

UDC 622.271.451 © Е.В. Кирюшина¹, И.В. Зеньков^{2,3}, А.С. Конде⁴,
Ю.П. Юронен³, Ж.В. Миронова¹, А.А. Латынцев¹, К.В. Раевич¹,
К.А. Штреслер¹, Д.В. Редкин², 2025

UDC 622.271.451 © E.V. Kiryushina¹, I.V. Zenkov^{2,3}, A.S. Conde⁴,
Yu.P. Yuronen³, Zh.V. Mironova¹, A.A. Latyntsev¹, K.V. Raevich¹,
K.A. Shtresler¹, D.V. Redkin², 2025

¹ Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

² Сибирский научно-исследовательский институт горного
и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия

² Siberian Research Institute of Mining and Surveying,
Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

³ Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия

³ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

⁴ Компания «Русский алюминий», Представительство
в Гвинейской Республике, BP 6506, Конакри, Гвинейская Республика

⁴ RUSSKY ALUMINY LIMITED, Conakry, BP 6506, Republic of Guinea

✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

Исследование режима горных работ при открытой разработке двухпластовых мульдообразных угольных месторождений в Красноярском крае

Studying the mode of open-pit mining operations at a two-seam synclinal coal deposits in the Krasnoyarsk Territory

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-4-66-70>

КИРЮШИНА Е.В.

Канд. техн. наук, доцент
Сибирского федерального университета,
660041, г. Красноярск, Россия

ЗЕНЬКОВ И.В.

Доктор техн. наук, профессор,
заместитель директора по научной работе
Сибирского научно-исследовательского института
горного и маркшейдерского дела,
660025, г. Красноярск, Россия,
профессор Сибирского государственного
университета науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия,
e-mail: zenkoviv@mail.ru

КОНДЕ А.С.

Горный инженер компании «Русский алюминий»,
Представительство в Гвинейской Республике,
BP 6506, г. Конакри, Гвинейская Республика

В Красноярском крае открытым способом разрабатываются мульдообразные угольные месторождения, в строении которых находятся два-три пласта, имеющие промышленное значение. Открытые горные работы на многих месторождениях в ходе разности одного борта карьера производятся в замке мульды с дальнейшим развитием по восстанию угольных пластов. Отработке угольных пластов по восстанию должны предшествовать исследования режима открытых горных работ с учетом изменения физико-механических свойств горных пород в границах карьерного поля. Это позволяет снизить вероятность деформации борта карьера по результатам обоснования величины опережающей выемки вскрышных пород на верхних уступах в карьере.

Ключевые слова: мульдообразные угольные месторождения, открытые горные работы, режим горных работ, коэффициент вскрыши, устойчивость борта карьера, деформация борта карьера, опережающая выемка вскрышных пород, коэффициент запаса устойчивости.

Для цитирования: Исследование режима горных работ при открытой разработке двухпластовых мульдообразных угольных месторождений в Красноярском крае / Е.В. Кирюшина, И.В. Зеньков, А.С. Конде и др. // Уголь. 2025;(4):66-70. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-4-66-70.

Abstract

Synclinal coal deposits that are characterized with two or three commercial seams are developed in the Krasnoyarsk Territory using the open-pit mining methods. In many fields open-pit mining operations during the wall cutback are performed at the synclinal turn with further coal mining along the seam rise. Mining of coal seams along the rise should be preceded by studies of the mode of open-pit mining operations with due account of changes in the physical and mechanical properties of rocks within the open-pit field boundaries. This helps to reduce the probability of the pit wall deformation based on the justification of advanced stripping at the upper benches of the open pit.

Keywords

Synclinal coal deposits, open-pit mining, mode of mining operations, stripping ratio, pit wall stability, pit wall deformation, advanced stripping of overburden, safety factor.

