ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.5:622
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.19885264

И. И. Гомаль, Е. Н. Свечкаренко, Н. В. Полякова

ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ САМОВОЗГОРАНИЮ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

Рассмотрены существующие теории самовозгорания породных отвалов, выполнен анализ технологических и технических параметров факторов самовозгорания ряда горящих и негорящих породных отвалов угледобывающих районов ДНР, обоснованы основная роль теории комплекса «уголь-кислород» в самовозгорании породных отвалов и подход по снижению углесодержащих компонентов из породы до складирования в породных отвалах.

Ключевые слова: *породный отвал, склонность к самовозгоранию, теория самовозгорания, технологический параметр, фактор самовозгорания, экологическая оценка*

Для цитирования: Гомаль, И. И. Горно-геологические и технологические факторы, способствующие самовозгоранию породных отвалов / И. И. Гомаль, Е. Н. Свечкаренко, Н. В. Полякова // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Road Institute. – 2025. – № 4(55). – С. 60–72. https://doi.org/10.5281/zenodo.19885264.

Состояние проблемы

Породные отвалы, особенно горящие, оказывают отрицательное влияние практически на все компоненты природной среды. Распоряжением Правительства РФ [1] в подпрограмме «Обеспечение экологической безопасности угольной промышленности» предусмотрена разработка мер по предупреждению самовозгорания и по тушению породных отвалов.

Процесс добычи каменного угля сопровождается выдачей на поверхность породы от проведения подготовительных горных выработок, которая на поверхности складируется в породных отвалах. Рост добычи угля приводит к увеличению объемов породы от проведения подготовительных выработок. Каждая тысяча тонн подземной добычи сопровождается выдачей на поверхность и складированием в отвалах 110–150 м^3 пород [2], что приводит к усилению техногенного влияния со стороны горнодобывающего комплекса на окружающую среду.

В шахтной отвальной массе содержится до 30 % горючих веществ, в отвальной массе обогатительных фабрик – до 45 % по объему. В среднем по Донецкому бассейну потери угля в отвальной массе составляют около 1,5 % подземной добычи [2–4].

В настоящее время на территории Донецкой Народной Республики расположены около 632 породных отвалов, в том числе 132 отвала – горящие. При этом необходимо отметить: процессы горения наблюдаются как на действующих породных отвалах, так и на недействующих – после остановки их эксплуатации в течение 7–12 лет.

Процесс горения отвалов является опасным источником выбросов в атмосферу больших концентраций угарного газа, сероводорода и других токсичных веществ, отрицательно влияющих на экологическую систему региона, и требует значительных капитальных затрат для приведения горящих отвалов в экологически безопасное состояние [2–6].

При горении отвалов выделяющиеся вредные вещества распространяются на значительные расстояния, превышая при этом предельно-допустимые концентрации в прилегающих населенных пунктах, находящихся в санитарно-защитной зоне. Поэтому ликвидация причин самовозгорания породных отвалов является актуальной задачей для обеспечения экологической безопасности угольных регионов.

Цель исследования

Определение горно-геологических и технологических факторов, способствующих самовозгоранию породных отвалов.

Анализ последних исследований и публикаций

Мировой опыт в области исследований горения породных отвалов показывает важность и актуальность данной проблемы. Начиная с XVIII века изучением процесса самовозгорания и горения породных отвалов занимались ученые различных стран: Англии, США, Германии, Китая, Австралии, России.

Большой вклад внесли ученые Германии, Англии, но в настоящее время шахты в этих странах закрыты, а породные отвалы практически ликвидированы. Особую актуальность данная проблема представляет для Китая и России, на территории которых расположено множество породных отвалов. Ей посвящено много исследований [7–12].

Объективные решения по предотвращению самовозгорания породных отвалов базируются на изучении существующих теорий самовозгорания породных отвалов с целью определения наиболее оптимальной для условий Донбасса, влияющей на процесс самовозгорания.

На настоящий момент существует множество теорий самовозгорания угля и углесодержащей породы отвалов, основные из них представлены на рисунке.

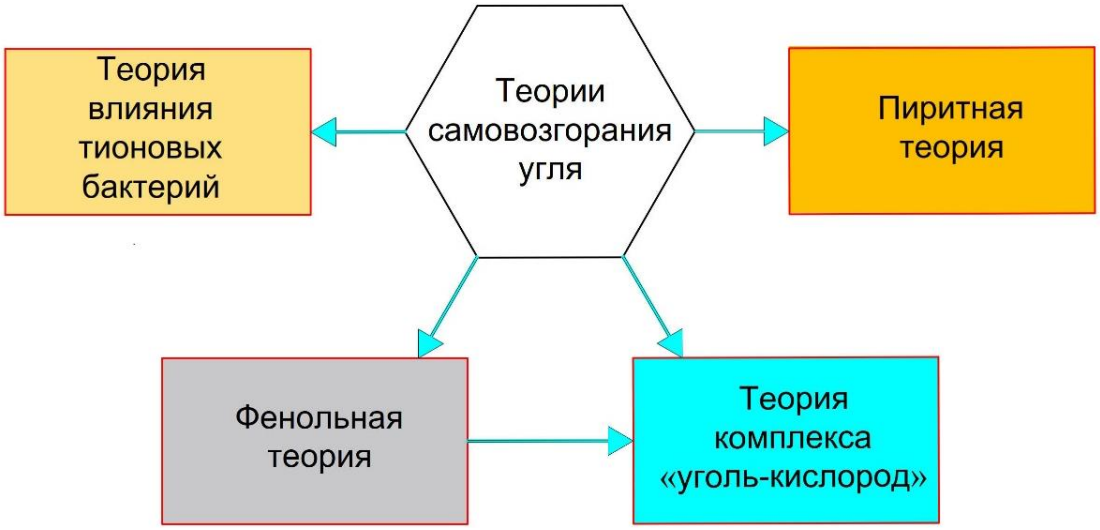

Рисунок – Теории самовозгорания углей и их связь между собой

Для определения факторов, влияющих на процессы самовозгорания породных отвалов, выполнен аналитический обзор существующих теорий самовозгорания.

