

<sup>1,\*</sup>Гомаль И. И., <sup>2</sup>Свечкаренко Е. Н., <sup>2</sup>Полякова Н. В.

<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет,

<sup>2</sup>Донгипрошахт

\*E-mail: ivan.gomal.77@mail.ru

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ САМОВОЗГОРАНИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

На основе анализа теоретических исследований, технологических и технических параметров горящих породных отвалов подтверждена правомерность применения теории комплекса «уголь-кислород» для определения факторов, способствующих самовозгоранию. Предложен подход, направленный на борьбу с причинами самовозгорания, а не с его последствиями, заключающийся в извлечении углеродсодержащих компонентов из шахтной породы до её складирования в отвалах. Разработаны технологические схемы извлечения углеродсодержащих компонентов из шахтной породы с расположением оборудования в подземных условиях и на поверхностном комплексе, с привязкой к существующей подземной и поверхностной инфраструктуре шахты.

**Ключевые слова:** породные отвалы, самовозгорание, превентивное извлечение углеродсодержащих компонентов из породы, технологическая схема.

**Финансирование:** средства Республиканского бюджета Донецкой Народной Республики на выполнение научно-исследовательской работы по ведомственному заказу «Разработка предложений по снижению углеродсодержащих компонентов в породе от проведения подготовительных выработок угольных шахт до её складирования».

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Горная отрасль, будучи одной из наиболее опасных видов промышленной деятельности, сталкивается с рядом серьезных проблем, среди которых особое внимание уделяется возникновению эндогенных пожаров в породных отвалах [1–3]. В Донбассе расположено 1257 породных отвалов, из которых около 30 % являются горящими [4]. При этом процессы горения наблюдаются как на действующих породных отвалах, так и недействующих. По данным ГБУ «Донгипрошахт» в Донецко-Макеевском, Кировско-Шахтерском, Торезско-Снежнянском угледобывающих районах ДНР из 156 недействующих породных отвалов 50 подвержены горению.

В настоящее время на территории ДНР расположены 532 породных отвала, в том числе 132 отвала — горящие. Только в г. Донецке расположены 154 породных отвала, из которых 30 — горящие [5].

В «Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года» [6] предусмотрена разработка

мер по предупреждению самовозгорания породных отвалов. Приведение горящих отвалов в экологически безопасное состояние требует значительных капитальных затрат.

Помимо экономических издержек отмечается существенный экологический ущерб. Горение породных отвалов сопровождается эмиссией в атмосферу больших концентраций вредных газов (оксид и диоксид углерода, сернистый ангидрид, сероводород, диоксид серы, сероуглерод и др.), отрицательно влияющих на экологическую систему горнопромышленных агломераций [7, 8]. При горении одной тонны породы отвалов выделяется 99,7 кг CO, 0,61 кг H<sub>2</sub>S, 0,03 кг NO<sub>2</sub>, 0,84 кг SO<sub>2</sub> и 0,45 кг пыли [9]. Кроме того, происходят значительные выбросы парниковых газов [10].

Около породных отвалов отмечается загрязнение грунтов токсичными элементами, что вызывает проблемы со здоровьем населения и снижает техносферную безопасность [11–13].

Мировой опыт изучения процессов горения породных отвалов показывает все-

объемлющее негативное влияние горящих породных отвалов на экологическую обстановку угледобывающих регионов, создающее опасные условия для жизнедеятельности населения, и подчеркивает важность и актуальность данной проблемы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Большое внимание вопросам охраны окружающей среды уделяется международными организациями ENVSEC, ЮНЕП, ПРООН, целью которых является содействие странам в снижении риска, возникающего вследствие экологических проблем, в том числе для стран с горнодобывающей промышленностью [14].

Начиная с XVIII века, изучением процесса самовозгорания и горения породных отвалов занимались ученые Англии, США, Германии, Китая, Австралии, России. На настоящий момент существует множество теорий самовозгорания отвалов, основными из которых являются пиритная, бактериальная, кислородная, фенольная и теория комплекса «уголь-кислород» [15–18]. Большинство исследователей отводят главную роль теории комплекса «уголь-кислород», определяющими условиями которой являются наличие углеродсодержащих компонентов и доступ кислорода к породной массе.

Проблема предотвращения возгорания породных отвалов во многих угледобывающих странах решается на законодательном уровне: в Евросоюзе принята директива 2006/21/ЕС по строгому нормированию содержания углерода в породных отвалах, в США — обязательная рекультивация породных отвалов после закрытия шахты (SMCRA, 1977), в Китае введены строгие нормативы по утилизации породы от проведения подготовительных горных выработок.

Для предотвращения самовозгорания в процессе формирования породных отвалов в США, Австралии используют технологии с применением геосинтетических покрытий и биохимических методов предотвращения возгорания породных отвалов; в

ФРГ разработаны технологии с выращиванием бактерий, поглощающих углерод в породных отвалах; в ЮАР применяют вакуумные установки для откачки горючих газов из отвалов; в Индии (штат Джаркханд) внедрены системы орошения для охлаждения породных отвалов. В Китае, Польше, России интенсивно разрабатываются системы дистанционного мониторинга теплового состояния породных отвалов с использованием тепловизоров [19].

Применяемые в настоящее время мероприятия против самовозгорания направлены в основном на предотвращение доступа кислорода к породной массе за счет создания уплотненных воздухо непроницаемых слоев из породы по контуру яруса, изолирующего слоя на откосах отвала, изолирующего слоя уплотненных слоев породы, пожаробезопасного уплотненного слоя, формирование яруса из пожаробезопасных слоев с изоляцией контура яруса изолирующим грунтом [20].

Однако применение данных мероприятий не всегда гарантирует предотвращение самовозгорания отвалов. Так, на шахте «Южно-Донбасская № 3» эксплуатация породного отвала началась в 1985 г., а в 2007 г. отмечались очаги нагрева на изолированном сформированном втором ярусе отвала. На породном отвале № 3 шахты имени 60-летия Советской Украины горение началось в 1997 г., тушение производилось в 1999–2002 гг., однако в 2007 г. началось повторное возгорание [21].

Кроме того, осуществление мероприятий по предотвращению самовозгорания требует значительных финансовых затрат. По оценке ГБУ «Донгипрошахт» стоимость формирования породного отвала № 2 вместимостью 39772 м<sup>3</sup> шахты «Комсомолец Донбасса» составляет в ценах 2025 г. 434,1 млн руб., а переформирование и расширение отвала № 2/3 вместимостью 853,8 м<sup>3</sup> шахты «Иловайская» — 53,89 млн руб.

Предупреждение горения формируемых породных отвалов также связано с посто-

янными текущими затратами. По оценке ГБУ «Донгипрошахт», выполненной при разработке проектов ликвидации шахт, капитальные затраты на реализацию мероприятий по тушению, переформированию с понижением высоты, рекультивации и озеленению горящих отвалов в Торезско-Снежнянском районе ДНР составляют 500 млн руб.

