ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(12-1):134-142
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.014.5 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_134

ЦИФРОВОЙ МЕТОД В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ДОСТУПА К ГЕОРЕСУРСАМ

В.А. Федорин[1], О.А. Татаринова[1]

[1] Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН, Кемерово, Россия, e-mail: FedorinVA@ic.sbras.ru

Аннотация: Цифровизация сегодня становится формирующим фактором, который позволит горнодобывающим предприятиям в будущем оставаться конкурентоспособными. На сегодняшний день в отрасли сформировались направления, которые будут определять ее дальнейшее развитие, изменение спроса на угледобывающую продукцию, технологии и подходы к разработке полезных ископаемых, повышение безопасности горных работ, минимизацию вреда окружающей среде, оцифровку и оперативное изменение схем разработки, оптимизацию затрат и транспортной логистики, переработку продукции в месте добычи. Повышение эффективности технологических решений при освоении новых угольных месторождений в условиях сложного рельефа местности и повышенной угленасыщенности может быть достигнуто за счет разработки оптимизационной модели в методе доступа к георесурсам. Необходимость разработки данных методов продиктована отсутствием решения данной задачи для угледобывающих предприятий современного уровня (модульный шахтоучасток). Рассмотрен численный эксперимент на примере участка «Серафимовский», геологическая изученность которого не отвечает современным требованиям. Исследования, направленные на преобразование и совершенствование методов комплексного обоснования геотехнологических решений при освоении угольных месторождений являются актуальными. Новизна решений состоит в разработке единой концепции освоения угольного месторождения при сбалансированном сочетании технологической, экономической и экологической возможности рациональной отработки.

Ключевые слова: цифровой метод доступа, транспортная логистика, георесурсы, оптимизация, инфраструктура, угольное месторождение, шахта, добыча.

Для цитирования: *Федорин В. А., Татаринова О. А.* Цифровой метод в задачах оптимизации доступа к георесурсам // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12-1. – С. 134–142. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_134.

Digital method in the problems of georesourser accessibility optimization

V.A. Fedorin[1], O.A. Tatarinova[1]

[1] Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia, Russia, e-mail: FedorinVA@ic.sbras.ru

Abstract: Digitalization today is becoming a formative factor that will allow mining enterprises to remain competitive in the future. Nowadays, the industry has identified areas that will determine its further development, demand changes for coal mining products, technologies and approaches to the minerals extraction, improving mining safety practices minimizing environmental damage, digitizing and prompt changing development schemes, optimizing costs and transport logistics, product processing at the place of extraction. Increasing the efficiency of

© В.А. Федорин, О.А. Татаринова. 2022.

technological solutions in the development of new coal deposits in difficult terrain conditions and increased carbon saturation can be achieved through the engineering of an optimum model in the method georesurse accessibility. The need of develop these methods is dictated by the lack of a solution to this problem for modern coal mining enterprises (modular mine site). The article considers a numerical experiment on the example of the Serafimovskiy site, the geological knowledge of which does not meet modern requirements. Research aimed at transforming and improving the methods of comprehensive substantiation of geotechnological solutions in the development of coal deposits is relevant. The novelty of the solutions lies in the development of a unified concept for the mastering of a coal deposit with a balanced combination of technological, economic and environmental opportunities for rational mining.

Key words: digital access method, transport logistics, georesources, optimization, infrastructure, coal deposit, mine, mining.

For citation: Fedorin V.A., Tatarinova O.A. Digital method in the problems of georesourser accessibility optimization. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12-1):134-142. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_134.

Введение

Кемеровская область — Кузбасс занимает первое место среди субъектов Российской Федерации по разнообразию и уровню промышленного освоения полезных ископаемых. В Распоряжении Правительства РФ от 11.05.2022 № 1144-р [21] сказано, что актуальность разработки комплексного подхода в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения обусловлена тем фактом, что в промышленных масштабах проекты, обеспечивающие развитие угольной энергетики на базе чистых технологий, пока не внедряются.

Высокая степень индустриализации области, активное развитие отраслей промышленности данного региона привели к целому ряду проблем, связанных с интенсивной разработкой угольных месторождений. Существующие традиционные способы открытой и подземной разработки угля практически исчерпали ресурсы для повышения рентабельности и безопасности ведения горных работ, привели к резкому ухудшению экологической ситуации в регионе.

