

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БЛОКОВОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ

В.В. АКСЕНОВ^{1,2}, д-р техн. наук, А.В. СЕЛЮКОВ², д-р техн. наук,
Д.А. ПАШКОВ^{1,2}, канд. техн. наук, А.В. ГЕРАСИМОВ², асп.

¹ Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, 650610, Кемерово,
пр. Ленинградский, 10, e-mail: 55vva42@mail.ru

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

© Аксенов В.В., Селюков А.В., Пашков Д.А., Герасимов А.В., 2025

Рассмотрены особенности существующих технологических решений отработки свит наклонных и крутопадающих пластов, выявлены их недостатки. Представлены особенности блокового способа отработки свит наклонных и крутопадающих пластов. Отмечено, что при отработке карьерного поля с использованием блокового способа сдерживающим фактором является отсутствие научно-технических и научно-методических наработок, направленных на обоснование параметров блоков. Для определения этих параметров и факторов, необходимо разработать математическую модель определения параметров блокового способа.

Ключевые слова: открытые горные работы, внешнее отвалообразование, карьерное поле, система разработки, математическая модель определения параметров блокового способа, блоковый способ, свита пластов.

DOI: 10.46573/2658-5030-2025-2-51-57

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность составляет одну из основ экономики регионов Российской Федерации. Данный факт подтверждается требованием государства увеличить объемы добываемого полезного ископаемого [1], а это значит, что некоторые районы проживания населения будут находиться в непосредственной близости к объектам указанной промышленности, в том числе открытых горных работ. В связи с этим особое внимание уделяют рациональному недропользованию во время открытой разработки твердых полезных ископаемых.

Перспективным направлением вышеназванного недропользования при развитии открытых горных работ является блоковый способ отработки [2–7].

Согласно официальным данным [8], около 2/3 перспективных угольных участков на территории РФ относят к сложноструктурным месторождениям с крутым и наклонным залеганием свит пластов, отработка которых возможна с применением блокового способа.

ОСОБЕННОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОТРАБОТКИ СВИТ НАКЛОННЫХ И КРУТОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ

В своих трудах академик В.В. Ржевский [9–11] приводит классификацию систем открытой разработки, соотнесенную главным образом с высотой рабочей зоны карьера и разделением залежей на горизонтальные и пологие, наклонные и крутые.

Отработка горизонтальных и пологих залежей осуществляется по сплошным системам разработки (рис. 1). Особенности освоения таких залежей заключаются в порядке и последовательности ведения вскрышных и добычных работ и изменении длины фронта работ или высоты отдельных уступов и размеров рабочих площадок, размещении вскрышной породы во внутреннем отвале выработанного пространства.

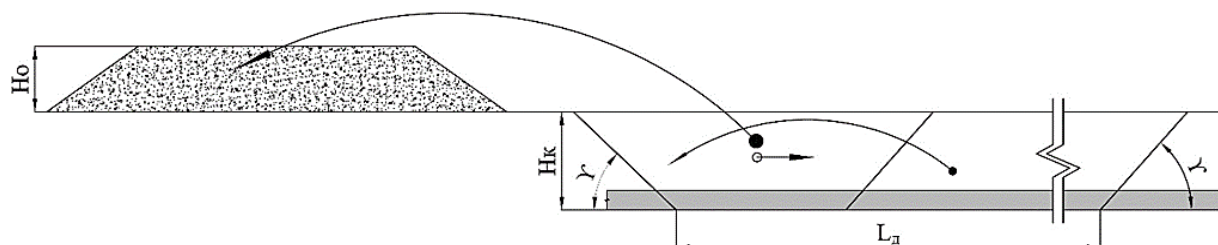


Рис. 1. Принципиальная схема отработки карьерного поля по сплошной системе разработки: H_0 – высота отвала; H_k – глубина карьера; $L_д$ – длина карьера по дну; γ – угол борта в торце

Отработка наклонных и крутопадающих залежей реализуется по углубочным системам (рис. 2–4). Особенности разработки этих залежей состоят в порядке выполнения вскрышных, добычных и регулярных горно-подготовительных работ, размещении вскрышных пород на внешних отвалах за пределами карьерного поля.