Таким образом, мероприятия, реализуемые в настоящее время по предупреждению самовозгорания, не решают в полной мере данной проблемы, характеризуются их краткосрочностью и значительными экономическими затратами.

Идеальным решением проблемы горения отвалов является полное оставление породы в шахте, а также переработка всей породной массы на поверхности. В настоящее время эти технологии широко не применяются в связи со значительными капитальными затратами и сложной организацией работ.

Но самое главное — у шахт нет финансовой заинтересованности для оставления породы в шахте и в целом предотвращения экологического ущерба от складирования породы на поверхности. Экологические платежи и штрафы составляют мизерную долю в себестоимости добычи угля. Например, плата за выбросы вредных газов (окислы азота, ангидрид сернистый, сероводород, оксид углерода) пяти горящих отвалов на шахте «Миусская» составляет 102,612 тыс. руб., а пыли из 8 отвалов — 3,109 тыс. руб. в год в ценах 2025 г. Кадастровая стоимость земельного участка породного отвала № 1 шахты «Шахтерская-Глубокая», в соответствии с Постановлением [22], составляет 11034 тыс. руб. Поэтому шахтам проще и дешевле платить штрафные санкции, чем осуществлять природоохранные мероприятия.

Во многих странах с жестким экологическим законодательством породных отвалов в настоящее время практически нет или они рекультивированы.

На практике при формировании породных отвалов в соответствии с действующими

нормами и правилами [20], предусматриваемыми мероприятиями против их самовозгорания, возможно предотвратить только одну из причин самовозгорания — доступ кислорода в породную массу.

Вторым основным фактором, способствующим самовозгоранию, является наличие в породной массе углесодержащих компонентов. В соответствии с Инструкцией [20], одним из требований по предупреждению пожароопасности породных отвалов является снижение содержания горючих веществ в горной массе, направляемой на складирование в породные отвалы. Однако наличие угля в шахтной породе — это неизбежное следствие сочетания геологических и технологических факторов при проведении подготовительных горных выработок. Геологические факторы определяются тем, что часто встречаются включения породы в уголь и наоборот. В таких условиях, даже при самой тщательной выемке, избежать попадания угля в породу практически нереально. Технологические факторы связаны с несовершенством технологии проходки комбайнами при проведении выработок, при которой захватываются участки угля вместе с породой. Таким образом, на данном этапе развития технологии проходческих работ обеспечить снижение горючих веществ в шахтной породе практически невозможно. Так, на шахте «Шахтерская-Глубокая» в общем объеме 115400 т шахтной породы, выдаваемой на поверхность, объем угольных включений — 29300 т, что составляет 25,4 %.

**Постановка задачи.** На наш взгляд, результативным должен быть подход, направленный на борьбу с факторами, способствующими самовозгоранию, а не с его последствиями. Как показывает практика, ограничение доступа кислорода к породной массе не всегда гарантирует предотвращение самовозгорания отвалов. Поэтому необходимо рассмотреть новый подход, направленный на снижение углесодержащих компонентов в шахтной породе.

В связи с этим **целью** настоящей работы является разработка технологических схем извлечения углеродсодержащих компонентов из породы от проведения подготовительных выработок до ее складирования в отвалах для предотвращения самовозгорания породных отвалов.

**Объект исследования** — процессы самовозгорания породных отвалов угольных шахт.

**Предмет исследования** — факторы, влияющие на процесс самовозгорания породных отвалов.

**Задачи исследования:**

– определение основных факторов, способствующих самовозгоранию угля;

– разработка предложений по снижению содержания углесодержащих компонентов в породе от проведения подготовительных выработок угольных шахт до складирования ее в породных отвалах в условиях действующих и шахт нового строительства с раздельной выдачей на поверхность рядового угля и шахтной породы;

– разработка технологических схем извлечения углесодержащих компонентов с расположением оборудования в подземном комплексе угольно-породных подъемов шахт и на поверхностном комплексе угольных шахт;

– определение экономической эффективности и экологического эффекта от внедрения предложенных технологических схем.

**Методика исследования.** Проведен аналитический обзор существующих теорий самовозгорания породных отвалов. Исследования процессов самовозгорания производились на основе изучения паспортов и результатов температурной съемки действующих и недействующих горящих породных отвалов, а также по материалам разработок института «Донгипрошахт». Учитывались технологические, технические параметры и тепловое состояние породных отвалов угольных шахт. Рассмотрены существующие оборудование и технологии обогащения. Обоснование применения технологических схем из-

влечения углесодержащих компонентов для различных условий.

**Изложение материала.** Проведенный авторами анализ существующих теорий самовозгорания, исследование действующих и недействующих горящих породных отвалов, с учетом основных технологических и технических параметров (степень метаморфизма угля, зольность углевмещающих пород ( $A^c$ ), содержание органического углерода ( $C_o$ ) и серы (S), тепловое состояние), показали, что основными причинами самовозгорания породных отвалов являются: содержание  $C_o > 10\%$  и  $S > 2\%$  [21].

Однако влияние содержания серы в отвальной массе на процесс горения породных отвалов неоднозначно. Отмечены случаи горения породного отвала шахты «Комсомолец Донбасса» при  $S = 0,8\%$  и отсутствие горения его при  $S = 4,1\%$ . Также на шахте «Иловайская» при  $S = 4,1\%$ , горение отвалов не отмечается [21].

Ярким подтверждением основного влияния содержания  $C_o$  на процесс самовозгорания и подтверждением правильности теории комплекса «уголь-кислород» является то, что на одной и той же шахте «Комсомолец Донбасса» отвал горел с 1994 по 2007 годы при  $C_o = 16,4\%$ , после уменьшения содержания  $C_o$  до  $8,4\%$  отвал перестал гореть. Также на шахте им. Челюскинцев в отвале № 2 содержание  $C_o = 17,29\%$ , и он горит, а отвал № 5 с  $C_o = 1,48\%$  является негорящим.

На основе выполненных исследований, с учетом существующих технологий и оборудования, ГБУ «Донгипрошахт» предложены технологические схемы извлечения углесодержащих компонентов из породы от проведения подготовительных горных выработок из шахтной породы до ее складирования в отвалах с привязкой к существующей подземной и поверхностной инфраструктуре шахт. Схемы могут применяться как в условиях действующих, так и для шахт нового строительства.

Широко применяемые традиционные методы обогащения с использованием

## НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

большого количества технической воды являются неприемлемыми для Донбасса, всегда испытывающего острый недостаток воды, особенно в настоящее время. Поэтому в предлагаемых схемах применены «сухие» методы обогащения, при которых не предусматривается использование в качестве рабочей среды технической воды [23].

Наиболее приемлемыми в существующих условиях являются следующие методы:

- классификация по крупности с выделением углесодержащих компонентов и породы высокозольных классов;

- разделение по крепости шахтной породы с извлечением углесодержащих компонентов и высокозольных отходов, основанное на избирательном дроблении компонентов шахтной породы;

- пневматическое обогащение с получением угольного концентрата и высокозольных отходов.

