

Научная статья

УДК 622.271

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-120-130

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ УГЛУБОЧНО-СПЛОШНЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С ЭКСКАВАТОРНО-ОТВАЛЬНЫМ ВСКРЫШНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Селюков Алексей Владимирович,
Терентьев Данил Дмитриевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: sav.ormpi@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

18 сентября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 апреля 2025 г.

Принята к публикации:

30 апреля 2025 г.

Опубликована:

11 июня 2025 г.

Ключевые слова:

горно-геометрический анализ, углубочно-сплошная система разработки, экскаваторно-отвальная вскрышная технологическая комплекс, режим горных работ.

Аннотация.

В общей технологической политике производства открытой угледобычи существуют устойчивые тенденции к рациональному сочетанию добычи твердых полезных ископаемых и бережливому отношению к окружающей среде. Тем не менее, к существенным недостаткам применяемых систем и технологий относят отсыпку внешних отвалов, влекущих отчуждение земель и большую дальность транспортирования вскрышных пород карьерным автотранспортом. В целом это приводит к росту затрат на добычу. Значительная доля угольных месторождений, обрабатываемых открытым способом, в Кузбассе представлена наклонными и крутопадающими свитами пластов. Выполненные проекты для некоторых разрезов предусматривают применение ресурсосберегающих технологических решений с внутренним отвалообразованием, основывающихся на применении транспортных способов разработки забойной стороны карьерного поля, при которых вся вскрыша из забоев перевозится во внутренний отвал автосамосвалами, что снижает эффективность горных работ. В данной публикации рассматривается возможность применения для вышеуказанных условий менее затратной бестранспортной технологии. Использование данного способа как в производственной, так и в проектной практике сдерживается отсутствием всесторонней методической базы. К примеру, не даны рекомендации по оценке глубины сооружения первоначальной выработки под внутренний отвал, не определен режим горных работ и т. п. В статье решаются промежуточные задачи установления предварительных технических границ бестранспортной технологии перемещения вскрышных пород из забоя во внутренний отвал при углубочно-сплошной системе открытой разработки наклонных и крутопадающих угольных залежей, определенных посредством выполнения горно-геометрического анализа.

Для цитирования: Селюков А.В., Терентьев Д.Д. Обоснование режима горных работ углубочно-сплошных систем разработки с экскаваторно-отвальным вскрышным технологическим комплексом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 2 (168). С. 120-130. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-120-130, EDN: DXTIGZ

Природные условия формирования угольных месторождений в различных регионах земного шара одинаковы, все они относятся к пластовым осадочным месторождениям и отличаются только степенью метаморфизма и тектонических нарушений. В этом отношении уникальными

являются месторождения Кузнецкого бассейна каменных углей, не имеющие аналогов в природе. Здесь представлены все возможные варианты залегания угольных пластов как по их мощности, углу падения, их количеству, так и по степени нарушенности пликативными и

дизъюнктивными нарушениями. Угольные месторождения Кузбасса характеризуются залеганием пластов в виде свиты с числом от 6 до 65, в зависимости от принадлежности к продуктивным отложениям Балахонской или Кольчугинской серий. Большинство месторождений расположено в зонах значительных тектонических нарушений, что и определило большой разброс углов падения пластов залежей [1].

В настоящее время отработка этих запасов в бассейне производится с применением углубочных продольных одно- или двухбортовых систем открытой разработки (здесь и далее классификация акад. В. В. Ржевского [2]), редким исключением является блоковый способ отработки карьерного поля [3, 4]. Глубина производства работ на отдельных действующих участках или разрезах находится в пределах от 60 – 80 м до 280 – 350 м. Поэтому в данном исследовании основное внимание обращено на участки месторождений с углами падения пластов от наклонного до крутого, на которых возможно применение углубочно-сплошных систем разработки [5-10], в том числе с использованием бестранспортной технологии [11]. Ресурсосбережение горного производства в вышеприведенных условиях рассматривается и в зарубежных публикациях [12-15], что подчеркивает актуальность изучаемого вопроса.

Для выбора типа месторождения, пригодного к разработке, обоснованию области и границ применения, а также принятия решения о возможности использования бестранспортной технологии и комплексной механизации в

условиях наклонного и крутого падения необходим учет ряда факторов: формы залежи в плане и ее параметры по простиранию и в крест простирания; рельеф поверхности и наличие рыхлых отложений (наносов); строение угленосных свит; выдержанность залегания пластов, нарушенность месторождения; прочностные свойства пород и углей; качество углей пластов, которые по совокупности учитываются при выполнении горно-геометрического анализа угольных месторождений [15].

Для качественной и количественной оценки условий залегания свит пластов по перечисленным факторам на основе анализа обширного материала выбраны характерные планы выходов пластов под наносы, а также геологические разрезы и профили по перспективным и разрабатываемым месторождениям Кузнецкого бассейна.

В настоящее время известно несколько видов углубочно-сплошных систем разработки: с созданием карьера первой очереди и поэтапно-углубочная [11]. Для вышеобозначенных систем открытой разработки по конструкции рабочей зоны эффективно и возможно применение бестранспортной технологии, что и исследовано в работе [11]. Сущность системы открытой разработки с созданием карьера первой очереди заключается в следующем. В одном из торцов залежи сооружают карьер ограниченных размеров на проектную глубину – карьер первой очереди (Рис. 1а). Его назначение – создание первоначальной емкости для размещения вскрышных пород при отработке оставшейся

