

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ РУДНИКА «КАРНАСУРТ» И СРОКА ЕГО СЛУЖБЫ

Агафонов В.В.¹, Козлова О.Ю.²

¹*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва;*

²*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва*

Ключевые слова: Ловозерское месторождение, запас полезных ископаемых, рудник, проектная мощность рудника, горнодобывающие предприятия, срок службы предприятия.

Аннотация. В результате аналитических исследований подтверждено, что в современных условиях недропользования научно-методическое обеспечение, производственные правила и оптимизационные процедуры в области детализации главенствующих параметров функциональной структуры горнодобывающих предприятий (производственной мощности и срока службы) не соответствуют предъявляемым требованиям надежности, информативности и объективности, что обусловлено немногочисленностью методологических подходов, большой сложностью решаемой задачи и значительной противоречивостью получаемых результатов., что порождает значительную степень риска принятия нерациональных решений. Выявлено и установлено, что удовлетворительная степень робастности в заявленной проблематичной области присуща аналитическому методологическому подходу, производственным правилам и итерационным процедурам, построенным на целевой функции математической модели проф. Малкина А.С. и Агафопова В.В. с учетом отображения в ней основополагающих факторов и характеристик, которые с надлежащей степенью вероятности приводят к максимизации рационального количественного значения мощности и срока службы горнодобывающего предприятия.

OPTIMIZATION OF THE MAIN PARAMETERS OF THE FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE KARNASURT MINE AND ITS SERVICE LIFE

Agafonov V.V.¹, Kozlova O.Yu.²

¹*National Research Technological University "MISIS", Moscow;*

²*MIREA – Russian University of Technology, Moscow*

Keywords: Lovozerskoye deposit, mineral reserve, mine, design capacity of the mine, mining enterprises, service life of the enterprise.

Abstract. As a result of analytical studies, it has been confirmed that in modern conditions of subsurface use, scientific and methodological support, production rules and optimization procedures in the field of detailing the main parameters of the functional structure of mining enterprises (production capacity and service life) do not meet the requirements of reliability, informativeness and objectivity, due to the small number of methodological approaches, the great complexity of the task being solved and significant inconsistency the results obtained., this creates a significant degree of risk of making irrational decisions. It was revealed and established that a satisfactory degree of robustness in the declared problematic area is inherent in the analytical methodological approach, production rules and iterative procedures based on the objective function of the mathematical model of Prof. Malkina A.S. and Agafonova V.V., taking into account the display of fundamental factors and characteristics in it, which with an appropriate degree of probability lead to maximizing the rational quantitative value of the capacity and service life of a mining enterprise.

Введение. В процессе проектирования горнотехнических систем основополагающей проблемой является обоснование и оптимизация основных параметров их функциональной структуры в качественном и количественном выражении, которые должны соответствовать современным тенденциям развития научно-технического прогресса с учетом технологических платформ и технических средств, требований к промышленно-экологической безопасности и социально-экономической среде. К ним, в первую очередь, следует отнести уровень производственной мощности и срок службы.

Производственные правила процедуры оптимизации параметров проектных решений при этом предусматривают наличие целевой функции и критерия оптимальности, которые в

наглядной интерпретации показывают и иллюстрируют эффективность инвестиционных вложений в проектирование, строительство и функционирование горнодобывающих предприятий.

При этом подчеркивается, что в основе целевой функции и критерия оптимальности должна быть заложена функция, позволяющая отслеживать негативные тенденции их изменения и оперативно на них реагировать, что предусматривает формирование целевой математической модели.

Содержательная часть. Проектная деятельность в области строительства горнодобывающих предприятий в обязательном порядке предусматривает наличие производственных правил, реализация которых позволяет установить количественные значения проектной производственной мощности и срока службы [1, 2].

Отклонения при их обосновании и расчете можно свести к двум составляющим. Первая составляющая связана с заниженным уровнем этого параметра, что, в конечном итоге, не позволяет достичь приемлемого уровня основных технико-экономических показателей и операционной рентабельности. Вторая составляющая предопределяет завышенный уровень производственной мощности, что формирует длительную тенденцию недоиспользования всех видов основных фондов горнодобывающего предприятия, включая здания и сооружения, все виды горнодобывающего оборудования, стационарные машины и установки.