Предлагаемые технологические схемы извлечения углесодержащих компонентов рассмотрим на примере шахт «Прогресс» и «Шахтерская-Глубокая», на балансе которых состоят горящие породные отвалы.

Технологическая схема с расположением модуля установки по извлечению углесодержащих компонентов на поверхностном комплексе шахты с дальнейшим обогащением на рядом расположенной обогатительной фабрике наиболее проста в организационном и технологическом плане. Выбор шахты «Прогресс» в качестве примера обусловлен наличием на промплощадке шахты групповой обогатительной фабрики (ГОФ) «Красная Звезда» и конвейерной схемы транспорта породы на поверхностном комплексе. Качественно-количественные показатели шахтной породы от проведения подготовительных горных выработок шахты «Прогресс» —  $C_0 = 28,0 \%$ , при  $A^c = 65,8 \%$ .

В предлагаемой схеме предусмотрены использование малооперационных технологических процессов, минимизация затрат на переоборудование существующего комплекса приема и транспортирования

породы на поверхности действующей шахты и дальнейшее глубокое обогащение извлеченной углесодержащей породы на ГОФ «Красная Звезда».

Малооперационность процессов извлечения углесодержащей породы в условиях действующей шахты основана на использовании метода разделения по крепости шахтной породы на шнековом обогатительном агрегате (ШОА), основанного на избирательном дроблении минеральных компонентов шахтной породы, при условии разницы в крепости угля и породы не менее  $f = 1,5-2,0$  по шкале М. М. Протодыяконова. Коэффициент крепости антрацитовых включений в шахтной породе составляет  $f = 2,0$ . Коэффициент крепости литологических компонентов шахтной породы, представленной аргиллитом, алевролитом, аргиллитом алевролитистым и песчаником, составляет, соответственно, 4, 6, 6, 15, т. е. превышает коэффициент крепости антрацитовых включений более чем в два раза, что позволяет применить метод разделения по крепости горной массы.

Технологическая схема извлечения углесодержащих компонентов из шахтной породы и качественно-количественные показатели процессов приведены на рисунке 1. Данная технологическая схема обеспечивает получение высокозольной породы и углесодержащей породы. Содержание  $C_0 = 2,96 \%$  в высокозольной породе не создает рисков самовозгорания породных отвалов. После глубокого обогащения на обогатительной фабрике из углесодержащей породы получают угольный концентрат с  $A^c = 18,5 \%$ , используемый энергетическими потребителями.

Инфраструктура поверхностного комплекса с расположением технологического модуля по извлечению углесодержащей породы представлена на рисунке 2 (цветом выделено дополнительное оборудование и сооружения).

Предложенная технологическая схема с расположением модуля извлечения углесодержащих компонентов из шахтной породы

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

в подземных условиях шахты «Шахтерская-Глубокая» предполагает проведение дополнительных горных выработок в существующем подземном транспортном комплексе угольно-породных подъемов скипового ствола. Это связано со значительными дополнительными затратами, поэтому данная схема разработана с учетом минимизации габаритов горных выработок, что потребовало включение в схему сухого метода извлечения с малооперационными процессами.

Извлечение углесодержащих компонентов осуществляется методом классификации на грохоте-питателе шнековом ГШ-1000 по классу 25 мм с получением высокозольной породы и углесодержащей породы. Дальнейшее глубокое обогащение извлеченной углесодержащей породы предполагается на ГОФ «Красная Звезда»,

расположенной на расстоянии около 30 км от шахты.

Качественно-количественные показатели шахтной породы от проведения подготовительных горных выработок —  $C_o = 25,0 \%$ ,  $A^c = 71,3 \%$ .

С учетом вышеизложенного и качественных показателей гранулометрического и фракционного состава шахтной породы наиболее оптимальным методом извлечения углесодержащих компонентов является метод классификации шахтной породы по крупности по классу 25 мм.

Технологическая схема извлечения углесодержащих компонентов из шахтной породы с качественно-количественными показателями процесса извлечения углесодержащих компонентов представлена на рисунке 3.