Одной из первых является пиритная теория самовозгорания породных отвалов, выдвинутая в 60-х годах XIX века Ю. Либихом (Германия), согласно которой причиной самовозгорания является содержание пирита в углесодержащей породной массе отвалов. Его экспериментальные исследования, связанные с самовозгоранием угля (1840 г.), показали, что угли, содержащие пирит, более склонны к самонагреванию. Пирит ускоряет окисление органического вещества угля за счет образования серной кислоты и солей железа, присутствие воды усиливает реакцию окисления.

В результате экспериментальных исследований В. Гудман и С. У. Парр (США) подтвердили роль пирита в самовозгорании угля [13]. Пиритная теория основана на химической реакции дисульфида железа (пирита) с влагой и кислородом воздуха, происходящей с выделением тепла, достаточного для нагрева углесодержащей массы до температуры горения. Следствием экзотермической реакции является повышение температуры и вовлечение в процесс горения углисто-глинистых пород, находящихся в непосредственной близости к первоначальному очагу окисления.

Однако накопленная информация о случаях самовозгорания углей, которые вовсе не содержали пирита или содержали его в весьма незначительных количествах, а также наличие месторождений угля с большими включениями пирита, но не склонных к самовозгоранию на

воздухе, дала основание усомниться в абсолютной роли пирита в процессе [14]. Ряд исследователей – А. Путилин [13], Ф. Мюллерт [15] отводили пириту второстепенное значение, его роль – это только первоначальное подогревание угля.

В основе бактериальной теории самовозгорания лежит биохимическое окисление содержащихся в углепородном материале сульфидов в результате деятельности тионовых бактерий (Thiobacillus ferrooxidans). Впервые предположение о том, что бактерии могут влиять на окисление пирита, выдвинул в конце XIX века немецкий химик Ф. Мюллерт.

Изучение влияния тионовых бактерий на природные минеральные соединения началось в 50–60 годах XX века. Исследователями в области микробиологии С. И. Кузнецовым, М. В. Ивановой, Н. Н. Ляликовой и, позднее, М. А. Глазовской и Н. Г. Добровольской рассмотрены процессы окисления минералов, в том числе пирита в угле, с участием тионовых бактерий.

В своей работе [14] А. А. Скочинский также отмечал роль бактерий в процессе окисления, но при этом подвергал сомнению значимость этого фактора при самовозгорании.

В результате исследований, проведенных учеными Донецкого национального технического университета М. П. Зборщиком и В. В. Осокиным научно доказано участие тионовых бактерий в процессе разложения пирита и других сульфидов [16]. Биохимические процессы в породах терриконов приводят к полному разложению пирита с образованием $Fe(OH)_3$ и элементной серы. Выделение тепла вследствие этих реакций приводит к разогреву пород, и дальнейшему возгоранию паров серы и углесодержащих материалов породных отвалов.

Фенольная теория самовозгорания угля связывает самовозгорание с присутствием в угле фенольных групп и их реакцией с кислородом [13]. Механизм окисления, согласно фенольной теории, представляет собой процесс реакции фенольных групп $(-OH)$ молекулярной структуры угля с кислородом, в результате которого образуются пероксиды и гидропероксиды. Эти промежуточные соединения неустойчивы и распадаются с выделением тепла, запуская дальнейшее окисление угля. Если теплообмен с внешней средой ограничен – температура растет, ускоряя реакцию, при достижении критического уровня происходит самовозгорание.

Саранчук В. И. [17] отмечал, что большое содержание фенольных групп в молодых углях послужило основанием для разработки фенольной теории окисления углей. Фенольная теория объясняет самовозгорание через окисление активных функциональных групп в угле. Поэтому эту теорию можно рассматривать как частный случай общей теории комплекса «уголь-кислород».

В начале XX века английскими авторами была выдвинута теория «уголь кислородного комплекса», которая в дальнейшем получила широкое признание. Огромный вклад в развитие этой теории был внесен советскими учеными А. А. Скочинским и затем Н. М. Караваевым, В. Ф. Орешко, В. И. Касаточкиным и другими.

Веселовский В. С. обозначил три основные причины самовозгорания угля: способность угля окисляться кислородом воздуха, приток воздуха и повышение температуры из-за генерации тепла, выделяемого при окислении [15].

Согласно уголь-кислородной теории, самовозгорание угля обуславливается физико-химическими и теплофизическими процессами, протекающими в пористом скоплении угля. Основным источником тепла, за счет которого происходит изменение температуры, являются химические реакции окисления углесодержащего вещества кислородом, поступающим извне.

Эта теория объясняет самовозгорание углесодержащего материала сорбционными и окислительными процессами при поглощении углем кислорода воздуха, происходящими с выделением тепла. В начале процесса происходит физическая адсорбция кислорода на

поверхности и порах угля, а затем при температурах от 50 °С – хемосорбция, при которой образуются неустойчивые кислородные соединения типа перекисей. При достижении температур 60–80 °С начинается распад перекисей с дальнейшим экспоненциальным ростом температуры.

Выделяющееся при этом тепло ускоряет взаимодействие угля с кислородом. Затем происходит их расщепление до углекислоты, окиси углерода и воды. При этом выделяется до 70 % тепла, образующегося при окислении [14].

Принято считать, что критической температурой при самонагревании является для бурых углей 40–60 °С, для каменных углей 60–70 °С, для антрацитов 80 °С [13]. При достижении критической точки температуры происходит быстрый рост температуры с последующим самовозгоранием угольной составляющей.

В результате изучения механизмов окисления угля и отвальной массы, проводимых в Донецком институте органической химии и углехимии им. Л. М. Литвинова, В. И. Саранчук сделал вывод об общем механизме их окисления [17].

