

Применение камерной системы отработки угля в условиях обводнения пород приповерхностной зоны

Б. В. Хохлов, М. Д. Рожко✉

ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, Российская Федерация

✉ mdr6464@mail.ru

Резюме. На примере отработки 1-бис западной лавы пласта L_7 -Давыдовского шахты «Полтавская-Комсомольская № 1» описан выбор параметров камерной системы отработки запасов для условий приповерхностной зоны, осложненной неустойчивыми породами и обводнением массива. Рассмотрена возможность применения данной системы в качестве меры охраны подрабатываемых объектов поверхности.

Ключевые слова: камерная система, приповерхностная зона, обводнение массива, пустоты, устойчивость массива, обрушение, зона выветривания, ложная кровля, система разработки

Благодарности, признательность, финансирование: Исследования выполнены в рамках работы FRSR-2023-0006 «Исследование устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород».

Для цитирования: Хохлов Б.В., Рожко М.Д. Применение камерной системы отработки угля в условиях обводнения пород приповерхностной зоны. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(6):9-14. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-9-14>.

Application of a chamber coal mining system in conditions of watering of the surface zone rocks

B. V. Khokhlov, M. D. Rozhko✉

Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, Russian Federation

✉ mdr6464@mail.ru

Abstract. Using the example of the 1st “bis” western lava of the L_7 -Davydovsky seam at the Poltavskaya-Komsomolskaya No. 1 mine, the article describes the selection of parameters for the chamber system of reserves extraction for the conditions of the near-surface zone, which is complicated by unstable rocks and water flooding of the massif. The possibility of using this system as a measure to protect the surface objects being undermined is considered.

Keywords: chamber system, near-surface zone, massif waterlogging, voids, massif stability, collapse, weathering zone, false roof, mining system

Acknowledgments, funding, financial Support: The research was carried out within the framework of FRSR-2023-0006 Study of stability and transformation of the stress-strain state of flooded rock mass.

For citation: Khokhlov B.V., Rozhko M.D. Application of a chamber coal mining system in conditions of watering of the surface zone rocks. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(6):9-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-9-14>.

Введение

Выемка угля в приповерхностной зоне, для которой характерно наличие выветрелых и обводненных пород, затруднена многими факторами, наиболее значимым из которых является процесс провалообразования. Порода над

пустотами, образованными в результате выемки угля, обрушивается, что влечет за собой возникновение провалов на земной поверхности. Вследствие внезапности возникновения они представляют основную опасность для зданий и сооружений [1–4]. Ключевой задачей в горной науке является обеспечение

безопасности ведения горных работ при одновременном поддержании эффективности и рентабельности разработки. Особенно данная проблема актуальна для месторождений, находящихся в сложных горно-геологических условиях [5, 6].

Одним из способов защиты зданий и сооружений от негативного влияния горных работ является рациональное расположение и изменение параметров выработок. В 2005–2006 годах по рекомендациям РАНИМИ в приповерхностной зоне была отработана 1-бис западная лава пласта I_7 -Давыдовский шахты «Полтавская-Комсомольская № 1». В зоне влияния оказались автодорога и водовод. При отработке запасов была применена камерная система разработки.

В России камерная система применяется на некоторых шахтах на участках с ограниченными запасами и сложными горно-геологическими условиями [7–12]. Сущность этой системы разработки заключается в том, что выемку полезного ископаемого ведут в длинных узких выработках (камерах), проводимых от главных (панельных) штреков до границ блока или панели. При проходке камер формируются целики, которые гасятся обратным ходом. Параметры панели, целиков и камер определяются исходя из конкретных горно-геологи-

ческих условий. В 2025 году был выполнен комплекс экспериментальных и модельных исследований по калибровке ранее полученных характеристик и параметров геомеханических процессов, протекающих в обводненных горных массивах, где использовались результаты работы прошлых лет.

Цель исследований: выбор системы разработки и ее оптимальных параметров для обеспечения устойчивости массива и охраны объектов поверхности.