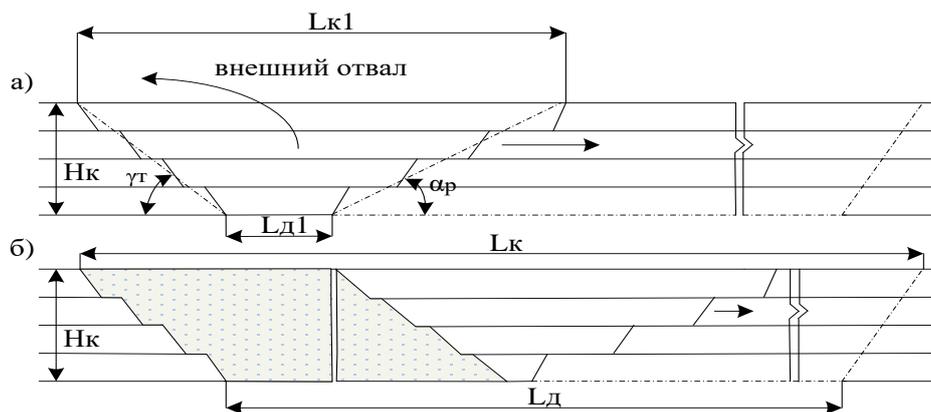


Рис. 1. Сплошная система разработки угольных месторождений с созданием карьера первой очереди по П. И. Томакову (продольное сечение карьерного поля): а, б – этапы производства горных работ, где H_k – глубина карьерного поля; $L_{к1}$ – длина карьера первой очереди поверху; $L_{д1}$ – длина карьера первой очереди по низу; γ_t – угол наклона борта в торце карьерного поля; α_p – угол наклона рабочего борта; L_k – длина карьерного поля по верху; L_d – длина карьерного поля по дну

Fig. 1. A continuous system of development of coal deposits with the creation of a quarry of the first stage according to P. I. Tomakov (longitudinal section of the quarry field): a, b – stages of mining operations, where H_k – is the depth of the quarry field; $L_{к1}$ – the length of the quarry of the first stage at the top; $L_{д1}$ – the length of the quarry of the first stage at the bottom; γ_t – the angle of inclination of the side at the end of the quarry field; α_p – the angle of inclination of the working board; L_k – the length of the quarry field at the top; L_d – the length of the quarry field at the bottom

части залежи. Карьер первой очереди сооружают с формированием нерабочих бортов в торцевой и боковых частях карьерного поля, а с противоположной торцевому борту формируют рабочий борт. Оработку оставшейся части залежи по простиранию производят с размещением пород вскрыши в выработанном пространстве (Рис. 1б). Перемещение пород осуществляется транспортными средствами по бермам, а уголь вывозят на поверхность в места складирования. Главными параметрами карьерного поля при этой системе разработки являются: глубина карьера, ширина дна карьера в крест простирания, ширина по поверхности, протяженность карьерного поля по дну и по поверхности, углы откосов бортов с висячей стороны пластов, лежащей, в торцах.

Главные параметры первоначальной выработки: минимальная длина карьера первой очереди по дну, то же по поверхности, угол откоса рабочего борта (Рис. 1а, б, Рис. 2а, б). К объемным параметрам относятся: объем карьерного поля, объем карьера первой очереди.

Сущность поэтапно-углубочной системы разработки состоит в том, что в одном из торцов залежи сооружают котлован вкрест простирания залежи на глубину, равную высоте уступа (Рис. 2а). Порода из котлована вывозят на внешний отвал. Ширину котлована устанавливают исходя из возможности размещения вскрышных пород от обработки данного горизонта в выработанное пространство. После сооружения котлована породу от разработки первого горизонта размещают в выработанном пространстве. Последующую углубку производят после отгонки первого уступа, определяемую исходя из возможности размещения пород на поверхности внутреннего отвала пород вскрыши от углубки горных работ на нижележащий горизонт (Рис. 2б). Аналогичным способом поэтапная углубка ведется до проектной глубины карьера, после чего рабочая зона становится постоянной и вся порода вскрыши перемещается во внутренний отвал. Главные параметры карьерного поля в этом случае те же, что и для сплошной системы

разработки, за исключением этапов понижения горных работ: число этапов понижения, длина горной выработки этапа по протяженности залежи, общая длина выработок по этапам, высота выработки этапа, ширина выработки первого этапа по поверхности, объем горной массы каждого этапа, общий объем этапов.

Основной целью применения углубочно-сплошных систем разработки является обработка максимально возможного объема карьерного поля по технологии с внутренним отвалообразованием. Из этого следует, что он должен быть существенно больше объема предварительной горной выработки (карьера первой очереди или этапов углубки), иначе теряется смысл применения таких систем разработки. Месторождения Кузнецкого бассейна, удовлетворяют этому условию – залежи удлиненной и вытянутой форм длиной от 2-3 км до 9 км и более.

Для изучения вопроса применения бестранспортной технологии при углубочно-сплошных системах разработки следует знать положение бестранспортной зоны по высоте карьерного поля (относительно дна карьера или этапов углубления горных работ). Это необходимо для решения задач:

- выбора способа и схемы разработки всей породугольной толщи (только по бестранспортной технологии или по комбинированной транспортно-бестранспортной), которые зависят от соотношения высоты бестранспортной зоны и карьерного поля (глубины разработки залежи);
- определения доли объема карьерного поля, обрабатываемого по бестранспортной технологии при установлении эффективности разработки залежи.

Определение глубины отработки залежи может быть осуществлено на базе ее горно-геометрического анализа. Из теоретических положений известно [16], что одной из задач горно-геометрического анализа залежи является определение конечной глубины ее отработки. При углубочных продольных системах

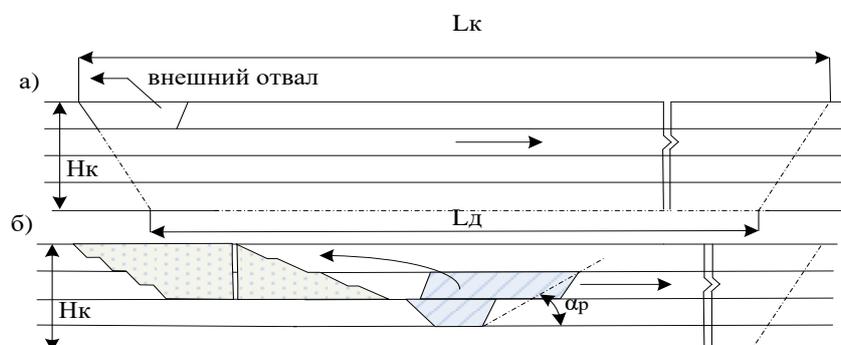


Рис. 2. Поэтапно-углубочная система разработки угольных месторождений (продольное сечение карьерного поля): а, б – этапы производства горных работ

Fig. 2. Step-by-step deepening system for the development of coal deposits (longitudinal section of the quarry field): a, b – stages of mining operations

разработки она устанавливается путем сравнения текущего коэффициента вскрыши (K_T), вычисляемого при погоризонтном углублении горных работ, с экономически допустимым граничным коэффициентом вскрыши ($K_{гр}$). Для этого на каждом горизонте рассчитываются объемы горной массы, угля, пустой породы при углах наклона рабочих бортов. При достижении горизонта, на котором $K_T = K_{гр}$, отстраиваются борта под углами погашения. Как функция конечной глубины отработки залежи определяется ширина карьера по поверхности (с учетом значений устойчивых углов бортов карьера) и ширина по дну. Далее по нескольким геологическим разрезам и с учетом протяженности залежи определяются объемы горной массы карьерного поля, угля и вскрышных пород.