Процессы, описываемые в теории комплекса «уголь-кислород», происходят на границе раздела твердой и газообразной фазы. Особое значение приобретает наличие свободной поверхности угольного вещества. Учитывая, что угли относятся к своеобразному классу природных сорбентов и имеют развитую пористую структуру [17], то, как следствие, его развитая свободная поверхность увеличивает способность к окислению.

Для систематизации параметров причин самовозгорания породных отвалов современные исследователями Б. С. Пановым, Ю. А. Проскурня [18] разработана модель самовозгорания породных отвалов, обобщающая причины самовозгорания и горения породных отвалов, основанная на изложенных выше теориях с учетом горно-геологических и климатических факторов, влияющих на процессы самовозгорания породных отвалов.

Результаты проведенных аналитических исследований в области самовозгорания породных отвалов показывают, что на данный момент в научных кругах нет единого мнения, позволяющего сделать однозначный вывод об основной причине самовозгорания породных отвалов. Однако большинство авторов отводят главную роль теории комплекса «уголь-кислород», определяющими условиями которой являются наличие углесодержащих компонентов и доступ кислорода к породной массе.

Обобщая теоретические исследования и накопленный практический опыт можно сделать вывод, что для предотвращения самовозгорания наиболее результативным способом является снижение углесодержащих компонентов в шахтной породе до складирования ее в породных отвалах.

Изложение основного материала

Горящие отвалы являются одной из основных проблем угледобывающих районов, так как в результате горения выделяются вредные вещества: оксид углерода, диоксид углерода, диоксид серы, сернистый ангидрид, сероводород, сероуглерод, серооксид углерода, оксид азота, серная кислота, цианводород, аммиак, цианиды и др., оказывающие негативное влияние на экологическое состояние окружающей среды [2, 3, 10].

Горение породных отвалов вызывает образование пустот, обрушение и осадку горелых пород, осыпи, выбросы и термические оползневые деформации, что приводит к аварийным ситуациям и трагическим последствиям: взрывы отвалов на шахтах им. Ильича треста «Кадиевуголь», шахте им. Г. Димитрова привели к гибели людей [18].

Объем валовых выбросов вредных веществ от горения породных отвалов зависит от стадии горения, определяющейся температурой горения в очагах, площади очагов горения, степени метаморфизма угольных включений в отвальной массе. Валовые выбросы вредных веществ в результате горения некоторых породных отвалов приведены в таблице 1 [19].

Таблица 1 – Валовые выбросы вредных веществ

Шахта	Эксплуатационное состояние	Тепловое состояние	Площадь очагов горения, м^2	Выбросы, т/год						
				N_2O	NO_x	CO	CO_2	H_2S	SO_2	Суммарное газовыделение
Южнодонбасская № 1	не действующий	горящий	302,2	–	0,76	112,44	1 169,3	10,08	25,48	1 318,1
им. Засядько	действующий	затухающий	40	–	0,18	34,84	–	4,86	8,31	48,19
им. Т. Г. Шевченко	не действующий	горящий	271	–	2,33	287,64	–	24,99	65,19	380,15
Прогресс	не действующий	горящий	102,1	–	0,175	105,37	–	5,673	23,37	134,59
Шахтерская-Глубокая	не действующий	затухающий	–	1,18	–	118,76	–	6,90	11,88	138,76

В настоящее время формирование породных отвалов осуществляется в соответствии с нормами и правилами, предусматривающими мероприятия против их самовозгорания [20]. На практике при формировании породных отвалов возможно предотвратить только одну из причин самовозгорания породных отвалов – доступ кислорода в породную массу путем уплотнения породной массы и нанесения инертного материала. Однако соблюдение этих мероприятий не исключает процессов горения, так как эти мероприятия не всегда реализуются в должной мере, требуют достаточно большого количества бульдозерной и экскаваторной техники, значительного объема инертного материала и усложнения организационных работ при формировании отвала. При этом необходимо отметить, что на ряде породных отвалов после тушения и рекультивации наблюдались рецидивы повторного самовозгорания. Так, породный отвал № 3 шахты им. 60-летия Советской Украины (г. Макеевка), тепловое состояние которого характеризовалось следующими показателями: начало горения 1997 г., тушение 1999–2002 годы, 2007 год – повторное возгорание; шахта «Южно-Донбасская № 3» – по данным паспорта породного отвала: начало эксплуатации – 1985 г., в 2007 г. – отмечались очаги нагрева на изолированном сформированном втором ярусе отвала [21].

Предупреждение горения и тушение породных отвалов связаны с постоянными значительными текущими затратами. Ориентировочно стоимость тушения 1 м^2 породного отвала составляет порядка 900 руб., а температурная съемка 1 га порядка – 230 тыс. руб., при этом на участке работ отвал находится во временно нерабочем состоянии, что сопряженно с дополнительными издержками. Так стоимость тушения породного отвала шахты «Кондратьевка» в 2020 г. составила 9,8 млн руб. 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. [19].

В соответствии с нормативным документом [20] одним из требований по предупреждению пожароопасности породных отвалов является снижение содержания горючих веществ при добыче и обогащении полезных ископаемых в горной массе, направляемой на складирование в породные отвалы. Наличие угля в шахтной породе – это неизбежное следствие сочетания геологических и технологических факторов при проведении подготовительных горных выработок.

Геологические факторы определяются особенностями залегания пластов, в которых 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 выемки комбайнами, при проведении выработок захватываются участки угля вместе с породой, особенно при наличии тонких угольных прослоек в кровле пласта («ложная кровля») и углесодержащих включений в почве пласта («кучерявчик»).

Таким образом, в шахтной породе от проведения подготовительных горных выработок, выдаваемой на поверхность и складируемой на породных отвалах, угольные включения присутствуют в значительных количествах и являются основным фактором в возникновении самовозгорания породных отвалов. Так на шахте «Шахтерская-Глубокая» в общем объеме шахтной породы от проведения подготовительных горных выработок, выдаваемой на поверхность – 115 400 т, объем угольных включений – 29 300 т, что составляет 25,4 % [19].