Объект исследований

Особенности геологического и гидрогеологического строения участка

Данный участок расположен на небольшой глубине, в среднем 35–40 м. В геологическом отношении он занимает центральную (замковую) часть Чистяковской синклинали, где в ее строении принимают участие осадочные породы среднего отдела карбона, представленные свитой C_2^6 – «Алмазная».

Каменноугольные отложения почти повсеместно перекрыты более поздними четвертичными отложениями (почвенно-растительный слой, а ниже – желто-бурые лёссовидные суглинки с известковыми включениями) мощностью от 2 до 5 м (рис. 1, 2).

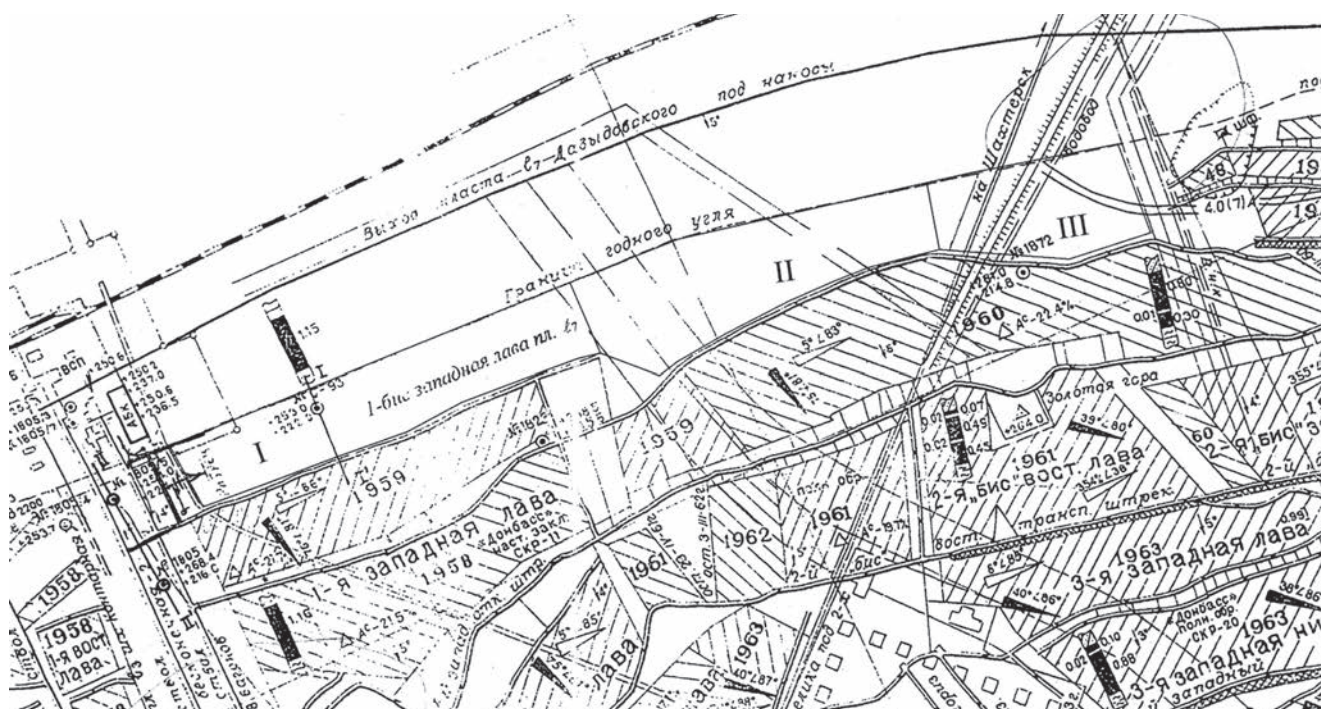


Рис. 1. Фрагмент плана горных выработок пласта I_7 / Fig. 1. Fragment of the mining workings plan of seam I_7