Такой же принципиальный подход может быть применен к определению конечной глубины карьера и при углубочно-сплошной системе разработки. В этом случае отличительной особенностью горно-геометрического анализа является определение текущего коэффициента вскрыши. Он вычисляется при нерабочих бортах карьера, углы наклонов которых равны углам погашения, а его величина не зависит от угла рабочего борта. Средний коэффициент вскрыши устанавливается в границах контура каждого варианта по всем геологическим разрезам карьерного поля.

Текущий коэффициент вскрыши из-за наклона рабочего борта может быть равен, больше или меньше среднего, но при укрупненных расчетах при определении конечной глубины карьера можно использовать равенство [16]:

$$K_{гр} = K_{ср}, \quad (1)$$

Определение граничного коэффициента вскрыши в условиях рыночной экономики является отдельной весьма сложной задачей.

Перманентность исходных данных, зависящих от цен на потребляемые ресурсы и технологии разработки месторождений, не позволяет с достаточной надежностью устанавливать значение граничного коэффициента вскрыши на отдаленную перспективу. Поэтому и определение граничной глубины карьера является также сложной задачей, поскольку карьер строится и эксплуатируется продолжительное время.

Исходя из этого, в настоящей работе при оценке положения бестранспортной зоны в границах карьерного поля принята экономически целесообразная глубина разреза только на текущий период, для условий применения бестранспортной технологии [11]. В зависимости от нормы прибыли в конкретных горно-геологических условиях значения граничного коэффициента могут быть минимальные, в

пределах 5-9 м³/т, и максимальные – 12-16,5 м³/т. Наибольший интерес представляют значения граничного коэффициента вскрыши при наиболее реальной норме прибыли – 7,5-9,5 м³/т [16].

Для выполняемого настоящего анализа ориентировочные значения граничного коэффициента вскрыши можно принять в этих же пределах, что даст полную картину положения бестранспортной зоны в карьерном поле.

Следует отметить, что при проектировании разработки конкретного месторождения значение граничного коэффициента вскрыши, как экономического показателя следует обосновывать при совокупном учете всех влияющих факторов.

Для установления положения бестранспортной зоны в карьерном поле применен горно-геометрический анализ залежей, основной целью которого является установление зависимости среднего коэффициента вскрыши по глубине разработки месторождения.

При укрупненном анализе используются геологические разрезы по разведочным линиям. По этим геологическим разрезам при проведении анализа задачи по определению объемов горной массы решаются как плоские и измеряются в м², для расчета площадей геометрических фигур используется графоаналитический метод, при котором линейные размеры фигур снимаются с геологических разрезов, а расчет их площадей производится на персональном компьютере с использованием электронных таблиц.

Приняты следующие методические положения и порядок расчетов:

1. Учитывая различные виды поверхности месторождений и необходимость упрощения расчетов, поверхность представляется в виде отрезков прямых;

2. Для учета наклона поверхности вводится понятие «горизонт привязки». Он проводится через точку пересечения почвы стратиграфически нижнего пласта рассматриваемого варианта разработки свиты с линией выхода этого пласта под наносы. От горизонта привязки отсчитывается глубина разработки залежи для всех вариантов углубления горных работ, что упрощает расчеты и дает возможность сопоставления вариантов разработки свиты;

3. Выделяется начальный контур разработки залежи (профиль карьера первого этапа). Дно карьера первого этапа располагается на линии горизонта привязки, а его ширина может быть равна как горизонтальной мощности свиты, так и отдельной ее части (при рассмотрении вариантов разработки свиты отдельной группой пластов). Углы откосов бортов карьера первого этапа принимаются

равными углам устойчивости соответственно со стороны висячего и лежащего боков пластов свиты;

4. Для начального контура рассчитывается его полная площадь в м^2 , представляющая горную массу на данном геологическом разрезе, и площадь угля в м^2 , площадь вскрыши определяется как разность между площадью горной массы и угля.

5. Средний коэффициент вскрыши каждого контура определяется на один метр фронта работ по протяженности залежи.

6. При увеличении глубины разработки залежи от i -го до $(i+1)$ горизонтов к площади горной массы и угля предшествующего контура (этапа) с нарастающим итогом добавляются аналогичные площади приращаемого контура карьерного поля.