Анализ рассмотренных теорий самовозгорания угля для породных отвалов угольных шахт ДНР показал:

– пиритная теория играет определенную роль в процессе самовозгорания породных отвалов. Однако показатели содержания пирита в угле не являются определяющим фактором самовозгорания угля: на породных отвалах шахт «Иловайская», «Комсомолец Донбасса» при содержании серы в отвальной массе, соответственно – 4,1 % и 3,0 %, горение породных отвалов не отмечается;

– бактериальная теория, основанная на участии тионовых бактерий в процессах окисления пирита, определяющего самостоятельного значения для самовозгорания угля не имеет;

– теория комплекса «уголь-кислород» имеет определяющее значение для самовозгорания угля, что подтверждается горением породных отвалов при содержании органического углерода в отвальной массе более 10,0 % на ряде шахт ДНР: шахта им. Челюскинцев – 17,29 % и содержании серы – 1,9 %; шахта «Холодная Балка» – 13,0 % и содержании серы – 0,4 %.

Таким образом, анализ теплового состояния рассмотренных породных отвалов угольных шахт ДНР показал, что наиболее полно и обосновано описывает причины самовозгорания породных отвалов теория комплекса «уголь-кислород», определяющими условиями которой являются наличие углесодержащих компонентов и доступ кислорода к породной массе.

Все другие рассмотренные теории, в которых не учитывается содержание углесодержащих компонентов в отвальной массе, особенного влияния на горение породных отвалов не оказывают и играют при этом второстепенную роль – первоначальное нагревание угля [13].

Склонность углей к самовозгоранию определяется следующими основными технологическими и техническими параметрами:

– степень метаморфизма угля Донбасса: каменные угли – средняя степень метаморфизма, антрациты – высокая степень метаморфизма;

– зольность углевмещающих пород;

– содержание органического углерода;

– содержание серы: по содержанию серы угли Донбасса классифицируются как низкосернистые (до 1,5 %), среднесернистые (1,5–2,5 %), сернистые (2,5–4,0 %) и высокосернистые (более 4,0 %);

– тепловое состояние действующих и недействующих породных отвалов.

Основными критериями склонности углей к самовозгоранию являются содержание органического углерода в углепородной массе более 10 % и содержание серы более 2 % [18].

Для обоснования основной роли теории комплекса «уголь-кислород» в самовозгорании породных отвалов нами выполнен анализ технологических и технических параметров самовозгорания наиболее типичных горящих и негорящих породных отвалов угледобывающих районов ДНР.

На основании фактических данных, приведенных в паспортах отвалов угольных шахт выполнен анализ их технологических параметров, влияющих на процессы самовозгорания, с учетом значений показателей характеристики породной массы и теплового состояния действующих и недействующих отвалов и их эксплуатационного состояния [19].

Значения показателей зольности (A^d), содержания серы (S), влажности (W) углевмещающих пород отвалов приняты по данным паспортов породных отвалов и расчетным параметрам с учетом значений показателей породы от проведения подготовительных горных выработок [19, 21–24]. Значения показателей содержания органического углерода (C_o^d) в углесодержащих породах определены расчетно-аналитическим методом в соответствии с работой [25]:

$$C_o^d = a - b \cdot A^d,$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от угольных бассейнов, степени метаморфизма органического вещества породы отвалов;

A^d – зольность породных отвалов.

Фактические данные породных отвалов и результаты выполненных расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Характеристика горящих породных отвалов

Породные отвалы угольных шахт ДНР	Технологические параметры				Тепловое состояние	Эксплуатационное состояние
	A^d, %	C_o^d, %	S, %	W, %		
им. Челюскинцев – отвал № 2	71,2	17,3	1,9	10	зафиксировано горение в 2009 г.	недействующий
Южно-Донбасская № 3 – отвал	80,4	11,5	1,49	6	очаги возгорания	действующий
им. Скочинского – отвал № 2	83,0	8,9	0,3	–	затухающий	действующий
им. 60-летия Советской Украины – отвал № 3	76,6	17,8	3,9	6,7	горящий	действующий
Холодная Балка – отвал шахты «2-2 бис»	79,5	14,9	3,9	6	горящий до 1997 г., с 1997 г. – негорящий, частично озеленен, перегоревший	недействующий
Прогресс – отвал № 5	85,6	9,1	0,6	8,2	горящий с 1982 г., в настоящее время – затухающий	недействующий
Шахтерская-Глубокая – отвал шахты «2-2 бис»	84,5	9,1	0,1	7,4	горящий 2004–2015 гг., с 2016 г. – негорящий	недействующий

Таблица 3 – Характеристика негорящих породных отвалов

Породные отвалы угольных шахт ДНР	Технологические параметры				Тепловое состояние	Эксплуатационное состояние
	A^d, %	C_o^d, %	S, %	W, %		
им. Челюскинцев – отвал № 5	92,0	1,48	0,35	6,0	негорящий	действующий
Южно-Донбасская № 1	84,0	7,6	1,52	7,3	негорящий	действующий
Иловайская – отвал № 2/3	80,4	8,5	4,1	6,0	негорящий	действующий
им. 60-летия Советской Украины – отвал № 1	85,5	9,1	1,47	6,7	негорящий	недействующий
Комсомолец Донбасса – отвал	85,0	8,9	3,0	8,0	негорящий	действующий
Шахтерская-Глубокая – отвал № 12	87,9	6,8	1,0	7,4	негорящий	действующий

Результаты анализов технологических параметров породной массы отвалов, представленные в таблицах 1 и 2, показывают:

– прямую связь процесса горения породных отвалов с количественными показателями содержания углерода в отвальной массе. Рассмотренные отвалы с показателями содержания органического углерода выше 10,0 % подвержены горению;

– влияние содержания серы в отвальной массе на процесс горения породных отвалов неоднозначное. Отмечаются случаи горения породных отвалов как при содержании серы ниже критического значения S = 2,0 % (горение породного отвала шахты «Комсомолец Донбасса» в 1994–2007 гг. при содержании серы в отвальной массе S = 0,8 %), и отсутствие горения породных отвалов при высоких значениях S = 4,1 % [19].