For citation

Kiryushina E.V., Zenkov I.V., Conde A.S., Yuronen Yu.P., Mironova Zh.V., Latyntsev A.A., Raevich K.V., Shtresler K.A., Redkin D.V. Studying the mode of open-pit mining operations at a two-seam synclinal coal deposits in the Krasnoyarsk Territory. *Ugol'*. 2025;(4):66-70. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-4-66-70.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы основной тенденцией в мировом недропользовании является увеличение объемов добычи угля. В Красноярском крае в открытой разработке находятся мульдообразные двухпластовые месторождения. Такие месторождения разрабатываются открытым способом в ходе разноски одного борта карьера. Особенностью порядка отработки мульдообразных месторождений является неизбежность производства открытых горных работ как по падению, так и по восстанию угольных пластов. В обоих случаях необходимо проводить исследование режима горных работ с учетом горно-геологического строения месторождения и физико-механических характеристик горных пород, что в противном случае приводит на практике к деформациям рабочего борта карьера с вытекающими негативными последствиями для людей и техники. В мировом недропользовании имеется множество случаев уничтожения горных и транспортных машин и гибели производственного персонала, что является следствием деформации рабочих бортов карьеров. В горном деле исследованиям режима открытых горных работ с учетом устойчивости горных выработок уделяется большое внимание, о чем свидетельствуют результаты работ по геомеханике, представленных в краткой подборке тематических научных трудов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

**СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ И СТРУКТУРЫ
КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ В КАРЬЕРАХ
ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ НА ДВУХПЛАСТОВЫХ
МУЛЬДООБРАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

В последнее десятилетие в Красноярском крае наблюдается рост объемов добычи угля открытым способом на мульдообразных месторождениях с резко различающимися горно-геологическими характеристиками. Вместе с тем отметим, что тенденция роста объемов добычи угля не соответствует резолюциям ООН о необходимости улучшения климата на нашей планете [11]. С аналогичным в некоторой степени горно-геологическим строением имеются продуктивные участки на месторождениях бокситов в Республике Гвинея. В линейку угольных месторождений в нашем исследо-

ЮРОНЕН Ю.П.

*Канд. техн. наук, доцент
Сибирского государственного университета
науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия*

МИРОНОВА Ж.В.

*Канд. техн. наук, доцент
Сибирского федерального университета,
660041, г. Красноярск, Россия*

ЛАТЫНЦЕВ А.А.

*Канд. техн. наук, доцент
Сибирского федерального университета,
660041, г. Красноярск, Россия*

РАЕВИЧ К.В.

*Канд. техн. наук, доцент
Сибирского федерального университета,
660041, г. Красноярск, Россия*

ШТРЕСЛЕР К.А.

*Старший преподаватель
Сибирского федерального университета,
660041, г. Красноярск, Россия*

РЕДЬКИН Д.В.

*Горный инженер
Сибирского научно-исследовательского
института горного и маркшейдерского дела,
660025, г. Красноярск, Россия*

вании вошли месторождения с двумя пластами, средняя суммарная мощность которых равна 12 м, при средней глубине залегания в замковой части 60 м. На всех месторождениях угля в карьерах в движении находится один рабочий борт, и на место отработанных угольных пластов отсыпают вскрышные породы. На перевалке части вскрышных пород в выработанное пространство установлены драглайны ЭШ-10/70, ЭШ-15/90. На вскрышных работах экскаваторно-автомобильные комплексы состоят из ЭКГ-5 и ЭКГ-8 и автосамосвалов грузоподъемностью до 55 т. Добычные работы выполняют с использованием ЭКГ-5 и автосамосвалов грузоподъемностью до 55 т. Такая комплектация горных работ горнотранспортным оборудованием характерна для карьеров на Переясловском, Канском и Ирбейском бурогольных месторождениях. На Большесырском и Орловском месторождениях на выемке вскрышных пород и на добыче угля работают гидравлические экскаваторы типа обратная лопата с ковшем вместимостью 2,5 куб. м в комплексе с автосамосвалами общего назначения грузоподъемностью 30-35 т. На Большесырском месторождении на перевалке вскрышных пород в выработанное пространство используют драглайны ЭШ-10/70. Отметим, что экскаваторно-автомобильные комплексы характеризуются значительной мобильностью и позволяют оперативно решать множество задач при ведении открытых горных работ.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА ДВУХПЛАСТОВЫХ МУЛЬДООБРАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ

Особенностью строения мультислойных угольных месторождений является наличие трех секторов с различающимися горно-геологическими характеристиками: в границах сектора АВ угольные пласты погружаются в угленосную толщу, в секторе ВС (замковая часть мульды) угольные пласты залегают горизонтально, и в секторе CD угольные пласты залегают под наклоном в направлении от замковой части мульды к земной поверхности (рис. 1).