В этой связи особую актуальность приобретают безлюдные технологии угледобычи, внедрение цифровых технологий и продуктов отечественного производства в процессы угледобычи и мониторинга угледобычи для решения проблем транспортировки угля и сопутствующих экологических проблем. Цифровые технологии на сегодняшний день стали необходимостью для угольной промышленности. Цифровизация — это мировой тренд для любой отрасли [1—4]. Чем оптимальнее стратегия управления в организации производственной логистики на предприятии, тем выше будет эффективность производства при минимальных затратах.

Повышение эффективности происходит благодаря анализу и совершенствованию управленческих и проектных решений, комплексности извлечения полезных ископаемых, оптимизации транспортной логистики, обеспечения безопасности горных работ, при решении проблем окружающей среды [5—6]. Цифровые технологии уже сейчас позволяют угольной промышленности прово-

дить профилактику обвалов и оценку выполнения плана горных работ, осуществлять мониторинг мест добычи полезных ископаемых, отвалов породы. В современной экономической ситуации введения иностранных санкций на ввоз в Российскую Федерацию сырья глубокой переработки, оборудования и комплектующих актуальность разработки и реализации новых подходов и методов значительно возрастает.

Согласно Программе развития производства угольных предприятий России до 2035 г. [22], проводится процесс организации центров угледобычи на новых угольных месторождениях с выгодными горно-геологическими условиями. Одной из проблем при освоении месторождений является отсутствие транспортной инфраструктуры в новых районах будущей добычи, а также современных подходов к процессам вскрытия угольных месторождений и методов доступа к запасам полезного ископаемого. Необходимо предусмотреть ускорение развития логической инфраструктуры угледобывающих предприятий на основе проработки транспортной логистики способов вскрытия и методов доступа к георесурсам, с оцифровкой недр и поверхности.

Проблема данных исследований состоит в том, что все существующие методы по вскрытию угольных месторождений в основном рассчитаны для шахт с несколькими очистными забоями без совместного учета характеристики поверхности и характера залегания угольных пластов в недрах. Существующие методы по определению доступа к георесурсам (метод вариантов, метод изолиний, метод аналогий) не отвечают современным требованиям и нуждаются в усовершенствовании. Среди графических методов метод изолиний имеет существенное преимущество, а именно — изображения закона изменения затрат в зависимости от изменения местоположения ствола шахты. Для решения задач логистики важным инструментом являются методы математического программирования. В Кемеровской области подземная добыча на 80% ведется горными предприятиями, имеющими один очистной забой (модульная горно-технологическая структура), основой модульной структуры шахты является выбор места заложения промплощадки главного ствола шахты.

В качестве рационального местоположения производственных объектов на поверхности и под землей предложен подход, базирующийся на идее доктора технических наук В.Д. Ялевского [7].

Это выбор местоположения коммуникационного коридора на поверхности и прилегание новых коммуникаций к существующим при освоении новых мест добычи полезных ископаемых методом динамического программирования.

Повышение производственной эффективности решений по расположению технологических объектов на поверхности угледобывающего предприятия в условиях непростого рельефа местности и повышенной угленасыщенности месторождения может быть достигнуто за счет разработки оптимизационной модели в методе доступа к полезным ископаемым для рационального размещения коммуникационного коридора.

Метод

В результате анализа, определяющего влияние факторов, выделены наиболее существенные из них и получена оптимизационная модель следующего вида:

$$F_j = \min_j \left\{ f_{ij} + F_j \right\}, \quad i > j, \; i = 1, \ldots, N \quad (1)$$

$$f_{ij} = C_p \frac{L_{ij}}{\cos\left(\tan^{-1} K\right)} + C_g V_{ij} + E \times Q_{ij}, \quad (2)$$

где C_p — удельные затраты на строительство и эксплуатацию коммуникаци-

онного коридора, руб/м; C_g — удельные приведенные затраты на земляные работы, руб./м^3; L_{ij} — длина отрезка коммуникационного коридора, м; V_{ij} — объем земляных работ между i-й и j-й точками трассы, м^3; K — руководящий уклон для коммуникационного коридора; E — экономический ущерб от консервации запасов в целике под коммуникационный коридор, руб./т; Q_{ij} — объем консервируемых запасов угля, т.