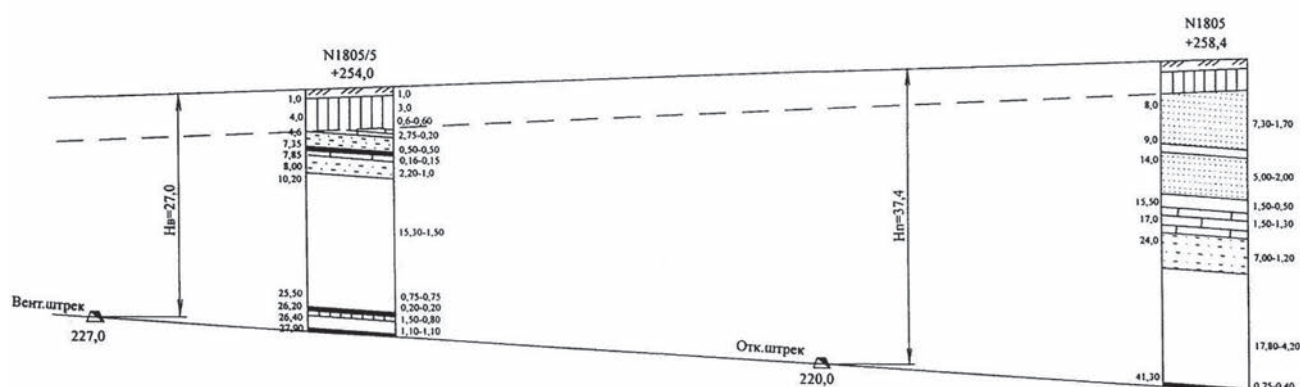


Рис. 2. Фрагмент геологического разреза по скважинам № 1805/5 и 1805 / Fig. 2. Fragment of the geological section for wells No. 1805/5 and 1805

Простираение пород – северо-западное, падение – северо-восточное под углом 4–5°. Общий уклон поверхности – с севера на юг. На участке крупных тектонических нарушений не выявлено, имеются мелкие локальные размывы пласта, и в 450 м от вспомогательного наклонного ствола отмечается смещение пласта I_7 -Давыдовский на высоту 1,8 м.

Пласт – у осевой части Чистяковской синклинали, характеризуется сложной гипсометрией (изменение элементов залегания, обратное падение).

Условия отработки пласта I_7 , а также условия поддержания очистных и подготовительных горных выработок – сложные, что обусловлено наличием в зоне I (рис. 1) ложной и неустойчивой кровли, а также локальных размывов пласта. Толща горных пород на большей части участка представлена слабыми неустойчивыми породами, ранее подработанными горными работами шахты «Контарная». Осложняющим фактором является также расположение участков горных работ в зоне выветривания.

В связи с тем, что пласт I_7 подработан очистными работами бывшей шахты «Контарная», вода из него дренирует и попадает в водосборники горизонта пласта I_3 шахты «Винницкая». Из-за небольшой глубины возможно поступление в шахту поверхностных вод и возникновение крупных трещин.

На поверхности планируемого к отработке участка (рис. 1) имеется автодорога пос. Стожковское – г. Шахтерск, асфальтированная, двухрядная 6,0 (12) А, и водовод пластиковый ПНД диаметром 200 мм, уложенный в песок. Эти объекты находятся в конце выемочного поля над зоной III (рис. 1), где породы кровли являются наиболее устойчивыми. При применении камерной системы отработки запасов влияние подработки на них будет незначительным.

Методика исследований

При ведении горных работ на малых глубинах существенную опасность представляет возможность образования провалов земной поверхности над горными выработками. Это может происходить в любой период эксплуатации шахты под влиянием обрушения покрывающих пород и активизироваться при наличии ослабленных водонасыщенных пород [13–16].

Над очистными выработками при разработке пологих пластов провалы не образуются при условии, регламентированном ГСТУ 101.00159226.001-2003. «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом»:

$$H_b \geq 20 m,$$

где H_b = 29,5 м – глубина верхней границы выработки, m = 1,15 м – вынимаемая мощность пласта. $29,5 \geq 20 \cdot 1,15 = 23$ м. Следовательно, над очистной выработкой провалы образовываться не будут.