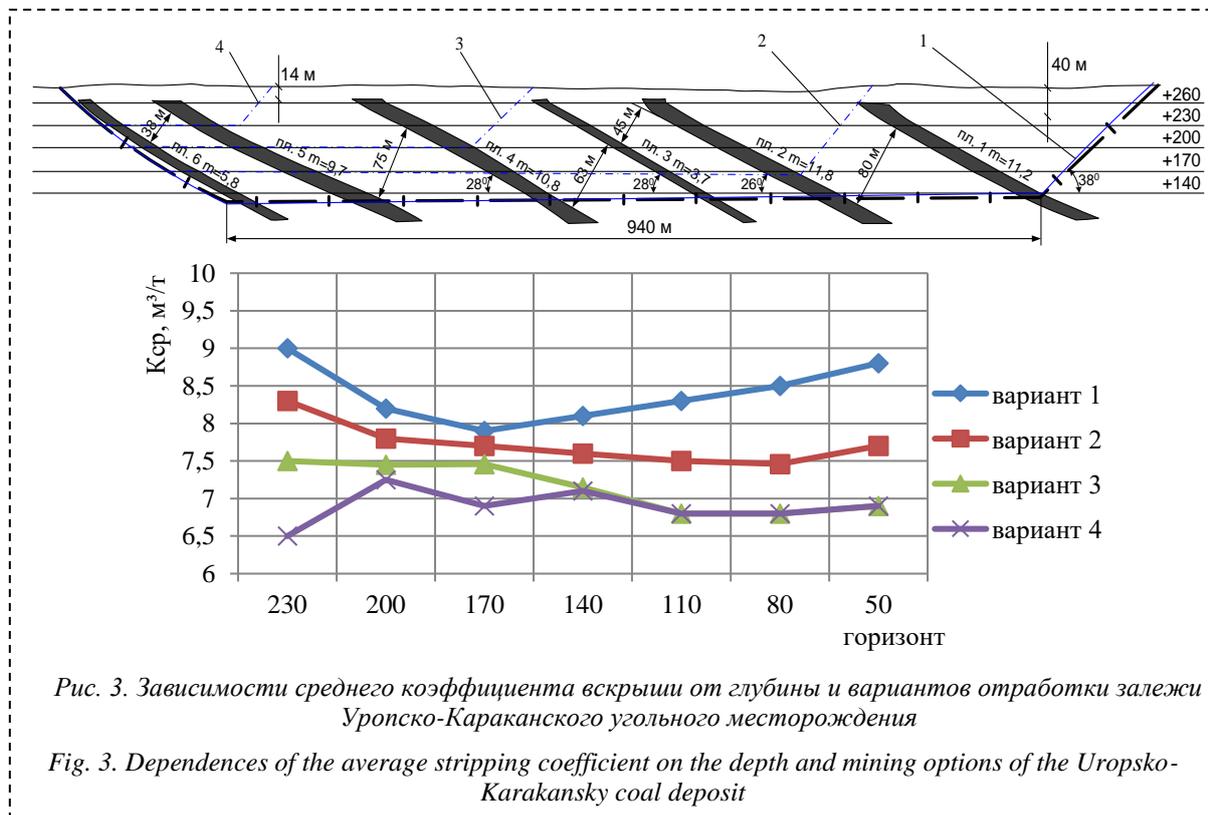
7. Для каждого i -го горизонта по всем геологическим разрезам согласно методике, изложенной в работе [16], определяются с учетом протяженности залежи, объемы горной массы карьерного поля (м^3), геологический объем угля (м^3) и вскрышных пород, средний эксплуатационный коэффициент вскрыши этапа определяется с учетом нормативных потерь угля.

Для анализа были выбраны четыре месторождения для изучения поставленных в исследовании вопросов, в дальнейшем они обозначены как месторождение 1, месторождение 2, месторождение 3, месторождение 4.

Месторождение 1. Необходимо изучить зависимости $K_{\text{ср}} = f(H_{\text{к}})$ от числа разрабатываемых пластов в свите путем исключения мощных междупластий (соответственно, и одного из пластов), что повышает угленосность свиты. Этим условиям отвечают условия залегания Урупско-Караканского месторождения (Рис. 3).

Результаты горно-геометрического анализа по вариантам отработки Урупско-Караканского месторождения приведены в публикации [17], но вместе с тем в этой работе отсутствует аналитическое обобщение по месторождениям 2-4, что не всесторонне освещает изучение данной проблематики. По месторождению 1 можно сделать промежуточный вывод, дополняющий результаты исследований, приведенных в работе [17]: управление средним коэффициентом вскрыши и, следовательно, глубиной разработки свиты может быть осуществлено исключением из разработки мощных междупластий, обуславливающих рассредоточение пластов.

Месторождение 2. Изучение зависимости $K_{\text{ср}} = f(H_{\text{к}})$ при отработке одиночного пласта (или группы пластов – основной пласт и пласт попутной добычи) при его наклонном залегании. Эти условия часто встречаются на месторождениях Прокопьевско-Киселевского, Кондомского, Бунгуро-Чумышского и других месторождений. Этим условиям отвечают условия залегания Прокопьевско-Киселевского месторождения (Рис. 4).