Таким образом, фактическое тепловое состояние породных отвалов, по результатам выполненного анализа, подтверждает основную роль в самовозгорании и горении породных отвалов: наличие угля в отвальной массе, а, следовательно, и достоверность теории комплекса «уголь-кислород». При этом, подтверждается мнение ряда исследователей о второстепенной роли «пиритной теории» в самовозгорании породных отвалов – первоначальное подогревание угля.

Выводы

Результаты проведенных аналитических исследований в области самовозгорания породных отвалов показывают, что на данный момент в научных кругах нет единого мнения, позволяющего сделать однозначный вывод об основной причине самовозгорания породных отвалов. Однако большинство авторов отводят главную роль теории комплекса «уголь-кислород», определяющими условиями которой являются наличие углесодержащих компонентов и доступ кислорода к породной массе.

Выполненный практический анализ технологических и технических параметров породных отвалов по ряду угольных шахт показал прямую связь процесса горения породных отвалов с наличием углесодержащих компонентов и количественными показателями содержания углерода в отвальной массе. Отвалы с показателями содержания органического углерода выше 10 % подвержены горению. Влияние содержания серы в отвальной массе на процесс горения породных отвалов неоднозначное. Установлены случаи горения породных отвалов как при содержании серы ниже критического значения (2 %), так и отсутствие горения породных отвалов при высоких ее значениях (4,1 %).

На основе выполненных исследований с учетом факторов, влияющих на процесс самовозгорания породных отвалов, установлено что наиболее эффективным способом предотвращения их самовозгорания является минимизация содержания углесодержащих компонентов в породной массе от проведения подготовительных выработок угольных шахт, выдаваемой на поверхность, до ее складирования в отвал.

В рамках дальнейшего развития исследований по решению проблемы самовозгорания породных отвалов, рассмотренной в данной статье, планируется разработка технологии по снижению углесодержащих компонентов в породе от проведения подготовительных выработок.

Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета.

Список литературы

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года : утверждена Распоряжением Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р : редакция от 21.10.2024. – URL: http://government.ru/docs/39871/. – Дата публикации: 14.06.2020. – Текст : электронный.
2. Терриконы : монография / Л. Г. Зубова, А. Р. Зубов, А. А. Зубов [и др.]. – Луганск : Ноулидж, 2015. – 712 с. – ISBN 978-617-579-953-6. – Текст : электронный // Геологическая библиотека : [сайт]. – URL: https://www.geokniga.org/books/16806?ysclid=mjsomcjp10229874813 (дата обращения: 23.10.2025).
3. Повышение экологической безопасности породных отвалов угольных шахт : монография / А. Р. Зубов, Л. Г. Зубова, С. Г. Воробьев [и др.]. – Луганск : Изд-во ВНУ имени В. Даля, 2012. – 176 с. – ISBN 978-966-590-948-4. – Текст : электронный // Геологическая библиотека : [сайт]. – URL: https://www.geokniga.org/books/16676?ysclid=mjsouzmszi338754433 (дата обращения: 24.10.2025).