С помощью метода динамического программирования топографическая поверхность $W(x, y, H) = 0$, отображаемая обычно в изолиниях, преобразуется в сетку электронной таблицы i-х столбцов и j-х строк при условии аддитивности функциональных связей $|dH(x, y)| < K$. Подробнее метод и сам подход описаны и опубликованы в монографии и статье, предложены авторами в качестве развития работ [8–9]. Также в ФИЦ УУХ СО РАН проводятся исследования по разработке оптимизационных задач [10–12].

Разработано алгоритмическое обеспечение в среде EXCEL для численной реализации метода доступа к георесурсам (рис. 1). Формирование транспортно-технологических характеристик размещения объектов на угольном месторождении производится в автоматизированном режиме работы в данной среде.

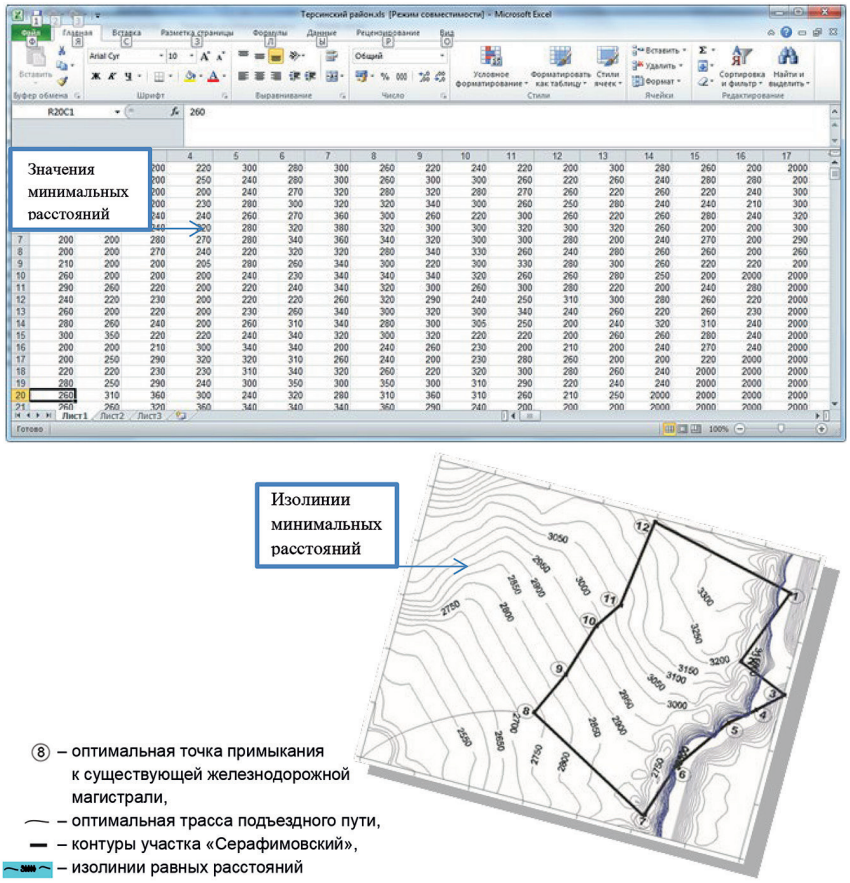

Рис. 1. Численная реализация модели построения поверхностных характеристик с изолиниями равных расстояний

Fig. 1. Numerical implementation of a model for constructing surface characteristics with contours of equal distances

Сам процесс счета в данном методе имеет следующий порядок: оцифровываем поверхность с разметкой «запретных зон» (здания, водоемы, сооружения, горы и т.д.); получаем данные с топографических карт; преобразовываем значения полученной координатной сетки в длины при учете руководящего уклона (для железнодорожного транспорта принимаем 0,01 рад); исходя из преобразованных значений строим поверхность минимальных длин (изолиний минимальных расстояний); находим на построенной поверхности точки примыкания с минимальными расстояниями и при сопоставлении нескольких вариаций выбираем оптимальную. На рельефе поверхности угольного месторождения получаем транспортно-технологическую характеристику.