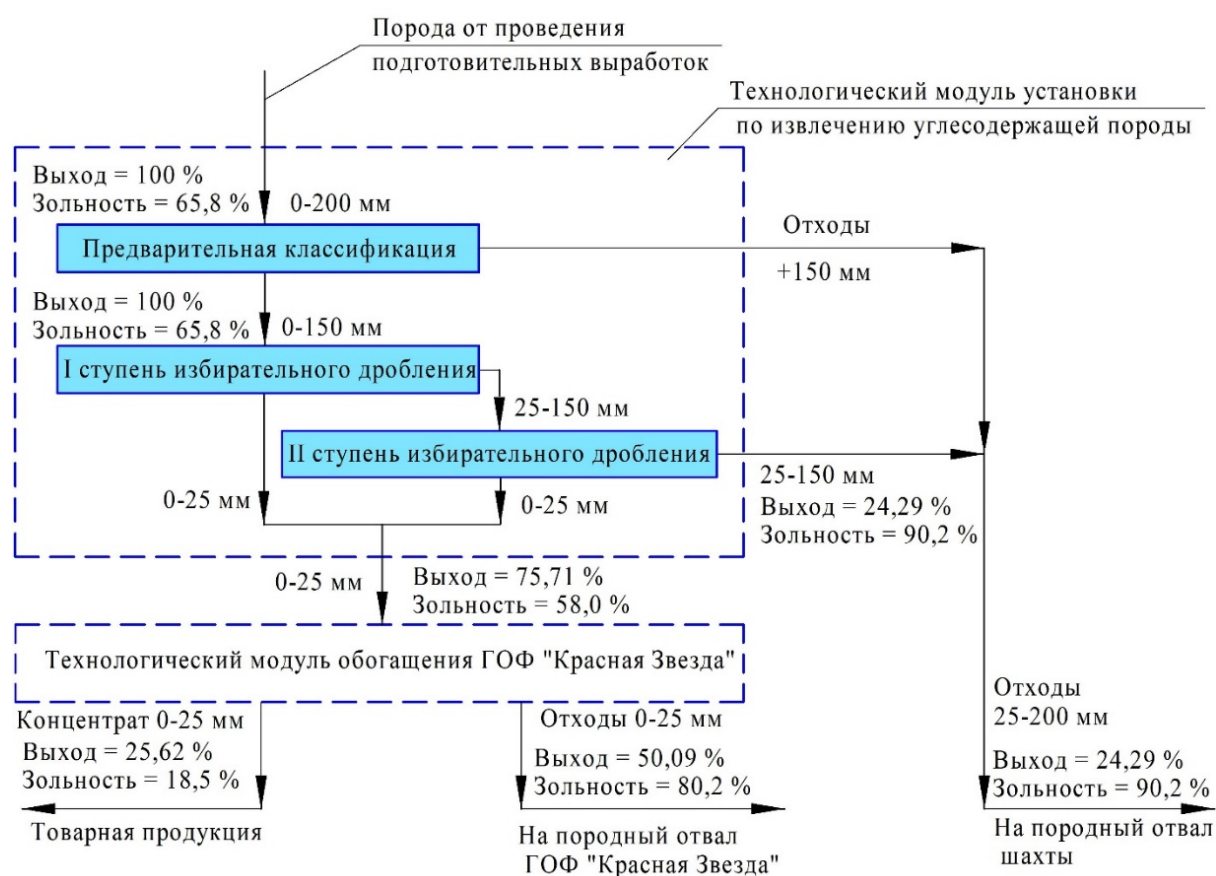
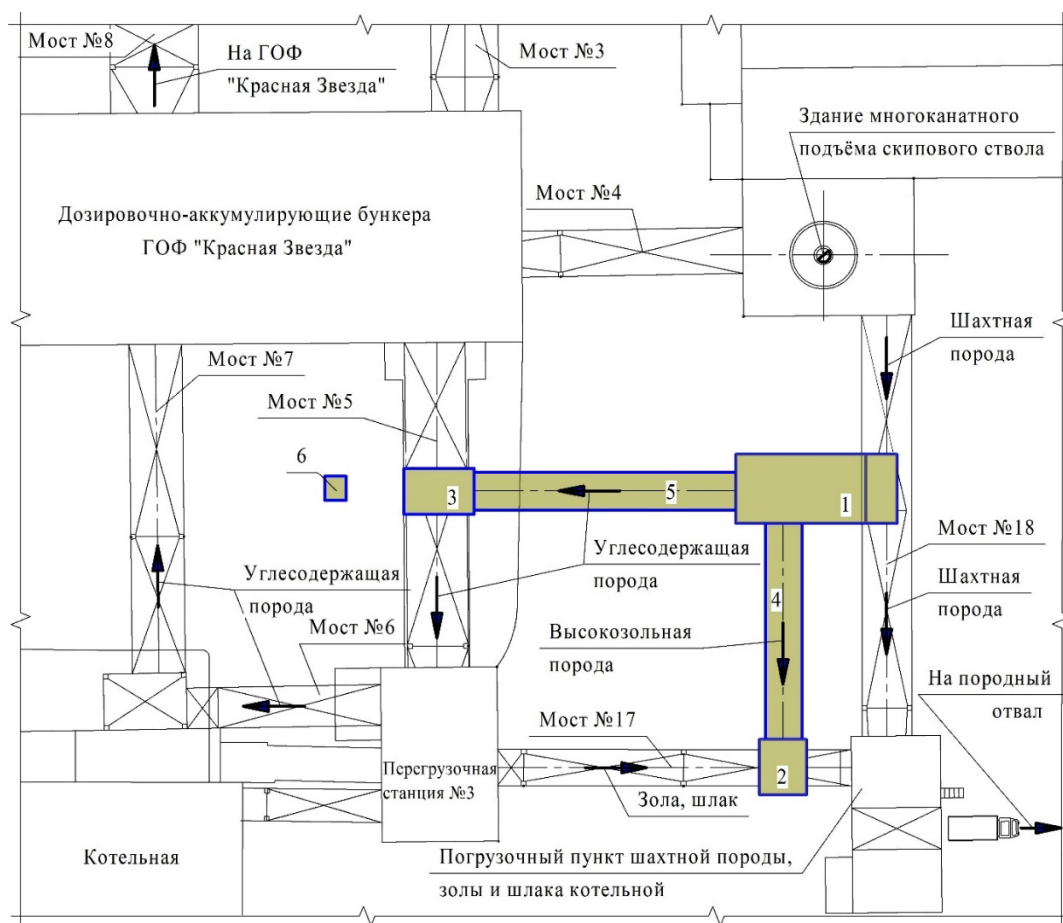


Рисунок 1 — Технологическая схема извлечения углесодержащих компонентов из шахтной породы на поверхностном комплексе шахты «Прогресс» с дальнейшим обогащением на ГОФ «Красная Звезда»

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ



1 — установка по извлечению углесодержащей породы; 2 — перегрузочная станция № 6; 3 — перегрузочная станция № 5; 4 — галерея № 2; 5 — галерея № 1; 6 — трансформаторная подстанция

Рисунок 2 — Расположение технологического модуля по извлечению углесодержащей породы на поверхностном комплексе шахты «Прогресс»

Проведенные расчеты показали, что качественно-количественные показатели продуктов переработки обеспечивают получение высокозольной породы с содержанием  $C_0 = 2,96\%$ , при котором не возникают риски самовозгорания породных отвалов. Из углесодержащей породы после глубокого обогащения возможно получение угольного концентрата с  $A^c = 18,5\%$ . Учитывая большой объем проведения дополнительных подготовительных выработок, данную технологическую схему целесообразно использовать при реконструкции действующих или строительстве новых шахт.

Технологическая схема извлечения углесодержащих компонентов из шахтной по-

роды с расположением на технологическом комплексе поверхности в условиях действующей шахты и отсутствии вблизи обогатительной фабрики рассмотрена с возможностью получения не только высокозольных отходов, но и угольного концентрата, качество которого соответствует требованиям энергетических потребителей.

В схеме предусматривается применение метода пневматического обогащения по технологии «СЕПАИР», разработанной АО «Гормашэкспорт» (г. Новосибирск), основанной на реализации нового принципа разделения минеральных частиц по плотности в восходящем потоке воздуха, создаваемом в сопле, расположенном над перфорированным полотном [24, 25].

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

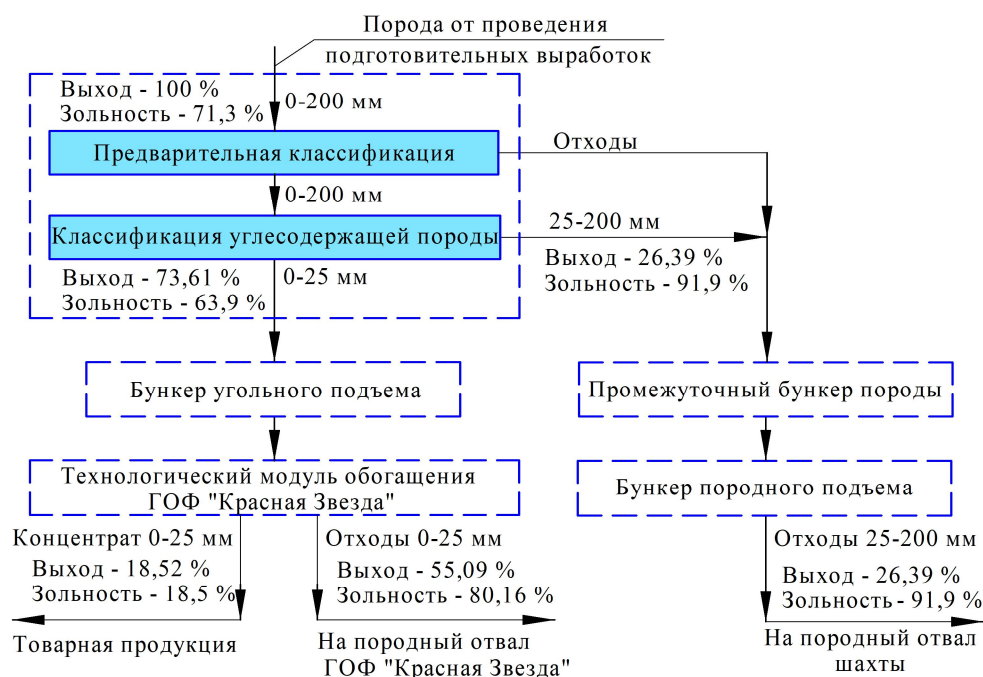


Рисунок 3 — Технологическая схема при подземном расположении модуля извлечения углесодержащих компонентов из шахтной породы на шахте «Шахтерская-Глубокая»

Технология универсальна, может применяться не только для обогащения высокозольного угля, но и руд цветных металлов, алмазосодержащих руд, золота и металлургических шлаков [26]. В настоящее время она широко применяется на угольных шахтах и разрезах РФ для переработки породных отвалов [27].