4. Зинченко, И. Н. Численный метод решения задачи об очаговом самонагревании шахтной породы / И. Н. Зинченко, О. П. Пашковский, К. В. Глушенко. – Текст : электронный // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : материалы XII Международной научно-практической конференции / под ред. С. Г. Костюк, Кемерово, 22–23 ноября 2017 г. – Кемерово : КузГТУ имени Т. Ф. Горбачева, 2017. – С. 137-1. – URL: https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/BGD/2017/bgd2017/pages/Articles/137.pdf (дата обращения 27.10.2025).
5. Терриконы углепромышленных районов Донбасса как источник воздействия на окружающую среду / В. Е. Закруткин, Л. Г. Зубова, Е. В. Гибков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки». – 2017. – № 3. – Ч. 1. – С. 69–75.
6. Высоцкий, С. П. Экологический мониторинг породных отвалов горнопромышленных агломераций / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь. – Текст : электронный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 11. – С. 37–46. – DOI: 10.18799/24131830/2021/11/2964. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47371083 (дата обращения: 28.10.2025).
7. Породные отвалы угольных шахт России / С. З. К. Калаева, С. М. Богданов, Н. О. Лукин, А. А. Огер. – Текст : электронный // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 1. – С. 3–23. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25829356 (дата обращения: 28.10.2025).
8. Study on the evolution characteristics of coal spontaneous combustion and gas coupling disaster region in goaf / Yu. Zheng, Sh. Li, Sh. Xue [et al.]. – Текст : электронный // Fuel. – 2023. – V. 349, 128505. – URL: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128505 (дата обращения 29.10.2025).
9. Study on controlling factors and developing a quantitative assessment model for spontaneous combustion hazard of coal gangue / B. Han, Yu. Zhang, Zh. Zou [et al.]. – Текст : электронный // Case Studies in Thermal Engineering. – 2024. – V. 54, 104039. – URL: https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104039 (дата обращения 30.10.2025).
10. Гендлер, С. Г. Актуальные проблемы возгорания угольных скоплений в породных отвалах / С. Г. Гендлер, А. С. Братских. – Текст : электронный // Горная Промышленность. – 2024. – № 5 S. – С. 71–77. – URL: https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77 (дата обращения: 31.10.2025).
11. Энергетическая модель самовозгорания углепородных отвалов / С. Б. Алиев, В. Н. Захаров, Б. М. Кенжин, Ю. М. Смирнов. – Текст : электронный // Уголь. – 2018. – № 12. – С. 86–91. – URL: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-86-91 (дата обращения: 03.11.2025).
12. Оценка длительности инкубационного периода самовозгорания углесодержащих пород отвалов / В. А. Портола, С. И. Протасов, А. А. Бобровникова, Е. А. Серегин. – Текст : электронный // Вестник : научно-технический журнал. – 2020. – № 4. – С. 36–41. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dlitelnosti-inkubatsionnogo-perioda-samovozgoraniya-uglesoderzhaschih-porod-otvalov/viewer (дата обращения: 04.11.2025).
13. Тронов, Б. В. О механизме окисления каменного угля кислородом воздуха : Статья 6-я / Б. В. Тронов. – Текст : электронный // Известия Томского индустриального института имени С. М. Кирова. – Т. 60, Вып. III. – С. 11–28. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-mehanizme-okisleniya-kamennogo-uglya-kislorodom-vozduha/viewer (дата обращения: 05.11.2025).
14. Скочинский, А. А. Рудничные пожары / А. А. Скочинский, В. М. Огиевский. – Москва : Углетехиздат, 1954. – 388 с.
15. Веселовский, В. С. Самовозгорание промышленных материалов / В. С. Веселовский, Н. Д. Алексеева, Л. П. Виноградова [и др.] ; Государственный комитет по топливной промышленности при Госплане СССР, Ин-т горного дела имени А. А. Скочинского. – Москва : Наука, 1964. – 246 с.
16. Зборщик, М. П. Предотвращение самовозгорания горных пород / М. П. Зборщик, В. В. Осокин. – Киев : Техника, 1990. – 176 с. – ISBN 5-335-00177-1.
17. Саранчук, В. И. Окисление и самовозгорание угля / В. И. Саранчук. – Киев : Наукова думка, 1982. – 166 с.
18. Панов, Б. С. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса / Б. С. Панов, Ю. А. Проскурня. – Текст : электронный // Геология угольных месторождений : межвузовский научный тематический сборник. – Екатеринбург, 2002. – С. 274–281. – URL: https://masters.donntu.ru/2008/ggeo/solovyova/library/2.html (дата обращения: 06.11.2025).
19. Разработка предложений по снижению углеродсодержащих компонентов в породе от проведения подготовительных выработок угольных шахт до ее складирования : отчет о НИР (заключение) / ГБУ «Донгипрошахт» ; рук. Е. В. Лазуткин ; исполн. : Е. Н. Свечкаренко [и др.]. – Донецк, 2025. – 112 с. – Инв. № Н.16-02.
20. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности» : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.11.2020 № Пр-469 : [зарегистрирован 15.12.2020 № 61466]. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012150051 (дата обращения 07.11.2025). – Текст : электронный.
21. Технический отчет о температурной съемке породного отвала шахты «Южнодонбасская № 1» : отчет о НИР / рук. А. В. Карягин. – Угледар : Агентство экологического менеджмента и аудита, 2006. – 14 с. – Инв. № 977 мш/111.

22. Проведение температурной съемки на недействующем породном отвале № 5 : отчет о НИР / рук. Л. П. Островой ; исполн. Е. С. Шилова // Санитарно-профилактическая лаборатория ОП «Управление вспомогательного производства» ГП «Шахтерскантрацит» шахта «Прогресс» – Торез, 2016. – 3 с. – Инв. № 983 мш/149.
23. Проведение тепловых исследований недействующего породного отвала № 5 шахты «Прогресс» ГП «Торезантрацит» : отчет о НИР / рук. П. С. Пашковский ; исполн. : Д. И. Момот [и др.]. – Донецк : НИИГД и ПБ «Респиратор», 2011. – 17 с. – Инв. № 983 мш/148.
24. Проведение температурной съемки породного отвала шахты имени А. Ф. Засядько с определением количества выбрасываемых в атмосферу вредных веществ : отчет о НИР / рук. А. Е. Калюсский. – Донецк : НПО «Респиратор», 1997. – 10 с. – Инв. № 1463 мш/149.
25. Технолого-экологический инжиниринг при обогащении полезных ископаемых / А. Д. Полулях, П. И. Пилов, А. И. Егурнов, Д. А. Полулях. – Днепропетровск : НГУ, 2012. – 712 с.