Результаты

Итог данного исследования заключается в построении транспортно-технологической характеристики на поверхности территории участка «Серафимовский» Ушаковского месторождения, определении области прилегания подъездных путей к существующей железнодорожной магистрали, с минимальными расходами по грузоперевозкам наземным транспортом. Из рис. 1 понятно, что точка 8 является этой минимальной областью, таким образом, и промышленную площадку следует определять в этом месте. Характер распределения угля в недрах земли служит общей основой для транспортно-технологической характеристики. По характеру распределения и угленасыщенности полезного ископаемого в пластах будет получена подземная характеристика грузоперевозок на участке «Серафимовский». Совмещение поверхностной и подземной характеристик на участке даст нам полную картину для формирования транспортной инфраструктуры месторождения и определения места основных вскрывающих выработок угольной шахты [13].

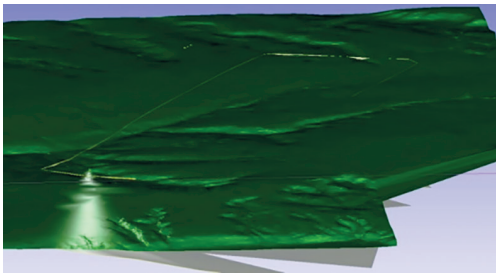

Рис. 2. Поверхность участка «Серафимовский» с оцифровкой в Mine Frame

Fig. 2. Surface of «Serafimovskiy» section with digitization in Mine Frame

Обсуждение результатов

Этот метод можно применять практически на любом рельефе поверхности, что дает возможность использовать его не только при компоновке комплекса поверхности шахты и создании угольных кластеров, но и при составлении технико-экономического обоснования строительства железных дорог, связывающих новые месторождения полезных ископаемых с центрами переработки сырья. Новизна работы заключается в совершенствовании метода доступа к участкам новых угольных месторождений за счет использования метода динамического программирования, получении закономерности взаимного влияния подземных и поверхностных грузоперевозок, а также очередности освоения выбранных участков, для более комплексного освоения и детального подхода.

При планировании и проектировании горных работ применяется модифицированная в Лаборатории для угольных месторождений программа системы Mine Frame 6.0. (рис. 2) (по Генеральному соглашению о научно-техническом сотрудничестве и совместной деятельности с ГоИ КФ РАН) [14]. Этот методический подход, обновляемый в ФИЦ Угля

и углехимии СО РАН, состоит в создании моделей объектов геотехнологии и их процессов оптимизации на основе технико-экономического анализа связанных с ними технологических процессов, включая технологический регламент взаимосвязанных производств.

На практике ценность математического моделирования заключается в эффективном решении задачи размещения технологических объектов на поверхности Ушаковского месторождения Кузбасса (участок «Серафимовский») на основе разработанного методического, алгоритмического и программного обеспечения.

Применение данного метода при освоении месторождений состоит в том, что его результаты дают возможность решать задачи местонахождения технологических объектов и коммуникационного коридора на поверхности, что позволяет значительно снизить экологическую нагрузку на природу, находить рациональное расположение подъездных путей для угледобывающего комплекса, определять множество подходящих трасс на поверхности месторождения под транспортные коммуникации, получать новые варианты размещения производственных объектов при новых ограничениях, определять первоочередные участки освоения новых угольных месторождений, находить области расположения главных вскрывающих выработок угледобывающего комплекса с учетом поверхностных и подземных характеристик, обосновывать и подтверждать геотехнологические решения при вскрытии угольных пластов с учетом еще более широкого ряда факторов.

В работе использован комплексный подход для определения оптимального местоположения технологических объектов и транспортных коммуникаций на топографической поверхности использован метод численного моделирования (динамического программирования), для визуализации и построения транспортно-технологической характеристики — метод горной геометрии (метод изолиний), для обоснования рациональных схем вскрытия и подготовки шахтных полей использован метод транспортно-технологических характеристик, для оценки рационального размещения технологических объектов на участках первой очереди угольного месторождения проведен численный эксперимент.