На рис. 1 линиями красного цвета показаны конфигурации рабочего борта карьера на разных этапах отработки месторождения угля. Важнейший показатель работы любого карьера – текущий коэффициент вскрыши, имеющий два аспекта технологического и экономического характера, существенно различается по этапам открытой разработки мультислойных месторождений угля. При работе карьера в секторе АВ объем выемки вскрышных пород будет ежегодно увеличиваться до подхода дна карьера (точка Е) к замковой части месторождения (точка В), что будет постоянно приводить к увеличению текущего коэффициента вскрыши по линейной зависимости с положительными коэффициентами в уравнении при его аналитическом определении. В этом положении конфигурация борта карьера определяется линией EF.

Увеличение глубины карьера в случае принятия технологических регламентов горных работ (высота уступа, ширина рабочих площадок) в секторе отрезка АВ ближе к точке А без их изменения приведет к снижению запаса устойчивости рабочего борта на середине этого отрезка и ближе к точке В. Классические подходы к определению геометрических параметров рабочего борта карьера при его движении и вследствие этого увеличении его глубины приведут к изменению во времени коэффициента запаса устойчивости рабочего борта в сторону его уменьшения.

Далее горные работы развивают в условиях отработки угольных пластов в замковой части на отрезке ВС. На этом отрезке не происходит увеличение глубины карьера, а вследствие этого коэффициент запаса устойчивости его борта будет иметь постоянное значение. При отработке замковой части мультислойного месторождения угля уровень текущего коэффициента вскрыши изменений не претерпевает и находится на уровне, достигнутом в точке В (рис. 2). Исключение составляет этап отработки месторождения в замковой части перед началом производства горных работ в секторе CD.

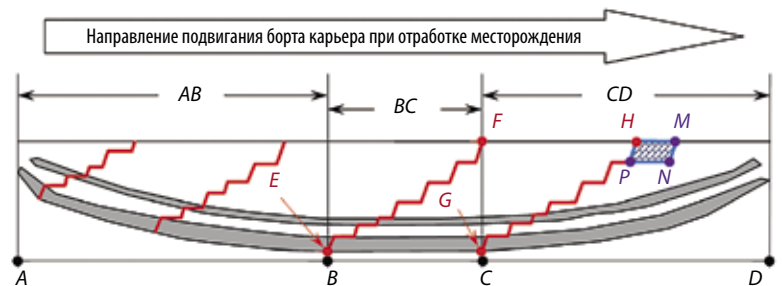


Рис. 1. Схема геологического строения мультислойного угольного месторождения с выделением технологических секторов
Fig. 1. A schematic representation of the geological structure of a synclinal two-seam coal deposit with identification of technological sectors

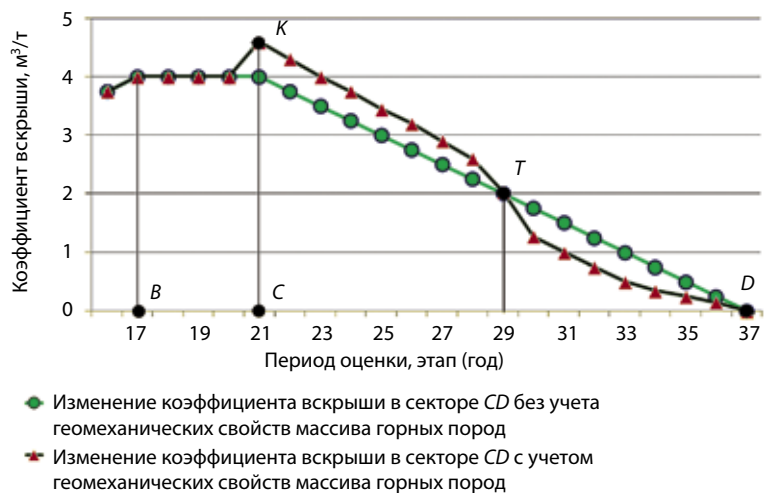


Рис. 2. Изменение текущего коэффициента вскрыши при открытой разработке мультислойного угольного месторождения в замковой части и в секторе восстания угольных пластов
Fig. 2. Changes in the current stripping ratio during the open-pit development of a synclinal coal deposit in the turn part and in the rising section of the coal seams

