и жизни, т.к. «ранцевый» микро-ТМСВ на постоянных магнитах с защитным герметичным шлемом изолирует органы дыхания и зрения горняков от угольной пыли, благодаря фильтрам на «пористом алюминии». При этом производительность сепарации кислорода автоматически поддерживается в шлеме микро-компрессором на уровне 20%, независимо от его концентрации в окружающей среде[16].

#### Список литературы

1. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. - Донецк: Донбасс. 2012. - 392с.
2. Джигрин А.В., Исаев И.Р., Мясников С.В. Прогнозирование взрывов газа и пыли в угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности.- 2010.- №4, С.38-42.
3. Белозеров В.В., Босый С.И, Плахотников Ю.Г, Прус Ю.В. Метод и система защиты горняков и шахт от пожаров и взрывов //Современные наукоемкие технологии.- 2010.- № 9, с.48-50.
4. Портола В.А., Способ предупреждения взрывов метана в шахтах - Патент РФ на изобретение № 2371583, 27.10.2009, E21F5/00.
5. Халафов Ф.Р., Шахвердиев А.Х., Способ вентиляции шахтной атмосферы - Патент РФ на изобретение № 2282035, 20.08.2006, МПК E1F 1/00, E21 F5/00.
6. Шелудяков Е.П., Установка для уменьшения взрывоопасности угольных шахт – Патент РФ на изобретение № 2347910, 27.02.2009, МПК E21F5/00.
7. Филимонов С.Н., Станкевич Н.Г., Разумов В.В., Панев Н.И., Способ прогнозирования риска развития ишемической болезни сердца у шахтеров с хроническим пылевым бронхитом - Заявка на изобретение № 2002120782/15, 27.04.2004, МПК A61B10/00.
8. Стась Г.В. Аэрогазодинамические процессы выделения радона и его переноса вентиляционными потоками воздуха при подземной добыче угля //Известия Тульского ГУ. Науки о Земле.- 2016.- № 2.- С.172-186.

9. Белозеров В.В., Новакович А.А., Топольский Н.Г. Модель сепаратора воздуха для систем безопасности //Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности (СБ-2003) - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003, С. 198-199.

10. Белозеров В.В., Босый С.И., Видецких Ю.А., Новакович А.А., Пирогов М.Г., Толмачев Г.Н. Способ терромагнитной сепарации воздуха и устройство для его осуществления - Патент РФ № 2428242 от 10.09.2011.

11. Белозеров В.В., Босый С.И., Нестеров А.А., Падчеваров В.В., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В., Топольский Н.Г. Способ комбинированной защиты горняков и шахт от пожаров и взрывов и система для его осуществления - заявка на изобретение № 2010121080 от 09.07.2010.

12. Белозеров В.В., Босый С.И., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В. Метод и система защиты горняков и шахт от пожаров и взрывов //Успехи современного естествознания. – 2010. – № 11.- С.87-89.

13. Колесников С.В. Модель автоматизированной системы пожаровзрывобезопасной и экологически чистой добычи угля в шахтах // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3-3.-С. 477-482.

14. Техническая характеристика очистных комбайнов для крутых пластов - URL: <https://infopedia.su/14x15753.html>

15. Расчет технических параметров комбайна - URL: [https://studwood.ru/1600281/tehnika/raschet\\_tehnicheskikh\\_parametrov\\_kombayna](https://studwood.ru/1600281/tehnika/raschet_tehnicheskikh_parametrov_kombayna)

16. Белозеров В.В. Методы, модели и средства автоматизации управления техносферной безопасностью: дисс.... на соиск. уч. ст. докт. тех. наук / Академия государственной противопожарной службы. Москва, 2013.-420с.