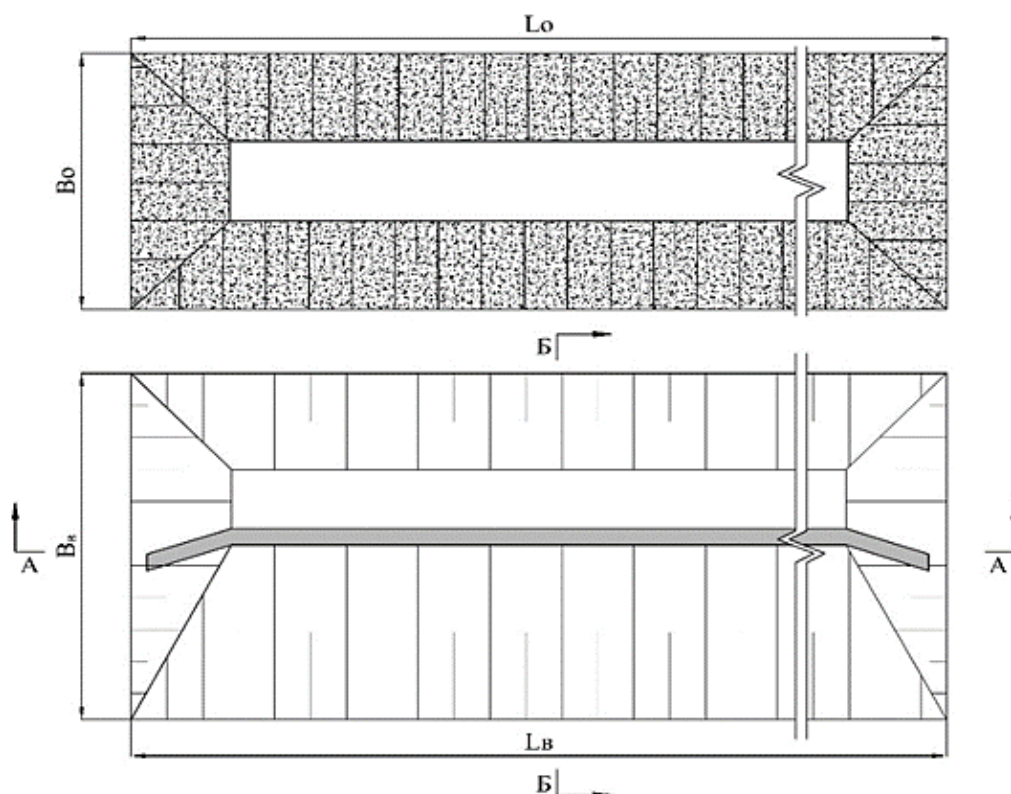


Рис. 2. Принципиальная схема углубочной продольной системы разработки: L_0 – длина отвала; B_0 – ширина карьера; $B_в$ – ширина карьера по верху; $L_в$ – длина карьера по верху

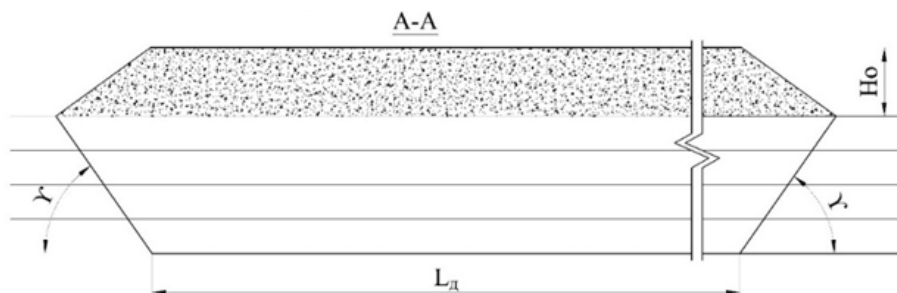


Рис. 3. Продольный профиль карьерного поля, отрабатываемого по углубочной продольной системе разработки:
 H_0 – высота отвала; L_d – длина карьера по дну; γ – угол борта в торце