При подходе нижнего добычного уступа к точке *C* (см. рис. 1) на угледобывающем предприятии дальнейшее развитие горных работ может производиться по двум альтернативным вариантам: продолжать разноску рабочего борта карьера в принятом направлении от точки *A* к точке *D*, либо произвести вскрытие угольных пластов вдоль выхода неразрабатываемого крыла мульды под наносы. В последнем варианте необходимы финансовые вложения не менее 550 млн руб. на горно-капитальные работы по строительству разрезной траншеи (вертикальное сечение разрезной траншеи – 900 м² при длине 2000 м), в контурах которой будет произведена выемка вскрышных пород до кровли верхнего угольного пласта и из которой будет производиться понижение горных работ с целью вскрытия верхнего, а в дальнейшем нижнего угольных пластов. При развитии горных работ по этому варианту в направлении от точки *D* к точке *A* изменение уровня текущего коэффициента вскрыши будет определяться линейной зависимостью, как и в случае определения этого показателя на отрезке *AB*, где угольные пласты погружаются в угленосную толщу. Заранее будем считать этот вариант проигрышным, поскольку его реализация сопряжена с поиском и освоением значительных финансовых и других ресурсов.

По второму – рабочему варианту деятельности угледобывающего предприятия на отрезке *CD* начинается период работы карьера, на протяжении которого горные работы будут развиваться по восстанию угольных пластов. Конфигурация рабочего борта при прохождении нижним добычным уступом точки *C* показана линией *GH*. В этом секторе угольные пласты расположены в толще горных пород таким образом, что угол, образованный линией откоса борта карьера и линией подошвы нижнего угольного пласта, значительно меньше аналогичного показателя в секторе *AB*, что приводит к значительному снижению уровня коэффициента запаса устойчивости рабочего борта карьера.

Для снижения вероятности деформации борта карьера необходимо производить опережающую выемку вскрышных пород. Этот объем вскрышных работ выполняют на верхнем вскрышном уступе, а в некоторых случаях – на группе верхних вскрышных уступов для разгрузки рабочего борта карьера и повышения его устойчивости. В нашем исследовании на рис. 1 контур опережающей выемки вскрышных пород на верхнем уступе показан фигурой с точками *HMNP*. Для более наглядного понимания практической реализации второго варианта отработки угольного месторождения в секторе восстания угольных пластов были получены зависимости изменения текущего коэффициента вскрыши без учета опережающей выемки вскрышных пород на верхнем уступе и с учетом более интенсивной экскавации вскрышных пород на верхнем уступе (см. рис. 2). Рост коэффициента вскрыши в точке *K* объясняется тем, что при подходе дна карьера к точке *C* заранее и с опережением по времени необходимо выполнить объем вскрышных работ с целью снятия нагрузки на нижние уступы и повышения коэффициента запаса устойчивости рабочего борта карьера. В ходе математического

моделирования установлено, что изменение коэффициента вскрыши при работе карьера в секторе восстания угольных пластов на отрезках [*KT*] и [*TD*] определяется полиномами до четвертой степени, при этом величина достоверности аппроксимации (R^2) равна 0,9903.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При открытой разработке мульдообразных двухпластовых угольных месторождений исследование режима горных работ необходимо проводить дифференцированно с учетом особенностей производства горных работ по падению и восстанию угольных пластов, а также в замковой части месторождений. Регулирование режима горных работ на мульдообразных двухпластовых угольных месторождениях в сложных геомеханических условиях производится на основе устанавливаемых зависимостей между углом пространственного расположения угольных пластов в угленосной толще и объемом вскрышных работ, обеспечивающих производство безопасного ведения добычных работ, обеспечивающих необходимый объем выемки угля. Изменение текущего коэффициента вскрыши при отработке мульдообразных угольных месторождений с учетом безопасного режима производства открытых горных работ в секторе погружения пластов в угленосную толщу и в замковой части находится в прямой зависимости от глубины разработки угленасыщенного участка, суммарной мощности пластов и физико-механических свойств отрабатываемых горных пород, а в секторе восстания угольных пластов изменение этого показателя определяется полиномами до четвертой степени.