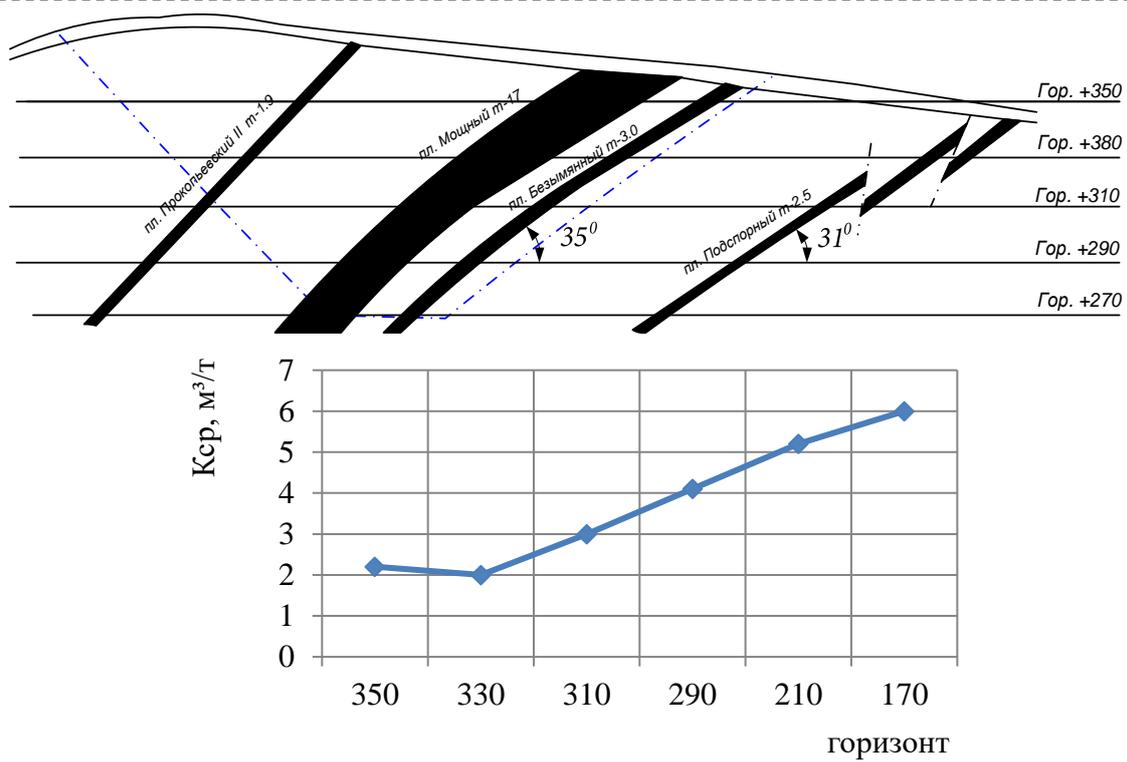


Рис. 4. Зависимости среднего коэффициента вскрыши от глубины и варианта отработки залежи Прокопьевско-Киселевского угольного месторождения

Fig. 4. Dependences of the average stripping coefficient on the depth and mining option of the Prokopyevsko-Kiselevsky coal deposit

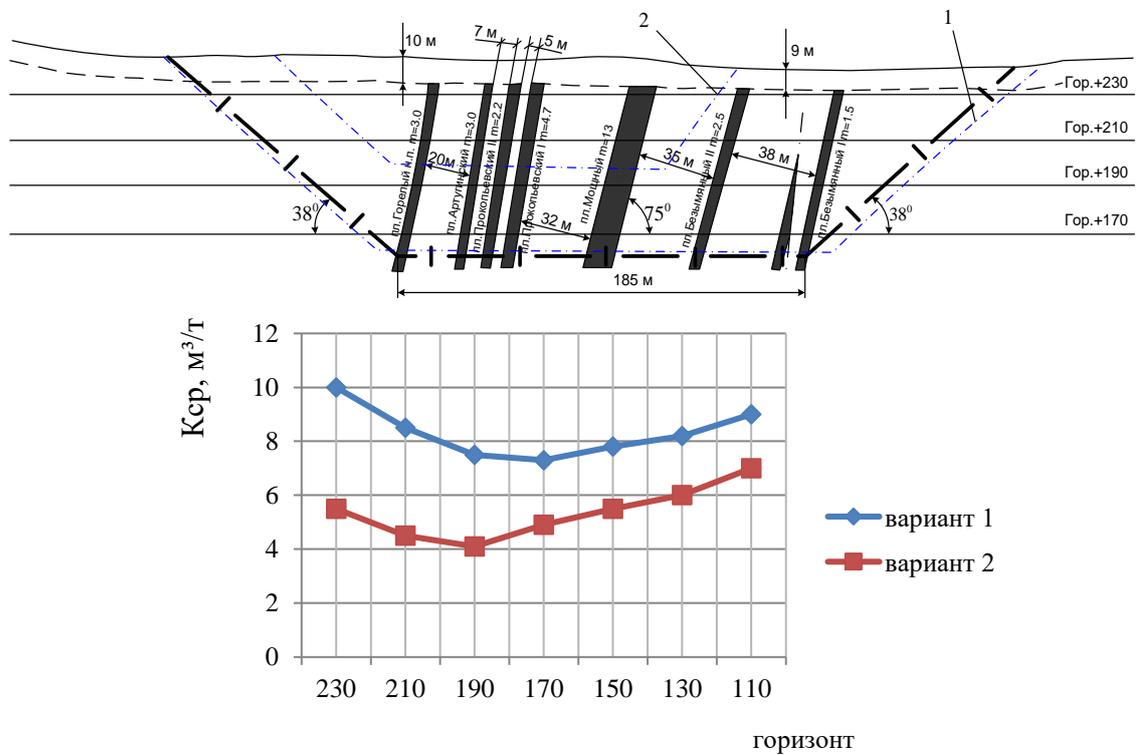
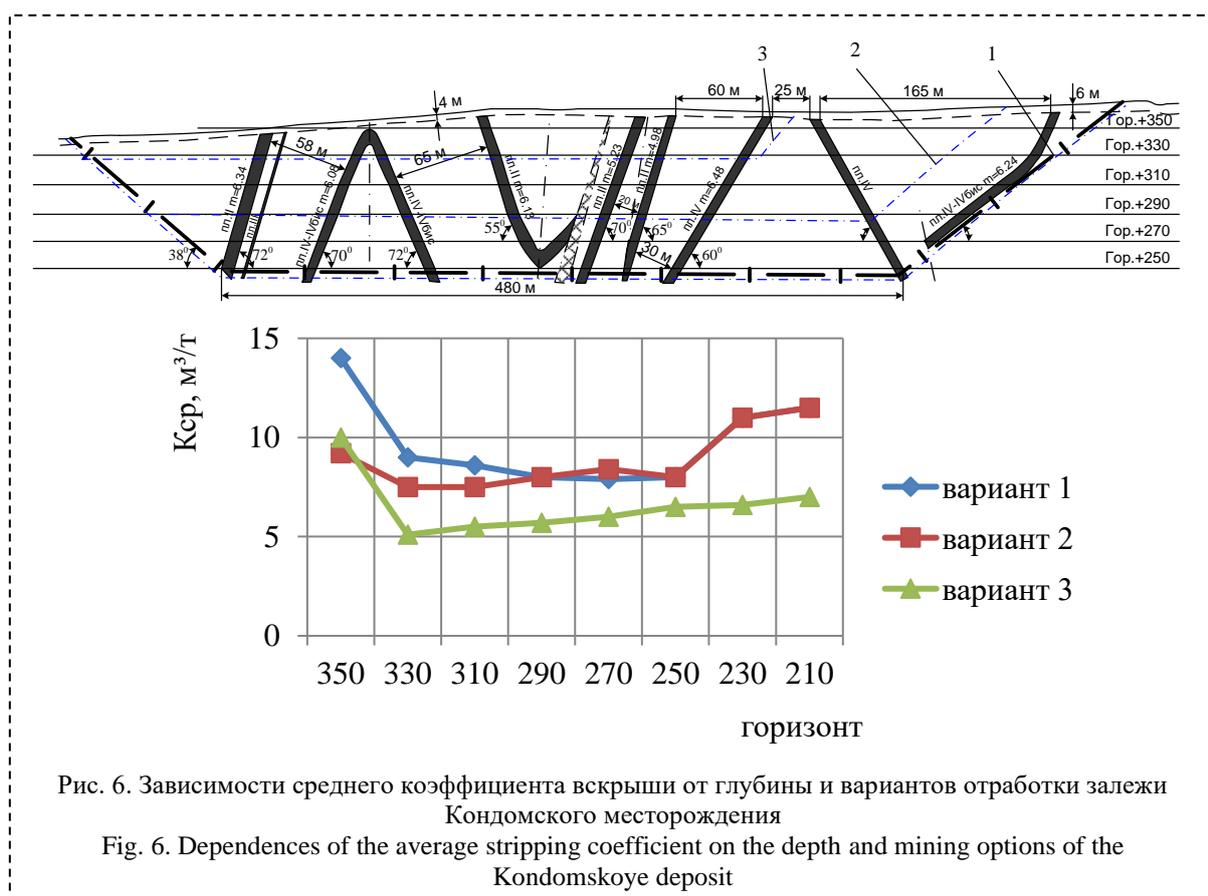