Заключение

Минимизируя затраты на строительство и эксплуатацию железных и автомобильных дорог, линий электропередачи, данный доступ обеспечивает эффективную работу угледобывающих производств мирового технико-экономического уровня [15–18]. При формировании затрат на транспортировку углей ситуация может измениться в лучшую сторону, что обеспечит угольным компаниям выход на рентабельный уровень и окажет позитивное влияние на повышение конкурентоспособности на внешнем рынке, позволяя добиться дальнейшего развития и создания новых эффективных производственных кластеров в Кузбассе, а также освоения новых центров угольной добычи в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке и дальнейшего изучения качественных характеристик углей и переработки угля в газ [19–20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гостева О. В.*, *Жереб Л. А.* Тренды цифровизации в угольной промышленности / Современные методы и инновации в науке. Сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научной конференции. — СПб., 2022. — С. 19—21. DOI: 10.37539/SMIN328.2022.35.38.001.

2. *Савон Д. Ю.*, *Шкарупета Е. В.*, *Сафронов А. Е.*, *Анисимов А. Ю.*, *Вихрова Н. О.* Цифровая трансформация производственных процессов и бизнес-моделей горнодобывающей промышленности в условиях рыночной нестабильности // Уголь. — 2021. — № 2(1139). — С. 32 — 37. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-32-37.

3. *Резник А. В.*, *Немова Н. А.*, *Карпов В. Н.* Цифровая трансформация месторождений на горнодобывающих предприятиях / Проблемы горного дела. Сборник научных трудов II Международного Форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, посвященного 100-летию ДонНТУ. — Донецк, 2021. — С. 176 — 184.

4. *Власюк Л. И.*, *Сиземов Д. Н.*, *Дмитриева О. В.* Стратегические приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли Кузбасса // Экономика в промышленности. — 2020. — Т. 13. — № 3. — С. 328 — 338. DOI: 10.17073/2072-1633-2020-3-328-338.

5. *Казанин О. И.*, *Мешков А. А.*, *Сидоренко А. А.* Перспективные направления развития технологической структуры угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 35 — 53. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.

6. *Тюленева Т. А.* Цифровизация горнодобывающей промышленности региона: проблемы и перспективы // Вестник Сургутского государственного университета. — 2020. — № 4(30). — С. 25 — 33.

7. *Ялевский В. Д.*, *Федорин В. А.* Модульные горнотехнологические структуры вскрытия и подготовки шахтных полей Кузбасса (Теория. Опыт. Проекты). — Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. — 224 с.

8. *Федорин В. А.*, *Татаринова О. А.* Основы метода доступа к георесурсам в задачах оптимизации транспортных характеристик освоения угольных месторождений подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 3. — С. 176 — 182. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-176-182.

9. *Стародубов А. Н.*, *Зиновьев В. В.*, *Патраков Ю. Ф.* Имитационная модель углеэнергохимического кластера // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 6(124). — С. 69 — 76. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-69-75.

10. *Клишин В. И.* Инновационные технологии и способы обеспечения повышения производительности и безопасности подземной угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № S48. — С. 52 — 63. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-48-52-63.

11. *Решетова Т. А.*, *Стародубов А. Н.* Разработка подсистемы моделирования проблемно-ориентированного имитатора сетей Петри для проектирования очистных работ на угольных шахтах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 4. — С. 182 — 189. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-182-188.

12. *Zinoviev V. V.*, *Starodubov A. N.*, *Nikolaev P. I.* Modular system of simulation modeling of conventional and robotic mining technologies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 773, no. 1, article 012067. DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012067.

13. *Татаринова О. А.* Обоснование метода доступа к участку угольного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 7. — С. 76 — 82. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-76-82.

14. *Федорин В. А.*, *Шахматов В. Я.*, *Михайлов А. Ю.* Комбинированный способ разработки угольных пластов Кузбасса на основе синтеза процессов ведения открытых и подземных горных работ // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2018. — № 1. — С. 32 — 40.

15. *Lollino G.*, *Giordan D.*, *Crosta G.*, *Corominas J.*, *Azzam R.*, *Wasowski J.*, *Sciarra N.* Engineering geology for society and territory. Vol. 2: Landslide processes. Springer, 2014, pp. 853 — 856. DOI: 10.1007/978-3-319-09057-3.