Список литературы • References

1. Геомеханические проблемы отработки нижних горизонтов месторождения Южное (Приморский край) / М.А. Ломов, А.В. Сидляр, А.В. Константинов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12-2. С. 87-99. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-122-0-87. Lomov M.A., Sidlyar A.V., Konstantinov A.V., Grunin A.P. Geomechanical challenges of mining the lower levels of the Yuzhnoye deposit (Primorsky Krai). *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2023; (12-2):87-99. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-122-0-87.
2. Protosenya A.G., Belyakov N.A., Bouslova M.A. Modelling of the stress-strain state of block rock mass of ore deposits during development by caving mining systems. *Journal of Mining Institute*. 2023;(262):619-627.
3. Анализ обрушения бортов на железорудном карьере Уэнса в Северо-Восточном Алжире методом конечных элементов: причины и выводы для контроля устойчивости / Ф. Бельгелиль, М. Фредж, А. Саадун и др. // Записки Горного института. 2024. Т. 268. С. 576-587. Belguelliel F., Fredj M., Saadoun A., Boukarm R. Finite element analysis of slope failure in Ouenza open-pit iron mine, NE Algeria: causes and lessons for stability control. *Zapiski Gornogo instituta*. 2024;(268): 576-587. (In Russ.).
4. Мустафин М.Г., Валькова Е.О. Маркшейдерско-геомеханическое обоснование методики наблюдений за деформациями бортов карьеров // Уголь. 2024;(7):55-61. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61.

- Mustafin M.G., Valkova E.O. Surveying and geomechanical justification for the methods of quarry sides deformations observation. *Ugol'*. 2024;(7):55-61. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61.
5. Опыт стабилизации оползневых процессов на Уртуйском разрезе / О.А. Исыянов, Д.И. Ильдеров, В.И. Супрун и др. // Горный журнал. 2021. № 1. С. 102-106.
Isyanov O.A., Ilderov D.I., Suprun V.I., Radchenko S.A. Experience of landslide processes stabilization at the Urtuyskiy strip mine. *Gornyj zhurnal*. 2021;(1):102-106. (In Russ.).
 6. Liren Ban, Zhigang Tao, Weisheng Du, Yuhang Hou. A consecutive joint shear strength model considering the 3D roughness of real contact joint surface. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2023;33(5): 617-624.
 7. Chang F., Li H., Don S., Yin H. Pre-, Co-, and Post-Failure Deformation Analysis of the Catastrophic Xinjing Open-Pit Coal Mine Landslide, China, from Optical and Radar Remote Sensing Observations. *Remote Sens*. 2025;(17):19. <https://doi.org/10.3390/rs17010019>.
 8. Kavvadas M., Roumpos C., Servou A., Paraskevis N. Geotechnical Issues in Decommissioning Surface Lignite Mines – The Case of Amyntaion Mine in Greece. *Mining*. 2022;(2):278-296. DOI: 10.3390/mining2020015.
 9. Akram Deiminiat, Jonathan D. Aubertin, Yannic Ethier. On the calibration of a shear stress criterion for rock joints to represent the full stress-strain profile. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024; 16(2):379-392. DOI: 10.1016/j.jrmge.2023.07.019.
 10. Jianhua Yan, Xiansen Xing, Zhihai Li et al. Development of a DFN-based probabilistic block theory approach for bench face angle design in open pit mining. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024;(16):3047-3062. DOI: 10.1016/j.jrmge.2024.02.028.
 11. <https://www.un.org/ru/climatechange/climate-ambition-summit>.

Authors information

Kiryushina E.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Zenkov I.V. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation, Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: zenkoviv@mail.ru

Conde A.S. – Mining engineer, RUSSKY ALUMINY LIMITED, Conakry, BP 6506, Republic of Guinea

Yuronen Yu.P. – PhD (Engineering), Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Mironova Zh.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Latyntsev A.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Raevich K.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Shtresler K.A. – Senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Redkin D.V. – Mining engineer, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.02.2025

Поступила после рецензирования: 28.02.2025

Принята к публикации: 25.03.2025

Paper info

Received February 10, 2025

Reviewed February 28, 2025

Accepted March 25, 2025



Шахта «Алардинская» возобновила работу



Шахта «Алардинская» Распадской угольной компании (РУК) возобновила работу. Для этого были проведены все необходимые технические и организационные мероприятия. Участок по добыче угля, где в декабре 2024 г. произошел экзогенный пожар, изолирован. Угрозы здоровью и жизни людей нет. Все системы обеспечения безопасного ведения горных работ функционируют в штатном режиме.

«Алардинская» – единственная шахта в составе РУК, добывающая коксующийся уголь марки КС. В настоящее время количество готовых к отработке промышленных запасов составляет свыше 420 млн т. Общая протяженность действующих выработок – более 70 км. Проектная мощность шахты – 3 млн т угля в год.

Пресс-служба РУК