References

1. The program for the development of the coal industry of Russia for the period up to 2035: approved by the Order of the Government of the Russian Federation of June 13, 2020 No. 1582-r : revised on October 21, 2024. (In Russ.) URL: http://government.ru/docs/39871/. 14.06.2020.
2. Slag Heaps: monograph. L. G. Zubova, A. R. Zubov, A. A. Zubov [et al.]. Lugansk : Knowlidge, 2015. 712 p. ISBN 978-617-579-953-6. Geological library : [website]. (In Russ.) URL: https://www.geokniga.org/books/16806?ysclid =mjsomcjp10229874813
3. Improving the Environmental Safety of Coal Mine Waste Dumps: monograph. A. R. Zubov, L. G. Zubova, S. G. Vorobyov [et al.]. Lugansk : Publishing house of V. Dahl National University, 2012. 176 p. ISBN 978-966-590-948-4. Geological library : [website]. (In Russ.) URL: https://www.geokniga.org/books/16676?ysclid= mjsouzmszi338754433
4. Zinchenko I. N. Numerical Method for Solving the Problem of Mine Rock Focal Self-heating. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti predpriyatii v promyshlenno razvitykh regionakh : materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii pod red. S. G. Kostyuk. [Life Safety of Enterprises in Industrially Developed Regions: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference edited by S. G. Kostyuk]. Kemerovo, 22–23 November 2017. Kemerovo : KuzSTU named after T. F. Gorbachev, 2017. Pp. 137-1. (In Russ.) URL: https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/BGD/2017/bgd2017/pages/Articles/137.pdf
5. Slag heaps of the Coal-mining Regions of Donbass as a Source of Environmental Impact. V. E. Zakrutkin, L. G. Zubova, E. V. Gibkov [et al.] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya «Estestvennye nauki». [News of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural Sciences Series]. 2017. № 3. Part. 1. Pp. 69–75. (In Russ.)
6. Vysotskii S. P. Environmental Monitoring of Waste Dumps of Mining Agglomerations. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]. 2021. Vol. 332, № 11. Pp. 37–46. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2021/11/2964. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47371083
7. Waste Dumps of Coal Mines in Russia. S. Z. K. Kalaeva, S. M. Bogdanov, N. O. Lukin, A. A. Oger. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. [Bulletin of Tula State University. Earth Sciences]. 2016. № 1. Pp. 3–23. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25829356
8. Study on the evolution characteristics of coal spontaneous combustion and gas coupling disaster region in goaf / Yu. Zheng, Sh. Li, Sh. Xue [et al.]. Fuel. 2023. V. 349, 128505. (In English) URL: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128505
9. Study on controlling factors and developing a quantitative assessment model for spontaneous combustion hazard of coal gangue. B. Han, Yu. Zhang, Zh. Zou [et al.]. Case Studies in Thermal Engineering. 2024. V. 54, 104039. (In English) URL: https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104039
10. Gendler S. G. Current Problems of Ignition of Coal Accumulations in Waste Dumps. Gornaya Promyshlennost'. [Mining Industry]. 2024. № 5 S. Pp. 71–77. (In Russ.) URL: https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77
11. Energy Model of Spontaneous Combustion of Coal and Rock Dumps. S. B. Aliev, V. N. Zakharov, B. M. Kenzhin, Yu. M. Smirnov. Ugol'. [Coal]. 2018. № 12. Pp. 86–91. (In Russ.) URL: http://dx.doi.org/10.18796/ 0041-5790-2018-12-86-91
12. Estimation of the Incubation Period Duration of Spontaneous Combustion of Coal-containing Rocks from Waste Dumps. V. A. Portola, S. I. Protasov, A. A. Bobrovnikova, E. A. Seregin. Vestnik : nauchno-tekhnicheskii zhurnal. [Bulletin: scientific and technical journal]. 2020. № 4. Pp. 36–41. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dlitelnosti-inkubatsionnogo-perioda-samovozgoraniya-uglesoderzhaschih-porod-otvalov/viewer
13. Tronov B. V. Mechanism of the Coal Oxidation by Atmospheric Oxygen: Article 6. Izvestiya Tomskogo industrial'nogo instituta imeni S. M. Kirova. [News of the Tomsk Industrial Institute named after S. M. Kirov]. Vol. 60, Issue III. Pp. 11–28. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-mehanizme-okisleniya-kamennogo-uglya-kislorodom-vozduha/viewer
14. Skochinskii A. A. Mine Fires. Moscow: Ugletekhizdat, 1954, 388 p.

15. Veselovskii V. S. Spontaneous Combustion of Industrial Materials. V. S. Veselovskii, N. D. Alekseeva, L. P. Vinogradova [et al.] ; Gosudarstvennyi komitet po toplivnoi promyshlennosti pri Gosplane SSSR, In-t gornogo dela imeni A. A. Skochinskogo [State Committee for the Fuel Industry under the USSR State Planning Committee, A. A. Skochinsky Mining Institute]. Moskva : Nauka, 1964. 246 p. (In Russ.)
16. Zborshchik M. P. Prevention of Spontaneous Combustion of Rocks. M. P. Zborshchik, V. V. Osokin. Kiev : Technika, 1990. 176 p. ISBN 5-335-00177-1. (In Russ.)
17. Saranchuk V. I. Oxidation and Spontaneous Combustion of Coal. Kiev: Naukova Dumka, 1982.166 p. (In Russ.)
18. Panov B. S. Model of Spontaneous Combustion of Waste Dumps in Donbass Coal Mines. B. S. Panov, Yu. A. Proskurnya. Geologiya ugol'nykh mestorozhdenii : mezhvuzovskii nauchnyi tematicheskii sbornik [Geology of Coal Deposits : Interuniversity Scientific Thematic Collection]. Ekaterinburg, 2002. Pp. 274–281. (In Russ.) URL: https://masters.donntu.ru/2008/ggeo/solovyova/library/2.html
19. Development of proposals for reducing carbon-containing components in rock from the development of coal mines to its storage: research report (conclusion). State Budgetary Institution “Dongiproshakht”; head. E. V. Lazutkin; performer: E. N. Svechkarenko [et al.]. Donetsk, 2025. 112 p. Inv. No. H.16-02. (In Russ.)
20. On approval of the Federal norms and rules in the field of industrial safety “Instructions for the prevention of exogenous and endogenous fire hazards at mining facilities in the coal industry” : Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated November 27, 2020 No. Pr-469: [registered December 15, 2020 No. 61466]. (In Russ.) URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/ View/0001202012150051
21. Technical report on temperature survey of rock dump of Yuzhnodonbasskaya No. 1 mine: research report. Head A. V. Karyagin. Ugledar : Environmental Management and Audit Agency, 2006. 14 p. Inv. No. 977 msh/111. (In Russ.)
22. Temperature survey at inactive waste dump No. 5: research report. Supervised by L. P. Ostrovoy; executed by E. S. Shilova. Sanitary and preventive laboratory of the auxiliary production department of the Shakhterskantratsit state enterprise, mine “Progress”. Torez, 2016. 3 p. Inv. No. 983 msh/149. (In Russ.)
23. Conducting thermal studies of the inactive waste dump No. 5 of the mine “Progress” of the Torezantratsit state enterprise: research report. Head: P. S. Pashkovsky; Performed by: D. I. Momot [et al.] Donetsk : Research Institute of Mining and Rock Safety “Respirator”, 2011. 17 p. Inv. No. 983 msh/148. (In Russ.)
24. Carrying out a temperature survey of the rock dump of the A. F. Zasyadko mine with the determination of the amount of harmful substances emitted into the atmosphere: research report. Head of research. A. E. Kalyussky. Donetsk : NPO Respirator, 1997. 10 p. Inv. No. 1463 msh/149. (In Russ.)
25. Technological and Ecological Engineering in Mineral Processing. A. D. Polulyakh, P. I. Pilov, A. I. Egurnov, D. A. Polulyakh. Dnepropetrovsk : NSU, 2012.712 p. (In Russ.)