Рис. 5. Зависимости среднего коэффициента вскрыши от глубины и вариантов отработки залежи Краснобродского угольного месторождения

Fig. 5. Dependences of the average stripping coefficient on the depth and mining options of the Krasnobrodsky coal deposit



Разработке подлежит один рабочий пласт мощностью 17 м и пласт попутной добычи мощностью 3 м. Мощность междупластья между ними 15 м. Угленосность свиты 57%, характер зависимости $K_{ср} = f(H_k)$ параболический. Высокая угленосность свиты обуславливает низкое значение $K_{ср}$ в пределах до 7 м³/т на глубинах разработки свиты до 200 м. Ширина дна карьера небольшая – 60 м, поэтому возможно применение драглайнов малых моделей (длина стрелы 45-50 м). Доля бестранспортной технологии может составлять 8–45%. Рассматриваемое условие работы драглайна ставит последующую задачу исследования организации работ при отсыпке многоярусного отвала на коротком отвальном фронте. Следует отметить, что для анализируемых условий при применении бестранспортной технологии в стесненных условиях нижней части карьерного поля целесообразно использовать драглайн для выполнения, как вскрышных, так и добычных работ.

Месторождение 3. Для изучения зависимости $K_{ср} = f(H_k)$ необходимо рассмотрение такого варианта, как разработка свиты сосредоточенных пластов крутого падения, с целью сравнения его с показателями разработки одиночного пласта. Этим условиям отвечают условия залегания Краснобродского угольного месторождения (Рис. 5).

Вариант 1. Отработке подлежит группа из семи крутопадающих пластов. Один пласт рабочий ($m=13$ м), а остальные относятся к категории пластов попутной добычи. Угленосность свиты 16,6%. График распределения $K_{ср} = f(H_k)$ имеет, как и при разработке одиночного мощного рабочего пласта, вид параболы. Наличие шести пластов попутной добычи при значительных мощностях междупластий (20, 32, 35 и 38 м) обуславливает большое значение среднего коэффициента вскрыши. Минимальное значение $K_{ср} = 7,3$ м³/т при глубине разработки 60 м, глубина разработки составит 110-120 м. Средняя по значению для углубочно-сплошной системы разработки ширина дна карьера – 185 м позволяет применять драглайны с длиной стрелы 70-80 м. Доля бестранспортной технологии может составить при их применении 20-76%.

Вариант 2. Разработке подлежит группа из основного рабочего пласта и трех пластов мощностью 1,5 м, 2,5 м, 3 м, которые разрабатываются при разносе бортов. Угленосность разрабатываемой части свиты 31,1%. Характер зависимости $K_{ср} = f(H_k)$ также параболический, однако средний коэффициент существенно ниже, чем в предыдущем варианте. Минимальное значение $K_{ср} = 4,3$ м³/т при глубине разработки 35-40 м. При $K_{ср} = K_{гр} = 9$ м³/т глубина разработки может достигать 220 м. При среднем значении граничного коэффициента

$K_{ср} = K_{гр} = 6 \text{ м}^3/\text{т}$ глубина разработки составит 110-120 м. Малая ширина дна 75 м позволит эффективно работать драглайном малых моделей (длина стрелы 45-50 м). Доля бестранспортной технологии может составить от 16% до 69% при низком среднем значении коэффициента вскрыши – 3,6-5,5 $\text{м}^3/\text{т}$. Исключение из разработки пластов малой мощности при большом их числе в свите позволяет существенно снизить средний коэффициент вскрыши и увеличить глубину разработки залежи. Однако при этом уменьшается ширина дна карьерного поля, что обуславливает применение драглайнов малой мощности и снижение доли бестранспортной технологии.

Месторождение 4. Для изучения зависимости $K_{ср} = f(H_k)$ необходимо рассмотрение такого варианта, как сложное крутопадающее залегание пластов с целью сравнения его показателей с показателями разработки одиночного пласта и свиты сосредоточенных пластов крутого падения. Этим условиям отвечают условия залегания Кондомского месторождения (Рис. 6).

Вариант 1. Разработке подлежат все пласты свиты (9 пластов рабочей мощности $m=5,2-6,4\text{м}$). Угленосность свиты изменяется по глубине от 9,7 до 10,9% из-за большой нарушенности пластов. Зависимость $K_{ср} = f(H_k)$ сложная и определяется случайным характером пространственного распределения пластов в результате дизъюнктивных нарушений. Значительные мощности междупластий – 30, 58, 65 и до 165м определяют высокое значение среднего коэффициента вскрыши. Минимальное значение $K_{ср} = 8 \text{ м}^3/\text{т}$ при глубине разработки залежи 90-110 м. Ширина дна карьерного поля 495 м, что позволяет применять драглайны средней и большой мощности. Тогда при глубине разработки 90-110 м доля бестранспортной технологии может составлять от 30 до 100%.