16. *Zhang X. G.*, *Ranjith P. G.*, *Perera M. S. A.*, *Ranathunga A. S.*, *Hague A.* Gas transportation and enhanced coalbed methane recovery processes in deep coal seams: A review // Energy & Fuels. 2016, vol. 30, no. 11, pp. 8832 — 8849. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b01720.

17. *Vlasyuk L. I.*, *Sizemov D. N.*, *Dmitrieva O. V.* Strategic priorities of digital transformation of coal industry of Kuzbass // Russian Journal of Industrial Economics. 2020, vol. 13, no. 3, pp. 328 — 338. DOI: 10.17073/2072-1633-2020-3-328-338.

18. *Khulukshinov D.* Transformation of the fuel and energy complex in the context of digitalization of the Russian economy // International Review. 2021, no. 3-4, pp. 36—41. DOI: 10.5937/intrev2103036K.

19. *Santanu De, Avinash Kumar Agarwal, Moholkar V. S., Bhaskar Thallada*. Coal and biomass gasification. Recent Advances and Future Challenges. Springer Nature Singapore Pte Ltd.: Singapore. 2018, p. 521. DOI: 10.1007/978-981-10-7335-9.

20. *Blinderman M. S.*, *Klimenko A. Y.* Underground coal gasification and combustion. Woodhead Publishing, 2017, pp. 329—362. DOI: 10.1016/C2014-0-03452-1.

21. *Распоряжение* Правительства РФ от 11.05.2022 № 1144-р. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205170018 (дата обращения 11.10.2022).

22. *Программа* развития производства угольных предприятий России до 2035 года / Прогноз научно-технологического развития отраслей ТЭК России на период 2035 г. URL: https://minenergo.gov.ru/view-pdf/6365/66647 (дата обращения 09.08.2021).

REFERENCES

1. Gosteva O. V., Zhereb L. A. Digitalization trends in the coal industry. *Sovremennye metody i innovatsii v nauke Sbornik izbrannykh statey Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchnoy konferentsii* [Modern methods and innovations in science. Collection of selected articles of the All-Russian (National) Scientific Conference], Saint-Petersburg, 2022, pp. 19—21. [In Russ]. DOI: 10.37539/SMIN328.2022.35.38.001.

2. Savon D. Yu., Shkarupeta E. V., Safronov A. E., Anisimov A.Yu., Vikhrova N. O. Digital transformation of production processes and business models of the mining industry in conditions of market instability. *Ugol'*. 2021, no. 2(1139), pp. 32—37. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-32-37.

3. Reznik A. V., Nemova N. A., Karpov V. N. Digital transformation of deposits at mining enterprises. *Problemy gornogo dela. Sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnogo Foruma studentov, aspirantov i molodykh uchenykh-gornyakov, posvyashchennogo 100-letiyu DonNTU* [Mining problems. Collection of scientific papers of the II International Forum of Students, Postgraduates and Young Mining Scientists dedicated to the 100th anniversary of DonNTU], Donetsk, 2021, pp. 176—184. [In Russ].

4. Vlasyuk L. I., Sizemov D. N., Dmitrieva O. V. Strategic priorities of the digital transformation of the coal industry in Kuzbass. *Ekonomika v promyshlennosti*. 2020, vol. 13, no. 3, pp. 328—338. [In Russ]. DOI: 10.17073/2072-1633-2020-3-328-338.

5. Kazanin O. I., Meshkov A. A., Sidorenko A. A. Perspective directions of development of the technological structure of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 35—53. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.

6. Tyuleneva T. A. Digitalization of the mining industry in the region: problems and prospects. *Surgut State University Journal*. 2020, no. 4(30), pp. 25—33. [In Russ].

7. Yalevskiy V. D., Fedorin V. A. *Modul'nye gornotekhnologicheskie struktury vskrytiya i podgotovki shakhtnykh poley Kuzbassa (Teoriya. Opyt. Proekty)* [Modular mining and technological structures for opening and preparing mine fields in Kuzbass (Theory. Experience. Projects)], Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 2000, 224 p.