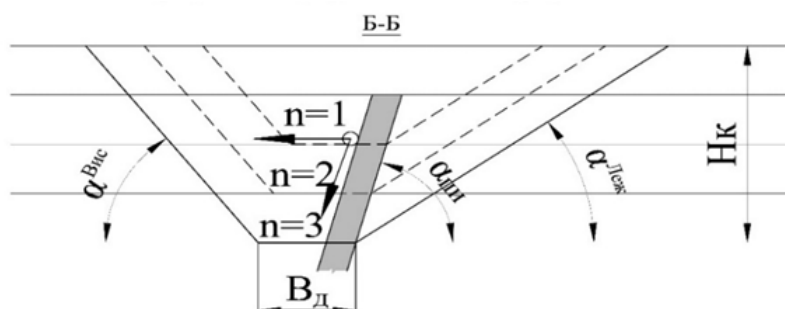


Рис. 4. Поперечный профиль карьерного поля, отрабатываемого по углубочной продольной системе разработки: H_k – глубина карьера; n – контур отработки; $\alpha_{\text{ли}}$ – угол падения залежи; $\alpha^{\text{леж}}$ – угол борта со стороны лежащего бока залежи; $\alpha^{\text{вис}}$ – угол борта со стороны висячего бока залежи; B_d – ширина карьера по дну;  – направление подвигания и углубки фронта горных работ

На основании анализа систем и технологий открытой разработки систематизированы их характеристики (таблица).

Основные черты существующих систем разработки

Система разработки	Перечень особенностей
Сплошная	Применение только при горизонтальных и пологопадающих свитах пластов. Условно постоянная высота рабочей зоны. Возможность размещения внутреннего отвала в выработанном пространстве
Углубочная	Применение только при наклонных и крутопадающих свитах пластов. Изменяющаяся высота рабочей зоны. Размещение вскрышных пород на внешних отвалах

В СССР при отработке наклонных и крутопадающих залежей традиционно с момента появления открытого способа добычи широко использовали углубочные продольные 1- и 2-бортовые системы разработки согласно классификации систем открытой разработки, предложенной академиком В.В. Ржевским [8–10]. Однако данные системы имеют ряд недостатков; из-за них неблагоприятная экологическая обстановка

в угольных бассейнах России будет только усугубляться, в том числе при освоении перспективных залежей.

Основные недочеты вышеназванных систем разработки:

1) с углублением горных работ и развитием внешних отвалов постоянно увеличивается расстояние транспортирования вскрышных пород и, следовательно, возрастают затраты на производство вскрыши;

2) по мере увеличения глубины возрастают общая длина фронта работ и протяженность транспортных коммуникаций, что повышает затраты на их сооружение и содержание;

3) весь объем вскрыши вывозится на внешние отвалы, поэтому для размещения данного объема необходимо наличие больших земельных отводов;

4) велики площади нарушения поверхности, которые являются источниками пылеобразования в районе ведения открытых горных работ;

5) отсутствует возможность восстановления поверхности в процессе эксплуатации месторождения, из-за чего создается большой разрыв во времени между нарушением и рекультивацией земель.

Таким образом, применение углубочных продольных систем разработки приводит к появлению негативных последствий, связанных главным образом с внешним отвалообразованием.

БЛОКОВЫЙ СПОСОБ ОТРАБОТКИ СВИТ НАКЛОННЫХ И КРУТОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ

Б.Т. Рутковский предложил следующее технологическое решение: деление карьерного поля на блоки производится по его длине на отдельные части – блоки. Отработка блоков ведется последовательно. Первоначальный блок отрабатывается до конечной глубины карьера с вывозкой вскрышной породы автотранспортом на внешний отвал, вскрышная порода последующих блоков размещается во внутреннем отвале предыдущего блока. Далее выработанное пространство второго блока заполняется вскрышей третьего и т. д. (рис. 5).