Технология «СЕПАИР» обеспечивает высокую эффективность и низкую стоимость обогащения, небольшие затраты на технологическое оборудование и капитальные сооружения, возможность размещения установки в шахте, а также работу под открытым небом.

Модульная установка по сухому обогащению породы угледобычи по технологии «СЕПАИР» обеспечивает глубину обогащения углесодержащей породы — «0» мм.

Анализ ситового и фракционного составов шахтной породы показывает наличие углесодержащих компонентов в классах 0–25 мм и определяет верхнюю границу машинного класса обогащения — 25 мм. Таким образом, для обогащения шахтной породы методом пневматического обога-

щения предусматривается подготовка машинного класса 0–25 мм. Размер площадки, необходимый для размещения оборудования модулей дробления, грохочения и модуля пневматической сепарации, ориентировочно составляет 80×40 м.

Технологическая схема и качественные показатели процесса обогащения шахтной породы представлены на рисунке 4.

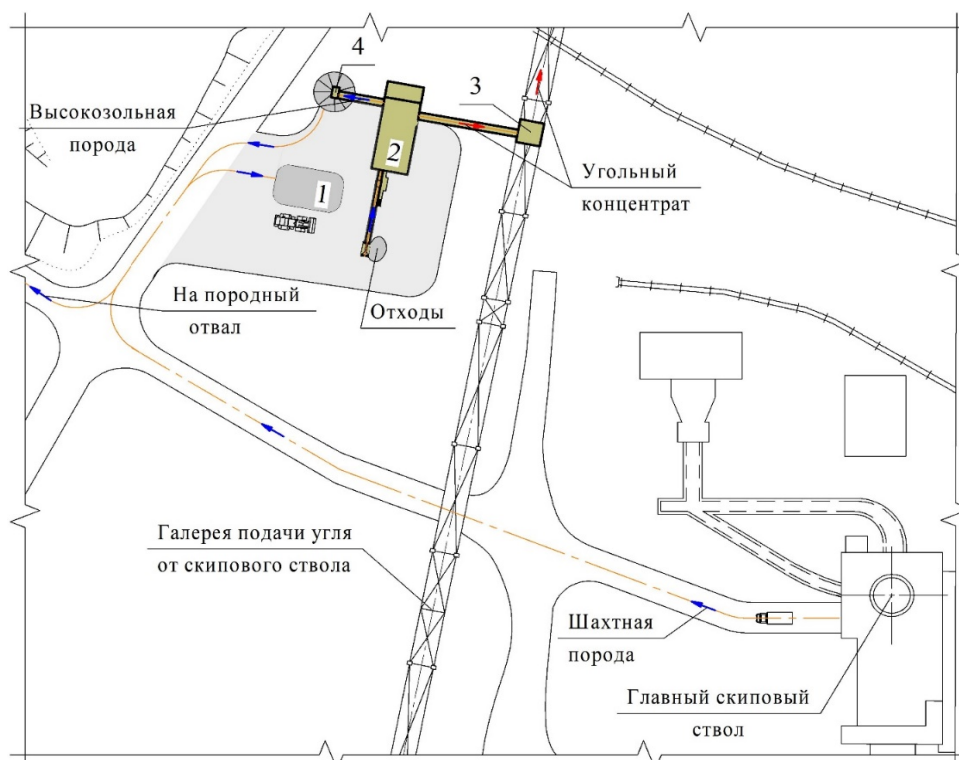
Данная схема обогащения обеспечивает получение высокозольной породы и угольного концентрата с  $A^c = 15,0\%$ . Содержание  $C_o = 9,8\%$  в высокозольной породе не создает риска самовозгорания породных отвалов. Качественные показатели угольного концентрата соответствуют требованиям энергетических потребителей.

Инфраструктура технологического комплекса поверхности с модулем установки пневматического обогащения породы «СЕПАИР» на шахте «Шахтерская-Глубокая» представлена на рисунке 5 (цветом выделены дополнительное оборудование и объекты, включенные в существующий поверхностный комплекс).

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**



Рисунок 4 — Технологическая схема обогащения шахтной породы по технологии «СЕПАИР» на поверхностном комплексе шахты «Шахтерская-Глубокая»



1 — склад шахтной породы; 2 — установка пневматического обогащения породы; 3 — перегрузочная станция; 4 — склад высокозольной породы

Рисунок 5 — Расположение технологического модуля установки пневматического обогащения породы «СЕПАИР» на поверхностном комплексе шахты «Шахтерская-Глубокая»

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Таблица

Экономические показатели технологических схем

Наименование объекта и место его расположения	Капитальные затраты, млн руб/год	Чистая прибыль, млн руб/год	Срок окупаемости, лет	Стоимость извлечения, обогащения, руб/т
<b>Шахта «Шахтерская-Глубокая»</b>				
Установка по извлечению углесодержащих компонентов. Расположение подземное	253,0	18,1	11,5	1054,8
Установка пневматического обогащения. На поверхности	122,0	70,0	1,4	323,2
<b>Шахта «Прогресс»</b>				
Установка по извлечению углесодержащих компонентов с дальнейшим обогащением на ГОФ «Красная Звезда». На поверхности	101,4	41,8	2,0	1000,0

Применение предложенных технологических схем по извлечению углесодержащих компонентов из шахтной породы обеспечит снижение до минимума риска самовозгорания породных отвалов, уменьшение затрат на их содержание, а также позволит избежать текущих затрат на приведение отвалов в безопасное состояние и уменьшить экологические платежи и штрафы.

Экономические показатели предлагаемых технологических схем представлены в таблице.

Из таблицы следует, что применение установки пневматического обогащения породы «СЕПАИР», располагаемой на поверхности, требует меньших капитальных затрат, у нее меньший срок окупаемости и себестоимость обогащения.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Подтверждена правомерность применения теории комплекса «уголь-кислород» для определения факторов, способствующих самовозгоранию, на основании анализа технологических и технических параметров породных отвалов.

2. В результате аналитических исследований установлено, что наиболее результативным является подход, направленный на борьбу с факторами, способствующими самовозгоранию, а не с его последствиями.