Статья поступила 11.11.2025
© И. И. Гомаль, Е. Н. Свечкаренко, Н. В. Полякова, 2025
Рецензент: В. В. Лихачева, канд. техн. наук, доц.,
Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка

И. И. Гомаль, Е. Н. Свечкаренко, Н. В. Полякова

Горно-геологические и технологические факторы, способствующие самовозгоранию породных отвалов

Породные отвалы, особенно горящие, оказывают отрицательное влияние практически на все компоненты природной среды.

Рассмотрены существующие теории самовозгорания породных отвалов. Результаты проведенных аналитических исследований в области самовозгорания породных отвалов показывают, что на данный момент в научных кругах нет единого мнения, позволяющего сделать однозначный вывод об основной причине их самовозгорания.

Установлено, что наиболее полно и обосновано описывает причины самовозгорания породных отвалов теория комплекса «уголь-кислород», определяющими условиями которой являются наличие углесодержащих компонентов и доступ кислорода к породной массе.

Выполнен практический анализ технологических и технических параметров факторов самовозгорания ряда горящих и негорящих породных отвалов угледобывающих районов ДНР. Анализ показал прямую связь процесса горения породных отвалов с наличием углесодержащих компонентов и количественными показателями содержания углерода в отвальной массе. Отвалы с показателями содержания органического углерода выше 10 % подвержены горению.

Влияние содержания серы в отвальной массе на процесс горения породных отвалов неоднозначное. Установлены случаи горения породных отвалов как при содержании серы ниже критического значения (2 %), так и отсутствие горения при высоких ее значениях (4,1 %).

На основе выполненных исследований, с учетом факторов, влияющих на процесс самовозгорания породных отвалов, установлено, что наиболее эффективным способом предотвращения их самовозгорания является минимизация содержания углесодержащих компонентов в породной массе от проведения подготовительных выработок угольных шахт, выдаваемой на поверхность, до ее складирования в отвал.

ПОРОДНЫЙ ОТВАЛ, СКЛОННОСТЬ К САМОВОЗГОРАНИЮ, ТЕОРИЯ САМОВОЗГОРАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР, ФАКТОР САМОВОЗГОРАНИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

I. I. Gomal, E. N. Svechkarenko, N. V. Poliakova

Mining, Geological and Technological Factors Contributing to Spontaneous Combustion of Waste Dumps

Rock waste, especially burning ones, have a negative impact on almost all components of the natural environment.

The existing theories of spontaneous combustion of waste dumps are considered. The results of analytical studies conducted in the field of spontaneous combustion of waste rock dumps show that at the moment there is no consensus in scientific circles that would allow a definitive conclusion to be made about the main cause of their spontaneous combustion.

It is established that the theory of the "coal-oxygen" complex, the determining conditions of which are the carbon-containing components and access of oxygen to the rock mass, most fully and reasonably describes the causes of spontaneous combustion of rock dumps.

The practical analysis of the technological and technical parameters of spontaneous combustion factors of a number of burning and non-burning waste dumps in coal mining areas of the DPR is carried out. The analysis showed a direct connection between the combustion process of waste rock with the carbon-containing components and quantitative indicators of carbon content in the waste mass. Waste heaps with organic carbon content above 10 % are susceptible to combustion.

The impact of sulfur content in waste material on waste rock combustion is controversial. Waste rock combustion is documented both at sulfur content below the critical value (2 %) and at high sulfur content (4,1 %).

Based on the conducted research, taking into account the factors influencing the spontaneous combustion of waste dumps, it is established that the most effective way to prevent their spontaneous combustion is to minimize the content of carbon-containing components in the waste from the development of coal mine workings brought to the surface until its disposal in the waste dump.

ROCK DUMP, LIKELIHOOD TO SPONTANEOUS COMBUSTION, SPONTANEOUS COMBUSTION THEORY, TECHNOLOGICAL PARAMETER, SPONTANEOUS COMBUSTION FACTOR, ECOLOGICAL ASSESSMENT

Сведения об авторах:

Гомаль Иван Иванович
Доцент, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация,
SPIN-код РИНЦ: 1496-5099
ORCID ID: 0000-0002-6730-4899
Телефон: +7 949 320-59-14
Эл. почта: ivan.gomal.77@mail.ru

Свечкаренко Елена Николаевна
Начальник отдела технологии поверхности и генплана Государственного бюджетного учреждения «Донгипрошахт», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация,
Телефон: +7 949 320-58-28
Эл. почта: elena.svechkarenko@rambler.ru

Полякова Наталья Владимировна
Главный инженер отдела технологии поверхности и генплана Государственного бюджетного учреждения «Донгипрошахт», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация,
Телефон: +7 949 396-07-28
Эл. почта: polykova.natalay@mail.ru

Authors' information:

Gomal Ivan Ivanovich
Docent, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Chair "Mineral Deposit Development" of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University", Donetsk, DPR, Russian Federation,
RSCI SPIN: 1496-5099
ORCID ID: 0000-0002-6730-4899
Phone: +7 949 320-59-14
Email: ivan.gomal.77@mail.ru

Svechkarenko Elena Nikolaevna
Head of the Department of Surface Technology and General Plan of the State Budgetary Institution "Dongiproshakht", Donetsk, DPR, Russian Federation,
Phone: +7 949 320-58-28
Email: elena.svechkarenko@rambler.ru

Poliakova Natalia Vladimirovna
Chief Engineer of the Department of Surface Technology and General Plan of the State Budgetary Institution "Dongiproshakht", Donetsk, DPR, Russian Federation,
Phone: +7 949 396-07-28
Email: polykova.natalay@mail.ru