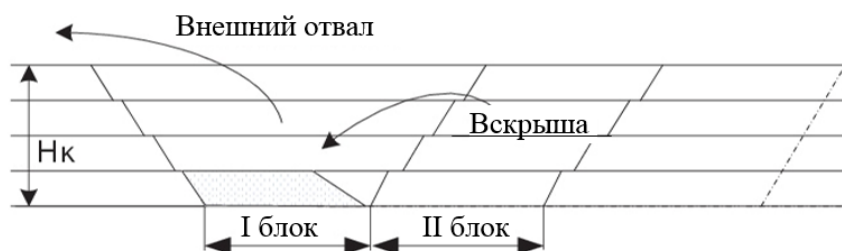


Рис. 5. Общий вид блочного способа по Б.Т. Рутковскому (продольное сечение карьерного поля): H_k – глубина карьера

Б.Т. Рутковским разработан и предложен способ отработки свит пластов наклонного и крутого падения на угольных разрезах. Предложенный способ обладает следующими особенностями:

- 1) делением карьерного поля по его длине на отдельные части – блоки;
- 2) выбором места заложения первоначального блока;
- 3) последовательной отработкой блоков;

4) размещением вскрышных пород при разработке первого блока на внешнем отвале, второго блока в выработанном пространстве первоначального блока – во внутреннем.

Основной недостаток данного способа – отсутствие системных рекомендаций по поводу определения главных параметров блоков и конкретных решений, касающихся выбора места заложения первого блока. Этот и прочие недостатки обусловлены отсутствием взаимосвязи параметров разрабатываемого блока и выработанного пространства отработанного блока, при котором объем разрабатываемых пород невозможно разместить в выработанном пространстве предыдущего блока. Это обстоятельство порождает неравномерность размещения вскрышных пород отработываемого блока в выработанное пространство отработанного, что негативно сказывается на технико-экономических показателях разреза (увеличиваются дальность транспортирования из-за перемещения излишка породы на внешние отвалы, объемы и площади указанных отвалов; вследствие последнего возникает нагрузка на окружающую среду) [12–14].

Таким образом, при отработке карьерного поля с использованием блокового способа сдерживающим фактором является отсутствие научно-технических и научно-методических наработок, обосновывающих параметры блоков. Для установления последних необходимо составить математическую модель определения параметров блокового способа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение уровня добычи угля порождает необходимость в решении задач минимизации затрат горного производства, повышения эффективности отработки карьерных полей и снижения воздействия на окружающую среду. Перспективным является блоковый способ разработки карьерных полей, предполагающий использование по максимуму выработанного пространства для размещения вскрышных пород. Основной причиной, ограничивающей применение данного способа при отработке карьерного поля, выступает отсутствие научно-технических и научно-методических наработок, в которых обосновываются параметры блоков.

Как было указано выше, существует необходимость разработки модели определения параметров блокового способа с учетом обозначенных особенностей, которая должна:

- 1) предусматривать отработку крутых и наклонных свит пластов;
- 2) обеспечивать сокращение расстояния транспортирования вскрышной породы;
- 3) снижать площадь земель для внешних отвалов;
- 4) способствовать максимальному использованию внутреннего отвалообразования;
- 5) обеспечивать взаимосвязь параметров разрабатываемого блока и выработанного пространства отработанного блока, равномерность размещения вскрышных пород отработываемого блока в указанном пространстве;
- 6) способствовать рациональности и эффективности отработки карьерного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года: Распоряжение Правительства Рос. Федерации от 13.06.2020 № 1582-р. URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=1&nd=102762578&intelsearch=% (дата обращения: 24.02.2025).