Вариант 2. Исключается из разработки пласт IV-IV^{бис}, $m=6,24\text{м}$. Это исключает из разработки породный клин с основанием по поверхности в 165 м. Угленосность свиты повышается до 10,4-10,7%. Характер зависимости $K_{ср} = f(H_k)$ сложный, причем график лежит ниже графика $K_{ср} = f(H_k)$ по варианту 1 до глубины горных работ 110 м. При дальнейшем углублении графики совпадают, так как по варианту 1 при разnose правого борта в попутную добычу попадает пласт IV-IV^{бис}. Поэтому условия и показатели применения бестранспортной технологии на глубинах 90-110 м по варианту 2 аналогичны варианту 1, тем более, что ширина дна карьерного поля также примерно 463 м.

Вариант 3. Для улучшения показателей по вариантам 1 и 2 из разработки исключаются правое крыло пл. IV и пл. IV-IV^{бис}. Угленосность разрабатываемой части свиты возрастает до 12-

13%. Значение среднего коэффициента существенно ниже: минимальное значение $K_{ср}=4,75 \text{ м}^3/\text{т}$ достигается при глубине разработки 30 м. При среднем значении граничного коэффициента вскрыши $K_{гр} = 6-6,5 \text{ м}^3/\text{т}$ глубина разработки составит 90-110м. Ширина дна карьерного поля 312–326м, что позволяет применять драглайны средних моделей. Доля бестранспортной технологии может составлять 30-100%.

Выводы

Выполненный горно-геометрический анализ месторождений позволил сделать следующие заключения:

1. Предел глубины горных работ на наклонных и крутопадающих залежах с использованием углубочно-сплошной системы разработки и применением экскаваторно-отвального технологического комплекса ограничивается 250 метрами, при значении среднего коэффициента вскрыши не более 9 $\text{м}^3/\text{т}$.

2. Управление средним коэффициентом вскрыши (режимом горных работ) достигается исключением из разработки мощных породных междупластьев.

3. Ограниченность бестранспортного фронта работа не более 1 км определяется исходя из ширины карьерного поля (поперечного сечения свиты) принятой к отработке свиты пластов или ее части, установленной расчетными вариантами горно-геометрического анализа.

4. Расчетные варианты горно-геометрического анализа определяют разнодолевое участие бестранспортной технологии в диапазоне 20÷100%, что определяется предельной глубиной карьерного поля.

Положения данного заключения используются в дальнейшем при разработке бестранспортных технологических схем в условиях углубочно-сплошной системы разработки свит угольных пластов наклонного и крутого залегания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латыпов З. Г. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Выпуск 91. Уголь. Том VII. Сибирский Федеральный Округ. М. : ФБГУ «Росгеолфонд», 2021. 484 с.
2. Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. М. : Недра, 1975. 574 с.
3. Селюков А. В., Герасимов А. В. Обоснование области применения автосамосвалов различной грузоподъемности при блоковом способе отработки карьерного поля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2 (162). С. 57–67. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-57-67.

4. Рутковский Б. Т. Блочный способ отработки карьерных полей с большим простиранием // Разработка угольных месторождений открытым способом, сб. науч. тр. Кемерово, КузПИ, 1972. С. 81–87.

5. Корякин А. И., Цепилов И. И. Пути создания малоземлемой технологии открытой угледобычи в Кузбассе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 1991. № 1. С. 60–62.

6. Томаков П. И., Коваленко В. С. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса // М. : Уголь, 1992. № 1.

7. Еременко Е. В., Косолапов А. И. К вопросу управления техногенным ресурсом карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 114. С. 249–259.

8. Зайцева А. А., Зайцев Г. Д. Определение реального выработанного пространства карьеров для внутреннего отвалообразования при разработке наклонных угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 2. С. 129–133.

9. Коваленко В. С. Формирование ресурсосберегающих технологий открытой разработки свит крутых и наклонных угольных пластов: автореф. ... докт. техн. наук. М. : МГТУ, 1997. 42 с.

10. Мартянов В. Л., Колесников В. Ф. Обоснование рационального порядка разработки сложноструктурных угольных месторождений // Вестник КузГТУ. 2016. № 6 (117). С. 73–82.

11. Селюков А. В. Обоснование и разработка ресурсосберегающих технологий открытой угледобычи на карьерных и отработанных шахтных полях: специальность 25.00.22

«Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Селюков Алексей Владимирович. Кемерово, 2019. 308 с.

12. Zhironkin S., Cehlar M. Green economy and sustainable development: the outlook and suitable development // Energies. 2022. V. 1167. Pp. 1–8. DOI: 10.3390/en15031167.

13. Zhironkin S., Szurgacz D. Mining Technologies Innovative Development: Industrial, Environmental and Economic Perspectives // Energies. 2022. V. 15. Pp. 1–9. DOI: 10.3390/en15051756.

14. Cai X., Zhu B., Zhang H. Can direct environmental regulation promote green technology innovation in heavily polluting industries? Evidence from Chinese listed companies // Science of the Total Environment. 2020. V. 746. Pp. 2–18. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140810.

15. Sun X. [и др.] A coupling method for ecological environmental safety assessment in mining areas using PCA and catastrophe theory // Natural Resources Research. 2020. Pp. 4133–4148. DOI: 10.1007/s11053-020-09682-8.

16. Селюков А. В., Герасимов А. В. Проектирование карьеров : конспект лекций для обучающихся всех форм обучения направления подготовки 21.05.04 Горное дело : в двух частях / Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, Кафедра открытых горных работ. Кемерово : КузГТУ, 2024.

17. Селюков А. В. Вычисление доли бестранспортной технологии при углубочно-сплошной поперечной системе открытой разработки // Вестник Академии наук Республики Башкортостан «Науки о Земле». 2017. Том 25. № 4(88). С.40–46.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Селюков Алексей Владимирович, докт. техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, кафедра открытых горных работ (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28) , e-mail: sav.ormpi@kuzstu.ru

Терентьев Данил Дмитриевич, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, кафедра открытых горных работ (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: vesorionovich@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Селюков Алексей Владимирович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования.