В то же время над конвейерным штреком провалы возможны, так как на пологих пластах образуются при условии

$$H_k < 15h_b \cdot k_n,$$

где H_k – расстояние по вертикали от кровли выработки до контакта коренных пород с наносами, м; k_n – коэффициент,

зависящий от строения и крепости пород, $k_n = 1,2$; $h_b = 2,5$ м – высота выработки.

Для условий 1-бис западной лавы: $H_k = 15 \cdot 2,5 \cdot 1,2 = 45$ м.

Угольные пласты на неглубоких горизонтах под действием различных физико-химических факторов изменяют качественные показатели, окислению подвергаются и вмещающие породы, которые приобретают трещиноватость, рыхлость, слабость и неустойчивость. С глубиной степень окисления уменьшается, и породы сохраняют свойственную им устойчивость [17–20].

Выемка угля производится на небольшой глубине, в приповерхностной зоне, поэтому данные о фактических физико-механических свойствах угля и вмещающих горных пород были уточнены путем исследования проб из непосредственной и основной кровли пласта I_7 .

Результаты исследований и их обсуждение

На основе многофакторного анализа условий отработки угля, а также результатов исследований разных лет установлено, что на данном участке рационально применение камерной системы отработки запасов.

Ложная кровля на отрабатываемом участке осложняет крепление выработок. В некоторых случаях невозможно поддерживать такую кровлю. Таким образом, ложная кровля ограничивает выбор типа крепи. Так, крепи с прямолинейным верхняком эффективны только при наличии достаточно устойчивого плоского обнажения кровли в забое. При наличии же неустойчивой кровли, а также неконтролируемых вывалов породы применение таких крепей нецелесообразно. Если же мощность неустойчивой пачки непосредственной кровли невелика, то применение крепей с прямолинейным верхняком возможно при условии полного извлечения пачки непосредственной кровли. В этом случае прямолинейный верхняк устанавливается под устойчивое плоское обнажение вышележащей пачки.

Общее подвигание фронта работ – от границы к наклонным стволам с последовательным погашением отработанной камеры и соответствующего участка штрека.

Граничным значением подвигания камеры является условие, когда вывалы пород кровли приобретают систематический характер, что служит сигналом остановки забоя.

Рекомендуемая плотность установки крепежных рам по восстановлению равна 1,25 рам/пог. м (шаг установки – 0,8 м), на осложненных участках – 2 рамы/пог. м (шаг установки – 0,5 м).

Расчет устойчивости межкамерных целиков выполнен в соответствии с [21–23] с учетом ложной кровли для каждой из трех зон (рис. 1). В результате определены допустимые размеры целиков:

- зона I – 3,0–3,8 м;
- зона II – не менее 2,8 м;
- зона III – не менее 2,5 м.

Заключение

1. Участок шахты «Полтавская – Комсомольская №1», на котором по пласту I_7 -Давыдовский производится выемка угля, расположен в зоне выветрелых обводненных пород, что значительно усложняет процесс добычи угля.

К осложняющим отработку также относятся следующие факторы:

– наличие ослабленных пород;
 – небольшая глубина горных работ (в среднем 25–30 м);
 – обводненность угля и вмещающих пород, которые обусловлены притоком поверхностных вод, особенно в межсезонье.

2. Рассматриваемые условия выемки угля не охватываются действующими нормативными документами в части выбора системы разработки, типа и параметров крепления.

3. Приведенные выше особенности на практике означают, что принимаемые технические решения имеют индивидуальный, нестандартный характер, а также накладывают ряд ограничений прежде всего при выборе общей схемы и порядка отработки, типа крепи, параметров ее установки, средств и способа охраны.

4. В данных условиях сделан вывод о необходимости использования камерной системы разработки, что главным образом обусловлено наличием неустойчивой кровли.

5. Оработка запасов в приповерхностной зоне ведется по восстанию камерами, длина которых зависит от устойчивости нижней пачки непосредственной кровли, допускающей установку верхняка под плоское обнажение (значительные неконтролируемые вывалы пород).

Параметры системы разработки в соответствии с проведенными расчетами [20–23] следующие:

Ширина камер – до 5 м.