2. Рутковский Б.Т. Блоковый способ отработки месторождений открытым способом // *Добыча угля открытым способом*. 1972. № 1. С. 81–87.
3. Селюков А.В., Литвин Я.О. Технологическое развитие блокового способа открытой разработки угольных месторождений // *Естественные и технические науки*. 2015. № 3 (81). С. 94–97.
4. Селюков А.В., Герасимов А.В. Блоковый способ отработки карьерных полей как инструмент снижения воздействия на окружающую среду в условиях интенсификации производства // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2024. Т. 335. № 10. С. 178–188.
5. Селюков А.В., Герасимов А.В. Регулирование дисбаланса объемов отвалообразования при блоковом способе отработки карьерных полей угольных разрезов // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2024. № 3. С. 313–328.
6. Селюков А.В., Герасимов А.В. Проектирование параметров блокового способа открытой угледобычи с применением автотранспортной технологии // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2024. № 2 (162). С. 68–78.
7. 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.
8. Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны, месторождения Алтайского края и Республики Алтай) / гл. ред. В.Ф. Череповский. М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. 604 с. URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-ugolnaya-baza-rossii-tom-ii-ugolnye-basseyny.pdf> (дата обращения: 24.02.2025).
9. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. М.: Недра, 1985. 549 с. URL: <https://www.geokniga.org/books/17740> (дата обращения: 24.02.2025).
10. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. М.: Недра, 1978. 541 с.
11. Научные основы проектирования карьеров / под общ. ред. В.В. Ржевского, М.Г. Новожилова, Б.П. Юматова. М.: Недра, 1971. 600 с.
12. Ефимов В.И., Минибаев Р.Р., Корчагина Т.В., Новикова Я.А. К вопросу минимизации негативного воздействия горного производства на окружающую среду // *Уголь*. 2017. № 1. С. 66–68.
13. Качурин Н.М., Белая Л.А., Корчагина Т.В. Геоэкологический мониторинг и оценка воздействия на окружающую среду горнопромышленного региона // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2010. № 6. С. 32–37.
14. Счастливцев Е.Л., Степанов Ю.А., Корчагин Т.В. Оценка воздействия техногенных массивов угледобывающих предприятий на атмосферу // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2007. № 2 (60). С. 56–58.
15. Патент РФ 2800752. Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых // Герасимов А.В., Селюков А.В.; Заявл. 27.12.2022. Оpubл. 27.07.2023, Бюл. № 21.

Для цитирования: Аксенов В.В., Селюков А.В., Пашков Д.А., Герасимов А.В. Необходимость разработки математической модели определения параметров блокового способа разработки карьерных полей // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2025. № 2 (26). С. 51–57.

THE NEED TO DEVELOP A MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE BLOCK METHOD OF DEVELOPING CAREER FIELDS

V.V. AKSENOV ^{1,2}, Dr Sc., A.V. SELYUKOV ², Dr Sc.,
D.A. PASHKOV ², Cand. Sc, A.V. GERASIMOV ², Graduate Student

¹ Institute of Coal FRCCCh of SBR of RAS,
10, Leningrad ave., Kemerovo, 650610, e-mail: 55vva42@mail.ru

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000

The features of existing technological solutions for mining formations of inclined and steeply falling strata are considered, and their disadvantages are identified. The features of the block method of mining formations of inclined and steeply falling strata are presented. It is noted that when working out a career field using the block method, the lack of scientific, technical and methodological developments aimed at substantiating the parameters of the blocks is a limiting factor. To determine these parameters and factors, it is necessary to develop a mathematical model for determining the parameters of the block method.

Keywords: open-pit mining, external waste dumping, quarry field, development system, mathematical model for determining the parameters of the block method, block method, suite of layers.

Поступила в редакцию/received: 06.02.2025; после рецензирования/revised: 14.02.2025;
принята/accepted: 17.02.2025

УДК 504.55:504.064:502.57(470.331)

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ЛИКВИДИРОВАННЫХ ШАХТ НЕЛИДОВСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Л.В. ЛОБАЧЕВА, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: firslud@mail.ru

© Лобачева Л.В., 2025

Проанализированы особенности породного отвала. Представлены результаты изучения проблемы накопления и воздействия отходов добычи бурого угля, складываемых в отвалах (техногенных образованиях) ликвидированных шахт, на окружающую среду, а также исследования отвальной породы и проб грунта на содержание соединений тяжелых металлов и уровня активной реакции среды (рН). Дана оценка влияния техногенных месторождений на водные объекты, находящиеся в зоне техногенного образования. Обоснованы необходимость и возможность рационального освоения породных отвалов ликвидированных шахт.