Терентьев Данил Дмитриевич, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, написание текста, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

SUBSTANTIATION THE MINING REGIME OF DEEP-CONTINUOUS DEVELOPMENT SYSTEMS WITH AN EXCAVATOR-DUMP OVERBURDEN TECHNOLOGICAL COMPLEX

Alexey V. Selyukov, Daniil D. Terentyev

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: sav.ormpi@kuzstu.ru



Article info

Received:

18 September 2024

Accepted for publication:

22 April 2025

Accepted:

30 April 2025

Published:

11 June 2025

Keywords: mining and geometric analysis, in-depth continuous development system, excavator-dump overburden technological complex, mining mode.

Abstract.

In the general technological policy of open-pit coal mining, there are stable trends towards a rational combination of solid mining and a thrifty attitude to the environment. Nevertheless, the significant disadvantages of the systems and technologies used include the dumping of external dumps, entailing the alienation of land and a long range of transportation of overburden by quarry vehicles. In general, this leads to an increase in production costs. A significant proportion of open-pit coal deposits in Kuzbass are represented by inclined and steeply falling formations. The completed projects for some sections provide for the use of resource-saving technological solutions with internal dumping, based on the use of transport methods for developing the downhole side of the quarry field, in which all overburden from the faces is transported to the internal dump by dump trucks, which reduces the efficiency of mining operations. This publication discusses the possibility of using a less expensive transport-free technology for the above conditions. The use of this method, both in production and in design practice, is hampered by the lack of a comprehensive methodological framework. For example, there are no recommendations for assessing the depth of the initial excavation for an internal dump, the mining regime is not defined, etc. The article solves the intermediate tasks of establishing the preliminary technical boundaries of the transportless technology for moving overburden rocks from the face to the inner dump with a continuous deepening system open-pit mining of inclined and steeply falling coal deposits and identified by performing mining and geometric analysis.

For citation: Selyukov A.V., Terentyev D.D. Substantiation the mining regime of deep-continuous development systems with an excavator-dump overburden technological complex. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 2(168):120-130. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-120-130, EDN: DXTIGZ

REFERENCES

1. Latypov Z.G. State balance of mineral reserves of the Russian Federation. Issue 91. Coal. Volume VII. Siberian Federal District. M., FSUE "Rosgeolfond", 2021. 484 p.
2. Rzhnevsky, V.V. Technology and complex mechanization of open-pit mining. M.: Nedra; 1975. 574 p.
3. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Substantiation of the field of application of dump trucks of various load capacities in the block method of mining a quarry field // *Bulletin Bulletin of KuzSTU*. 2024; 2(162):57–67. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-57-67.
4. Rutkovsky B.T. Block method of mining quarry fields with a large strike. Development of coal deposits

by open method, collection of scientific tr. Kemerovo, KuzPI, 1972. Pp. 81–87.

5. Koryakin A.I., Tsepilov I.I. Ways of creating low-earth-intensive technology of open-pit coal mining in Kuzbass. *Bulletin of KuzSTU*. 1991; 1:60–62.

6. Tomakov P.I., Kovalenko V.S. Environmental protection technologies of open-pit mining of steep and inclined coal deposits of Kuzbass. M.: Ugol; 1992. № 1.

7. Eremenko E.V., Kosolapov A.I. On the issue of managing the technogenic resource of a quarry. *Mining information and analytical Bulletin*. 2015; 114:249–259.

8. Zaitseva A.A., Zaitsev G.D. Determination of the real worked-out space of quarries for internal dumping during the development of inclined coal deposits. *Mining information and analytical bulletin*. 2011; 2:129–133.

9. Kovalenko, B.C. Formation of resource-saving technologies for open-pit mining of formations of steep and inclined coal seams: abstract. ... doct. Technical Sciences. M.: Moscow State University; 1997. 42 s.

10. Martianov V.L., Kolesnikov V.F. Justification of the rational procedure for the development of complex-structured coal deposits. *Bulletin of KuzSTU*. 2016; 6(117):73–82.

11. Selyukov A.V. Substantiation and development of resource-saving technologies of open-pit coal mining in quarry and spent mine fields: specialty 25.00.22 "Geotechnology (underground, open and construction)": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Selyukov Alexey Vladimirovich. Kemerovo, 2019. 308 p.

12. Zhironkin S., Cehlar M. Green economy and sustainable development: the outlook and suitable development. *Energies*. 2022; 1167:1–8. DOI: 10.3390/en15031167.

13. Zhironkin S., Szurgacz D. Mining Technologies Innovative Development: Industrial, Environmental and Economic Perspectives. *Energies*.

2022; 15:1–9. DOI: 10.3390/en15051756.14. Cai X., Zhu B., Zhang H. Can direct environmental regulation promote green technology innovation in heavily polluting industries? Evidence from Chinese listed companies. *Science of the Total Environment*. 2020; 746:2–18. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140810.

15. Sun X. [et al.] A coupling method for ecological environmental safety assessment in mining areas using PCA and catastrophe theory. *Natural Resources Research*. 2020. P. 4133–4148. DOI: 10.1007/s11053-020-09682-8.

16. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Quarry design: lecture notes for students of all forms of education training directions 05/21/04 Mining: in two parts. Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Department of Open-pit Mining Kemerovo: KuzSTU; 2024.

17. Selyukov A.V. Calculation of the share of transportless technology in a deep-continuous transverse open-pit system. *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan "Earth Sciences"*. 2017; 25(4(88)):40–46.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Alexey V. Selyukov, Dr. Sc. in Engineering, Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Department of Open-pit Mining (650,000, Kemerovo, Russia, Vesennaya str., 28), e-mail: sav.ormpi@kuzstu.ru
Daniil D. Terentyev, Postgraduate student, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Department of Open-pit Mining (650,000, Kemerovo, Russia, Vesennaya str., 28), e-mail: vesorionovich@mail.ru

Contribution of the authors:

Alexey V. Selyukov – formulation of a research task, scientific management, conceptualization of research.
Daniil D. Terentyev – data collection and analysis, review of relevant literature, writing of the text, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