3. Существующие методы предотвращения самовозгорания отвалов направлены в основном на предотвращение доступа кислорода к отвальной массе, а второму основному фактору — наличию углесодержащих компонентов в породе — не уделяется внимание.

4. Обоснована целесообразность и экономическая эффективность превентивного извлечения углесодержащих компонентов из породы от проведения подготовительных выработок угольных шахт до ее складирования в отвалах.

5. Применение схемы с модулем установки пневматического обогащения породы по технологии «СЕПАИР» обеспечит синергетический экономический эффект от снижения затрат на отвалообразование, на борьбу с пожарами на отвалах и от реализации товарной продукции (угольный концентрат для энергетиков).

6. Применение предложенных технологических схем позволит снизить до минимума риск самовозгорания породных отвалов, уменьшить экологическую опасность отвалов за счет снижения выбросов вредных и парниковых газов из горящих отвалов, повысить техносферную безопасность угольных регионов.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию параметров технологических схем и расширение области их применения.

## Список источников

1. Повышение экологической безопасности породных отвалов угольных шахт : монография / А. Р. Зубов и [др.]. Луганск : изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 176 с.
2. Терриконы углепромышленных районов Донбасса как источник воздействия на окружающую среду / В. Е. Закруткин [и др.]. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки». 2017. № 3-1 (195-1). С. 69–75. EDN ZOKXKR
3. Породные отвалы угольных шахт России / С. З. К. Калаева, С. М. Богданов, Н. О. Лукин, А. А. Огер // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 3–23. EDN VTFVBR
4. Терриконы : монография / Л. Г. Зубова [и др.]. Луганск : Ноулидж, 2015. 712 с.
5. Каталог породных отвалов г. Донецка [Электронный ресурс] // Донбасское географическое общество : [сайт]. URL: <https://dongeosociety.ru/wp-content/uploads/2016/12/Каталог-породных-отвалов.pdf> (дата обращения: 19.01.2026).
6. Распоряжение Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р (ред. от 21.10.2024) «Об утверждении Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года». URL: <http://government.ru/docs/39871/>.
7. Булгаков Ю. Ф., Мельникова Я. В., Кавера А. Л. Пути решения проблемы вредного воздействия породных отвалов на горнорабочих и окружающую среду // Вести Донецкого горного института. 2003. № 2. С. 31–34.
8. Гендлер С. Г., Братских А. С. Актуальные проблемы возгорания угольных скоплений в породных отвалах // Горная промышленность. 2024. № 5S. С. 71–77. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77 EDN JKMEEG
9. Высоцкий С. П., Козырь Д. А. Экологический мониторинг породных отвалов горнопромышленных агломераций // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 11. С. 37–46. DOI: 10.18799/24131830/2021/11/2964 EDN TBZABA
10. Carras J. N., Day S. J., Saghafi A., Williams D. J. Greenhouse gas emissions from low-temperature oxidation and spontaneous combustion at open-cut coal mines in Australia // International Journal of Coal Geology. 2009. Vol. 78. Iss. 2. P. 161–168. DOI: 10.1016/j.coal.2008.12.001
11. Профилактика и ликвидация горения породных отвалов / А. А. Твердов, А. Б. Яновский, С. Б. Никушичев, Г. Апель // Уголь. 2010. № 2 (1006). С. 3–6. EDN KZILOL
12. Study on controlling factors and developing a quantitative assessment model for spontaneous combustion hazard of coal gangue / B. Han [et al.] // Case Studies in Thermal Engineering. 2024. Vol. 54. Art. 104039. DOI: 10.1016/j.csite.2024.104039 EDN KMHPXY
13. Finkelman R. B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks // International Journal of Coal Geology. 2004. Vol. 59. Iss. 1–2. P. 19–24. DOI: 10.1016/j.coal.2003.11.002
14. Закрытие угольных шахт и породные отвалы : материалы инициативы «Окружающая среда и безопасность» (ENVSEC) в рамках ОБСЕ, 2003. Публикация из серии: Лучшая практика экологического менеджмента в горнодобывающей отрасли. Австралийский Союз и ЮНЕП, 2002. URL: [https://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/205142\\_Greening%20the%20dumps\\_best%20practices\\_diss%20materials\\_rus\\_0.pdf](https://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/205142_Greening%20the%20dumps_best%20practices_diss%20materials_rus_0.pdf) (дата обращения: 19.01.2026).
15. Скочинский А. А., Огиевский В. М. Рудничные пожары. М. : Углетехиздат, 1954. 358 с.
16. Тронов Б. В. О механизме окисления каменного угля кислородом воздуха. Статья 6-я // Известия Томского индустриального института им. С. М. Кирова. 1940. Т. 60. Вып. III. С. 11–36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-mehanizme-okisleniya-kamennogo-uglya-kislorodom-vozduhu/viewer>.
17. Саранчук В. М. Окисление и самовозгорание угля. Киев : Наукова думка, 1982. 168 с. : ил.
18. Панов Б. С., Проскурня Ю. А. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса // Геология угольных месторождений : межвузовский тематический научный сборник. Екатеринбург, 2002. С. 274–281.
19. Лиманский А. В. Основные недостатки и направления совершенствования мониторинга экологических последствий ликвидации предприятий угольной промышленности России // Уголь. 2010. № 9 (1013). С. 68–71. EDN MULZQF

20. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.11.2020 № Пр-469 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности „Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности“». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012150051> (дата обращения: 19.01.2026).

21. Разработка предложений по снижению углеродсодержащих компонентов в породе от проведения подготовительных выработок угольных шахт до ее складирования : отчет о НИР (заключ.) / ГБУ «Донгипрошахт», рук. Лазуткин Е. В. ; исполн. : Е. Н. Свечкаренко [и др.]. Донецк, 2025. 112 с. Инв. № Н.16-02.

22. Постановление Правительства Донецкой Народной Республики от 27 апреля 2024 г. № 46-2 «Об утверждении Положения об особенностях определения кадастровой стоимости земельных участков разных категорий земель и выдачи документов об определении кадастровой стоимости земельных участков и удельных показателей кадастровой стоимости земельных участков». URL: <https://pravdnr.ru/npa/postanovlenie-pravitelstva-doneczkoj-narodnoj-respubliki-ot-27-aprelya-2024-g-%E2%84%96-46-2-ob-utverzhdenii-polozheniya-ob-osobennostyah-opredeleniya-kadaastrovoj-stoimosti-zemelnyh-uchastkov-r/?ysclid=mjv7hy3uzf241274988> (дата обращения: 19.01.2026).

23. Бауман А. В., Степаненко А. И., Степаненко А. А. Практические результаты и перспективы сухого обогащения руд и нерудных материалов методом пневмосепарации // Горный журнал. 2020. № 3. С. 40–44. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.07 EDN SFBXDF

24. Способ сухого обогащения рядового угля : пат. 2268787 Рос. Федерация / В. И. Люленков, А. В. Кузьмин, К. В. Качуров, А. Л. Кардаков, Д. Ю. Бойко ; № 2005113613/03 ; заявл. 05.05.2005 ; опубл. 27.01.2006, Бюл. 3. 9 с. : ил.