8. Fedorin V. A., Tatarinova O. A. Principles of the method of getting access to georesources in transportation optimization problems in underground coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 3, pp. 176—182. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-176-182.

9. Starodubov A. N., Zinoviev V. V., Patrakov Yu. U. Simulation model of a coal-energy-chemical cluster. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017, no. 6(124), pp. 69—76. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-69-75.

10. Klishin V. I. Innovative technologies and ways to improve the productivity and safety of underground coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. S48, pp. 52—63. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-48-52-63.

11. Reshetova T. A., Starodubov A. N. Development of a subsystem for modeling a problem-oriented petri net simulator for designing coal mines. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017, no. 4, pp. 182 — 189. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-182-188.

12. Zinoviev V. V., Starodubov A. N., Nikolaev P. I. Modular system of simulation modeling of conventional and robotic mining technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 773, no. 1, article 012067. DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012067.

13. Tatarinova O. A. Evaluation of method to gain access to coal deposit areas. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 7, pp. 76 — 82. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-76-82.

14. Fedorin V. A., Shakhmatov V. Ya., Mikhailov A. Yu. Combined method of mining coal seams of Kuzbass based on the synthesis of open and underground mining processes. *Bulletin of the Scientific Center of VostNII on Industrial and Environmental Safety*. 2018, no. 1, pp. 32 — 40. [In Russ].

15. Lollino G., Giordan D., Crosta G., Corominas J., Azzam R., Wasowski J., Sciarra N. *Engineering geology for society and territory. Vol. 2: Landslide processes*. Springer, 2014, pp. 853 — 856. DOI: 10.1007/978-3-319-09057-3.

16. Zhang X. G., Ranjith P. G., Perera M. S. A., Ranathunga A. S., Hague A. Gas transportation and enhanced coalbed methane recovery processes in deep coal seams: A review. *Energy & Fuels*. 2016, vol. 30, no. 11, pp. 8832 — 8849. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b01720.

17. Vlasyuk L. I., Sizemov D. N., Dmitrieva O. V. Strategic priorities of digital transformation of coal industry of Kuzbass. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2020, vol. 13, no. 3, pp. 328 — 338. DOI: 10.17073/2072-1633-2020-3-328-338.

18. Khulukshinov D. Transformation of the fuel and energy complex in the context of digitalization of the Russian economy. *International Review*. 2021, no. 3-4, pp. 36 — 41. DOI: 10.5937/intrev2103036K.

19. Santanu De, Avinash Kumar Agarwal, Moholkar V. S., Bhaskar Thallada. *Coal and biomass gasification. Recent Advances and Future Challenges*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.: Singapore. 2018, p. 521. DOI: 10.1007/978-981-10-7335-9.

20. Blinderman M. S., Klimenko A. Y. *Underground coal gasification and combustion*. Woodhead Publishing, 2017, pp. 329 — 362. DOI: 10.1016/C2014-0-03452-1.

21. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 11.05.2022 № 1144-r*, available at: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205170018 (accessed 11.10.2022). [In Russ].

22. Programma razvitiya proizvodstva ugol'nykh predpriyatiy Rossii do 2035 goda. *Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya otrasley TEK Rossii na period 2035 g.*, available at: https://minenergo.gov.ru/view-pdf/6365/66647 (accessed 09.08.2021). [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федорин Валерий Александрович[1] — д-р техн. наук,
главный научный сотрудник, e-mail: FedorinVA@ic.sbras.ru,
Татаринова Оксана Андреевна[1] — ведущий инженер,
e-mail: TatarinovaOA@yandex.ru,
[1] Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН.
Для контактов: Федорин В.А., e-mail: FedorinVA@ic.sbras.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.A. Fedorin[1], Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher,
e-mail: FedorinVA@ic.sbras.ru,
O.A. Tatarinova[1], Leading Engineer, e-mail: TatarinovaOA@yandex.ru,
[1] Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 650065, Kemerovo, Russia.
Corresponding author: V.A. Fedorin, e-mail: FedorinVA@ic.sbras.ru.

Получена редакцией 25.03.2022; получена после рецензии 25.08.2022; принята к печати 10.11.2022.
Received by the editors 25.03.2022; received after the review 25.08.2022; accepted for printing 10.11.2022.