Ширина целиков между камерами – от 2,5 до 3,8 м на различных участках в соответствии с проведенными расчетами

[23], а также КД 12.01.01.503-2001¹ и «Инструкцией по выбору рамных податливых крепей»².

Плотность установки крепи – 1,25 рамы/пог. м, на осложненных участках – 2 рамы/пог. м.

Конвейерный штрек под участком водовода и дорогой Стожково – Шахтерск полностью закладывается породой без извлечения крепи.

6. Камерная система отработки в России распространена на участках добычи, где выемка длинными столбами нерентабельна. Специалисты РАНИМИ предлагают использовать камерную систему разработки с оптимальными параметрами, разработанными РАНИМИ, на небольших глубинах в условиях выветрелых и обводненных пород в качестве меры охраны подрабатываемых объектов поверхности. Данный вывод подкреплен результатами инструментальных наблюдений за состоянием водовода и автомобильной дороги.

¹ КД 12.01.01.503-2001 Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство / ДонУГИ. Минтопэнерго Украины. Киев, 2002.

KD 12.01.01.503-2001 Roof management and support in mining faces on coal seams with a dip angle of up to 35°. Manual DonUGI. Ministry of Fuel and Energy of Ukraine. Kiev, 2002 (In Russ.).

² Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. Издание 2-е, перераб. и дополн. / Минуглепром СССР: Утв. 30.04.91. Разраб. ВНИМИ. Санкт-Петербург, 1991. 126 с. Instructions for selecting frame flexible supports for mine workings. Second edition, revised and expanded / Minugleprom USSR: Approved on 30.04.91. Developed. VNIMI. St. Petersburg, 1991: 126. (In Russ.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Казанин О.И., Мустафин М.Г., Мешков А.А. Анализ причин провалов земной поверхности при отработке угольного пласта Байкамский на шахте «Красноярская» «ОАО СУЭК – КузБАСС». *ГИАБ*. 2013: 257-261
Kazanin O.I., Mustafin M.G., Meshkov A.A. Analysis of the Causes of Ground Surface Failures during the Development of the Baikamsky Coal Layer at the Krasnoyarskaya Mine of OAO SUEK-KuzBASS. *GIAB*. 2013: 257-261. (In Russ.).
2. Хохлов Б.В., Рожко М.Д. Апробация нового подхода к прогнозу провалообразования в приповерхностной зоне обводненных массивов. *Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: материалы 6-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого, посвященная 300-летию Российской академии наук, Москва, 17–21 июня 2024 г.* Москва, 2024: 52-55
Khokhlov B.V., Rozhko M.D. Testing a new approach to predicting sinkhole formation in the near-surface zone of water-saturated massifs. *Problems and Prospects of Comprehensive Development and Preservation of the Earth's Subsoil: Proceedings of the 6th Conference of the international scientific school of Academician of the Russian Academy of Sciences K.N. Trubetskoy, dedicated to the 300th Anniversary of the Russian Academy of Sciences, Moscow, June 17-21, 2024.* Moscow, 2024: 52-55. (In Russ.).
3. Барях А.А., Девятков С.Ю. Геомеханическая оценка условий образования провалов на земной поверхности на участке прорыва пресных вод в калийный рудник. *Горный журнал*. 2018; 6: 17-21.
Baryakh A.A., Devyatkov S.Yu. Geomechanical Assessment of the Conditions for the Formation of Dips on the Earth's Surface at the Site of Freshwater Breakthrough into a Potassium Mine. *Mining Journal*. 2018; 6: 17-21. (In Russ.).
4. Бажутин П.И., Щербakov С.В. Определение возможных сценариев провалообразования и прогнозирование диаметра карстовых провалов. *Инженерная геология*. 2024; XIX (2): 6-16.
Bazhutin P.I., Shcherbakov S.V. Identification of possible sinkhole formation scenarios and prediction of the diameter of karst sinkholes. *Engineering Geology*. 2024; XIX (2): 6-16. (In Russ.).
5. Yang H., Kim W., Ali M. Performance of pillar design in underground stone mines that include discontinuities. *Geosystem Engineering*. 2012; 15 (3): 187-194. <https://doi.org/10.1080/12269328.2012.704160>.
6. Zhang W., Kong X., Kang T., et al. Research on reasonable size of large coal pillar between panels at mining face with soft surrounding rock. *Min. Res. Dev.* 2013; 33: 14-17.
7. Филатов Ю.М., Семенцов В.В., Прокопенко С.А. и др. Повышение эффективности и безопасности отработки целиков при камерно-столбовой системе отработки угольных пластов. *Уголь*. 2018; 12: 16-20.
Filatov Yu. M., Semyontsov V.V., Prokopenko S.A., et al. Improving the efficiency and safety of pillar mining in the chamber-pillar system of coal seam mining. *Coal*. 2018; 12: 16-20. (In Russ.).
8. Шухлин В.А. Обоснование параметров камерно-столбовой системы разработки при отработке пологопадающих угольных пластов. *Записки горного института*. 2009; 181: 55-57.
Shukhlin V.A. Substantiation of parameters of the chamber-pillar system of development during the mining of gently sloping coal seams. *Notes of the Mining Institute*. 2009; 181: 55-57. (In Russ.).
9. Харисов Т.Ф., Харисова О.Д. Геомеханическое обоснование параметров устойчивых камер и целиков в сложных горно-геологических условиях. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019; 330 (7): 25-33.