25. Степаненко А. И. «СЕПАИР». Технология и аппараты пневмосепарации руд и нерудных материалов // Гормашэкспорт. Новосибирск : Сибпринт, 2020. 36 с. (Процессы и аппараты обогащения и химической технологии). EDN AFLUVQ

26. Завьялов С. С., Мамонов Р. С. Теоретическое обоснование возможностей применения пневматической сепарации при обогащении сульфидных медных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 11-1. С. 199–209. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_111\_0\_199 EDN FNXQIU

27. Обогащение угля методом пневматической сепарации с использованием «Сепар» / Н. К. Омарова [и др.] // Труды НАО «Карандинский технический университет». 2025. № 3 (100). С. 101–107. DOI: 10.52209/1609-1825\_2025\_3\_101 EDN BRMBCW

© Гомаль И. И., 2026

© Свечкаренко Е. Н., Полякова Н. В., 2026

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. РМПИ ДонНТУ Петренко Ю. А.,  
к.т.н., доц. каф. ГТиПБ ДонГТУ Смекалиным Е. С.**

Статья поступила в редакцию 20.01.2026.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Гомаль Иван Иванович**, канд. техн. наук, доцент каф. разработки месторождений полезных ископаемых

Донецкий национальный технический университет,  
г. Донецк, Россия, e-mail: [ivan.gomal.77@mail.ru](mailto:ivan.gomal.77@mail.ru)

**Свечкаренко Елена Николаевна**, начальник отдела технологии поверхности и генерального плана Донгипрошахт,  
г. Донецк, Россия

**Полякова Наталья Владимировна**, главный инженер отдела технологии поверхности и генерального плана  
Донгипрошахт,  
г. Донецк, Россия

**Gomal I. I.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia, e-mail: ivan.gomal.77@mail.ru),  
**Svechkarenko E. N., Polyakova N. V.** (Dongiproshakht, Donetsk, Russia)

### PREVENTING THE SPONTANEOUS FIRING OF COAL MINE ROCK DUMPS

Analyzing theoretical studies, technological and technical parameters of burning rock dumps, the validity of applying theory of “coal-oxygen” complex for determining factors contributing to spontaneous firing is proved. An approach aimed at combating the causes of spontaneous firing, rather than its consequences, consists in the extraction of coal-bearing components from the mine rock to its storing in dumps is proposed. The flowsheets of the extraction of coal-bearing components from the mine rock with equipment location in underground conditions and on the surface complex have been developed, with a link to the existing underground and surface infrastructure of mine.

**Key words:** rock dumps, spontaneous firing, preventive extraction of coal-bearing components from rock, flowsheet.

**Funding:** funds of the Republican budget of the Donetsk People’s Republic for carrying out research work on the departmental order “Development of proposals for reducing coal-bearing components in the rock from carrying out preliminary development of coal mines to storing it”.

### References

1. Zubov A. R. [et al.]. *Improving the environmental safety of coal mine rock dumps: a monograph [Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti porodnyh otvalov ugol'nyh shaht : monografiya]*. Lugansk : Publishing House of VNU named after V. Dahl, 2012. 176 p.
2. Zakrutkin V. E. [et al.]. *The gob piles of Donbass’ coal industrial areas as a source of environmental impact [Terrikony uglepromyshlennyh rajonov Donbassa kak istochnik vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu]*. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii Region. Natural Science*. 2017. No. 3-1 (195-1). Pp. 69–75. EDN ZOKXKR
3. Kalaeva S. Z. K., Bogdanov S. M., Lukin N. O., Oger A. A. *The rock dumps of coal mines in Russia [Porodnye otvaly ugol'nyh shaht Rossii]*. *Izvestiya Tula State University. Natural Sciences*. 2016. No. 1. Pp. 3–23. EDN VTFVBR
4. Zubova L. G. [et al.]. *The rock dumps : a monograph [Terrikony : monografiya]*. Lugansk : Noulidzh, 2015. 712 p.
5. *Catalog of the Donetsk rock dumps [Katalog porodnyh otvalov g. Donecka]*. Donbass geographical society. URL: <https://dongeosociety.ru/wp-content/uploads/2016/12/Каталог-породных-отвалов.pdf> (date of treatment: 19.01.2026).
6. Government Resolution of the Russian Federation dated June 13, 2020 No. 1582-r (as amended on 21.10.2024) “On approval of Programm for the Coal Industry Development in Russia for the period up to 2035” [Ob utverzhdenii Programmy razvitiya ugol'noj promyshlennosti Rossii na period do 2035 goda]. URL: <http://government.ru/docs/39871/>.
7. Bulgakov Yu. F., Mel'nikova Ya. V., Kavera A. L. *Ways to address the harmful impact of the rock dumps on miners and the environment [Puti resheniya problemy vrednogo vozdeystviya porodnyh otvalov na gornorabochih i okruzhayushchuyu sredu]*. *Vesti Doneckogo gornogo instituta*. 2003. No. 2. Pp. 31–34.
8. Gendler S. G., Bratskikh A. S. *Actual problems of inflaming coal clusters in rock dumps [Aktual'nye problemy vozgoraniya ugol'nyh skoplenij v porodnyh otvalah]*. *Mining Industry*. 2024. No. 5S. Pp. 71–77. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77 EDN JKMEEG
9. Vysockiy S. P., Kozyr D. A. *Ecological monitoring of mining agglomeration rock dumps [Ekologicheskij monitoring porodnyh otvalov gornopromyshlennyh aglomeracij]*. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021. Vol. 332. No. 11. Pp. 37–46. DOI: 10.18799/24131830/2021/11/2964 EDN TBZABA

10. Carras J. N., Day S. J., Saghafi A., Williams D. J. Greenhouse gas emissions from low-temperature oxidation and spontaneous combustion at open-cut coal mines in Australia. *International Journal of Coal Geology*. 2009. Vol. 78. Iss. 2. Pp. 161–168. DOI: 10.1016/j.coal.2008.12.001

11. Tverdov A. A., Yanovskiy A. B., Nikishichev S. B., Apel' G. [Profilaktika i likvidaciya goreniya porodnyh otvalov]. *Ugol'*. 2010. No. 2 (1006). Pp. 3–6. EDN KZILOL

12. Han B. [et al.]. Study on controlling factors and developing a quantitative assessment model for spontaneous combustion hazard of coal gangue. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2024. Vol. 54. Art. 104039. DOI: 10.1016/j.csite.2024.104039 EDN KMHPXY

13. Finkelman R. B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. *International Journal of Coal Geology*. 2004. Vol. 59. Iss. 1–2. Pp. 19–24. DOI: 10.1016/j.coal.2003.11.002

14. Closure of coal mines and spoil heaps: Environment and Security (ENVSEC) materials within the OSCE. 2003. Series publication: Best environmental management practice in the mining industry. Australian union and UNEP [Zakrytie ugol'nyh shaht i porodnye otvaly : materialy iniciativy «Okruzhayushchaya sreda i bezopasnost'» (ENVSEC) v ramkah OBSE, 2003. Publikaciya iz serii: Luchshaya praktika ekologicheskogo menedzhmenta v gornodobyvayushchej otrasli. Avstralijskij Soyuz i YUNEP]. 2002. URL: [https://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/205142\\_Greening%20the%20dump\\_s\\_best%20practices\\_diss%20materials\\_rus\\_0.pdf](https://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/205142_Greening%20the%20dump_s_best%20practices_diss%20materials_rus_0.pdf) (date of treatment: 19.01.2026).