- Kharisov T.F., Kharisova O.D. Geomechanical substantiation of parameters of stable chambers and pillars in difficult mining and geological conditions. *News of Tomsk Politekhnic University. Inzhiniring georesursov*. 2019; 330 (7): 25-33 (In Russ.).
10. Nomikos P.P., Sofianos A.I. An analytical probability distribution for the factor of safety in underground rock mechanics. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2011; 48 (4): 597-605. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2011.02.015>.
11. Семенов В.В., Осминин Д.В., Добровольский М.С. и др. Исследование технологии безопасной отработки угля при камерно-столбовой системе в зарубежных шахтах. *Вестник НЦ ВостНИИ*. 2019; 4: 35-56.
Sementsov V.V., Osminin D.V., Dobrovolsky M.S., et al. Research of the Technology of Safe Coal Mining under the Chamber-pillar System in Foreign Mines. *Bulletin of the Scientific Center of VostNI*. 2019; 4: 35-56. (In Russ.).
12. Семенов В.В., Добровольский М.С., Нифанов Е.В. и др. Исследование технологии безопасной отработки угля при камерно-столбовой системе в российских шахтах: Обзор. *Вестник НЦ ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2018; 4: 5-23.
Sementsov V.V., Dobrovolsky M.S., Nifanov E.V., et al. Research of the Technology of Safe Coal Mining under the Chamber-pillar System in Russian Mines. Review. *Bulletin of the Research Center for Industrial and Environmental Safety*. 2018; 4: 5-23 (In Russ.).
13. Минь Ч. Т. Влияние подземных вод на устойчивость приповерхностных выработок. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2021; 1: 195-207.
Min Ch. T. Influence of Underground Pits on the Stability of Near-Surface Mines. *News of Tula State University. Earth Sciences*. 2021; 1: 195-207. (In Russ.).
14. Звягильский Е.Л., Минаев А.А., Назимко В.В. и др. Геомеханические основы предотвращения провалов земной поверхности при ликвидации шахт. Донецк, 2001: 334.
Zvyagilsky E.L., Minaev A.A., Nazimko V.V., et al. Geomechanical Foundations of Preventing Earth Surface Failures during Mine Liquidation. Donetsk, 2001: 334 (In Russ.).
15. Karfakis M. G., Topuz E. Post mining subsidence abatements in Wyoming abandoned coal mines. *Mining Science and Technology*. 1991; 12: 215-231.
16. Хохлов Б.В., Дрибан В.А., Голдин С.В. и др. Методика построения и обследования зон, опасных по провалам. *Труды РАНИМИ: сб. науч. тр.* Донецк, 2019; 7 (22): 142-157.
Khokhlov B.V., Driban V.A., Goldin S.V., et al. Methodology for Constructing and Surveying Areas at Risk of Failure. *Proceedings of the Russian Academy of Natural Sciences and Mineral Resources: Collection of Scientific Papers*. Donetsk, 2019; 7 (22): 142-157. (In Russ.).
17. Hawkes C.D. Assessing the mechanical stability of horizontal boreholes in coal. *Canadian Geotechnical Journal*. 2011; 44 (7): 797-813. <https://doi.org/10.1139/t07-021>.
18. Дмитрак Ю.В., Голик В.И., Венигор В.В. Геомеханические предпосылки сохранения устойчивости выработок при разработке водообильных месторождений. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2018; 1: 221-226.
Dmitrak Yu.V., Golik V.I., Venigor V.V. Geomechanical prerequisites for maintaining the stability of workings during the development of water-rich deposits. *Proceedings of Tula State University. Earth Sciences*. 2018; 1: 221-226 (In Russ.).
19. Терлецкий А.М., Рожко М.Д. Изменение упругих характеристик горных пород при затоплении горных выработок. *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых; под. ред. акад. К.Н. Трубецкого*. Москва, 2019: 82-85.
Terletsky A.M., Rozhko M.D. Changes in the elastic characteristics of rocks during flooding of mine workings. *Problems of subsoil development in the XXI century through the eyes of the young; ed. Academician K.N. Trubetsky*. Moscow, 2019: 82-85. (In Russ.).
20. Ревва В.Н., Васютин В.В., Крижановская Л.Н. Критерий развития трещин в твердых телах. *Труды РАНИМИ: сб. науч. тр.* Донецк, 2023; 20-21 (35-36): 112-118.
Revva V.N., Vasyutina V.V., Krizhanovskaya L.D. The criterion of the development of cracks in solid bodies. *Proceedings of the RANIMI: collection of scientific papers*. Donetsk, 2023; 20-21 (35-36): 112-118 (In Russ.).
21. Дрибан В.А., Хохлов Б.В., Южанин И.А., и др. Расположение, охрана и поддержание горных выработок на угольных шахтах Донецкого бассейна. Донецк, 2021: 266.
Driban V.A., Khokhlov B.V., Yuzhanin I.A., et al. Location, protection, and maintenance of mine workings in coal mines of the Donetsk basin. Donetsk, 2021: 266. (In Russ.).
22. Дрибан В.А. Определение оптимальных параметров камерной отработки угольных пластов. *Проблемы горного давления*. 2001; 5: 90-107.
Driban V.A. Determination of the optimal parameters of chamber mining of coal seams. *Problems of rock pressure*. 2001; 5: 90-107. (In Russ.).
23. Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С. и др. Теория защитных пластов. Москва, 1976: 223.
Petukhov I.M., Linkov A.M., Sidorov V.S., et al. Theory of Protective Layers. Moscow, 1976: 223. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS



Борис Валентинович Хохлов –
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, заведующий отделом
горного давления, ФГБНУ «Республиканский
академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт
горной геологии, геомеханики, геофизики и
маркшейдерского дела», г. Донецк, Российская
Федерация; e-mail: hbv@bk.ru

Boris V. Khokhlov –
Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of
Rock Pressure Department, Republican Academic
R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics,
Geophysics and Mine Surveying (RANIMI),
Donetsk, Russian Federation; e-mail: hbv@bk.ru



Марина Дмитриевна Рожко –
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник отдела горного давления,
ФГБНУ «Республиканский академический
научно-исследовательский и проектно-
конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского
дела», г. Донецк, Российская Федерация; e-mail:
mdr6464@mail.ru

Marina D. Rozhko –
Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the
Department of Mining Pressure, Republican
Academic R&D Institute of Mining Geology,
Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying
(RANIMI), Donetsk, Russian Federation; e-mail:
mdr6464@mail.ru

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.10.2025

Поступила после рецензирования: 24.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 10.10.2025

Revised: 24.11.2025

Accepted: 26.11.2025