15. Skochinskiy A. A., Ogievskiy V. M. Mine fire [Rudnichnye pozhary]. M. : Ugletekhizdat. 1954. 358 p.

16. Tronov B. V. On the mechanism of oxidation of coal by atmospheric oxygen. Article 6 [O mekhanizme okisleniya kamennogo uglya kislorodom vozduha. Stat'ya 6-ya]. *Izvestiya Tomskogo industrial'nogo instituta im. S. M. Kirova*. 1940. Vol. 60. Iss. III. Pp. 11–36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-mekhanizme-okisleniya-kamennogo-uglya-kislorodom-vozduha/viewer>.

17. Saranchuk V. M. Oxidation and coal fire breeding [Okislenie i samovozgoranie uglya]. Kiev : Naukova dumka. 1982. 168 p. : il.

18. Panov B. S., Proskurnya Yu. A. Model of fire breeding of coal mine rock dumps in Donbas [Model' samovozgoraniya porodnyh otvalov ugol'nyh shaht Donbassa]. *Geologiya ugol'nyh mestorozhdenij : mezhvuzovskij tematiceskij nauchnyj sbornik*. Ekaterinburg. 2002. Pp. 274–281.

19. Limanskiy A. V. The main shortcomings and ways for improving ecological consequence monitoring of closing down the coal industry enterprises in Russia [Osnovnye nedostatki i napravleniya sovershenstvovaniya monitoringa ekologicheskikh posledstvij likvidacii predpriyatij ugol'noj promyshlennosti Rossii]. *Ugol'*. 2010. No. 9 (1013). Pp. 68–71. EDN MULZQF

20. Order of the Federal service on environmental, technological and nuclear supervision dated 27.11.2020 No. Pr-469 “On the approval of Federal norms and regulations in the field of industrial safety ‘Instructions for preventing exogenous and endogenous fire hazards at mining facilities of the coal industry’” [Prikaz Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 27.11.2020 № Pr-469 «Ob utverzhdenii Federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti „Instrukciya po preduprezhdeniyu ekzogennoj i endogennoj požharoopasnosti na ob"ektah vedeniya gornyh rabot ugol'noj promyshlennosti“»]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012150051> (date of treatment: 19.01.2026).

21. Development of proposals to reduce carbon-bearing components in rock from coal mine preliminary development to its storing: R&D report (concl.). SBI “Dongiproshaht”. Manager of research Lazutkin E. V., Exec. Svechkarenko E. N. [et al.] [Razrabotka predlozhenij po snizheniyu uglerodsoderzhashchih komponentov v porode ot provedeniya podgotovitel'nyh vyrabotok ugol'nyh shaht do ee skladirovaniya : otchet o NIR (zaklyuch.)]. Donetsk. 2025. 112 p. Tag No. 16-02.

22. Resolution of the Government of the Donetsk People’s Republic dated April 27, 2024. No. 46-2 “On the approval of the Regulation on the characteristics of determining the cadastral value of land parcels of different categories of lands and issuance of documents for determining the cadastral value of land parcels and unit values of the cadastral value of land parcels [Postanovlenie Pravitel'stva Doneckoj Narodnoj Respubliki ot 27 aprelya 2024 g. № 46-2 «Ob utverzhdenii Polozheniya ob osobennostyah opredeleniya kadaastrovoj stoimosti zemel'nyh uchastkov raznyh kategorij zemel' i vydachi dokumentov ob opredelenii kadaastrovoj stoimosti zemel'nyh uchastkov i udel'nyh pokazatelej kadaastrovoj stoimosti zemel'nyh uchastkov»]. URL: <https://pravdnr.ru/npa/postanovlenie-pravitelstva-doneczkoj-narodnoj-respubliki-ot-27-aprelya-2024-g->

[%E2%84%96-46-2-ob-utverzhdenii-polozeniya-ob-osobennostyah-opredeleniya-kadaastrovoj-stoimosti-zemelynh-uchastkov-r/?ysclid=mjv7hy3uzf241274988](#) (date of treatment : 19.01.2026).

23. Bauman A. V., Stepanenko A. I., Stepanenko A. A. Practical results and prospects of dry enrichment of ores and non-metallic materials by pneumatic sampling [Prakticheskie rezul'taty i perspektivy suhogo obogashcheniya rud i nerudnyh materialov metodom pnevmoseparacii]. *Gornyj zhurnal*. 2020. No. 3. Pp. 40–44. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.07 EDN SFBXDF

24. Method of dry refining ordinary coal : Pat. 2268787 the Russian Federation. Lyulenkov V. I., Kuz'min A. V., Kachurov K. V., Kardakov A. L., Bojko D. Yu. No. 2005113613/03 ; submitted 05.05.2005 ; published 27.01.2006, Bulletin 3. 9 p. : il.

25. Stepanenko A. I. “SEPAIR”. Technology and apparatus for pneumatic separation of ores and non-metallic materials [«SEPAIR». Tekhnologiya i apparaty pnevmoseparacii rud i nerudnyh materialov]. *Gormasheksport*. Novosibirsk : Sibprint. 2020. 36 p. Processy i apparaty obogashcheniya i himicheskoy tekhnologii. EDN AFLUVQ

26. Zav'yalov S. S., Mamonov R. S. Theoretical justification of the possibilities of using pneumatic separation in the enrichment of sulfide copper ores [Teoreticheskoe obosnovanie vozmozhnostej primeneniya pnevmaticheskoy separacii pri obogashchenii sul'fidnyh mednyh rud]. *Mining informational and analytical bulletin*. 2022. No. 11-1. Pp. 199–209. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_111\_0\_199 EDN FNXQIU

27. Omarova N. K. [et al.]. Coal enrichment by pneumatic separation using “Sepair” [Obogashchenie uglya metodom pnevmaticheskoy separacii s ispol'zovaniem «Sepair»]. *NPJSC Proceedings “Karaganda Technical University”*. 2025. No. 3 (100). Pp. 101–107. DOI: 10.52209/1609-1825\_2025\_3\_101 EDN BRMBCW

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Gomal Ivan Ivanovich**, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Mineral Deposits Development  
Donetsk National Technical University,  
Donetsk, Russia, e-mail: ivan.gomal.77@mail.ru

**Svechkarenko Elena Nickolaievna**, Head of the Department of Surface Technology and General Plan Dongiproshakht,  
Donetsk, Russia

**Polyakova Natalia Vladimirovna**, Chief Engineer of the Department of Surface Technology and General Plan,  
Dongiproshakht,  
Donetsk, Russia