Таким образом, проявляется очевидная необходимость в трансформации и совершенствовании производственных правил и процедур обоснования и оптимизации этого параметра, которые направлены на обеспечение стабильной работы горнодобывающих предприятий с приемлемым уровнем технико-экономической эффективности.

При решении поставленной задачи необходимо учитывать как аспекты проектных процедур, так и аспекты производственного плана, проявляющихся при эксплуатации горнодобывающего предприятия [3, 4]. Данное обстоятельство предопределяется тем, что данный параметр в течение жизненного цикла непосредственно связан с технологичностью горно-геологических условий отработки запасов, технологическими решениями в области вскрытия и подготовки шахтных и выемочных полей, выбранной системой разработки, технологическими составляющими ведения очистных и подготовительных работ, организационно-техническими факторами и т.д., а при проектировании этот параметр предопределяется проектными потенциальными возможностями технологических платформ извлечения запасов и возможностями горнодобывающей техники с прогнозируемыми условиями добычи.

Анализ современных исследований в обозначенной проблематичной области показал немногочисленность трудов, что, в основном, можно объяснить довольно большой сложностью решаемой задачи и значительной противоречивостью получаемых результатов. Среди аналитических превалирует подход А.С. Малкина и В.В. Агафонова, который может быть адаптирован и использован для решения поставленной задачи [5].

Математическое выражение целевой функции представлено в следующей интерпретации:

$$A_{ш.г} = K_n (K_{nl} + K_{н.оз}) \sqrt{Z_{np} \frac{\sum m'}{\sum m} K_{эл}}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент, который отражает различные аспекты надежности используемой технологической платформы отработки запасов; $K_n = 0,6-0,95$; конкретное значение коэффициента зависит от ряда принимаемых проектных технологических решений функциональной структуры горнодобывающего предприятия;

K_{nl} – коэффициент, значение которого зависит от количества продуктивных пластов месторождения n_{nl} и одновременно обрабатываемых n'_{nl} ;

$$K_{nl} = \frac{n'_{nl} + \sqrt{n_{nl} - n'_{nl}}}{\sqrt{n_{nl}}}, \quad (2)$$

$K_{н.оз}$ – коэффициент, значение которого зависит от производительности выемочных единиц,

$$K_{н.оз} = \sqrt{\Psi A_{о.з.м} \frac{m_{ср}}{m'_{ср}}}, \quad (3)$$

Ψ – коэффициент технологичности отработки запасов полезного ископаемого:

$$\Psi = \frac{K_{у.кр} K_{кр.п}}{1 + K_{наруш} + K_{воо} + K_{газ}}, \quad (4)$$

где $K_{у.кр}$ – коэффициент, отображающий степень устойчивости и обрушаемости непосредственной и основной кровли обрабатываемых пластов; неустойчивые $K_{у.кр} = 0,06$, среднеустойчивые $K_{у.кр} = 0,08$; устойчивые $K_{у.кр} = 0,1$;

$K_{кр.п}$ – коэффициент, отображающий степень крепости почвы; при $f = 3-4$ $K_{кр.п} = 0,01$, при $f = 5-6$ $K_{кр.п} = 0,015$; при $f \geq 7$ $K_{кр.п} = 0,01$;

$K_{наруш}$ – коэффициент, связанный со степенью дизъюнктивной и пликативной нарушенности извлекаемых запасов, характеризуется отношением объема неизвлекаемых запасов вблизи геологических нарушений Z_n и промышленных $Z_{пр}$, т.е.

$$K_{наруш} = \frac{Z_n}{Z_{пр}}, \quad (5)$$

$K_{наруш} = 0-0,1$;

$K_{воо}$ – коэффициент, учитывающий влияние водообильности на ведение подземных горных работ,

$$K_{воо} = 1 + \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}, \quad (6)$$

где Q_{\min} и Q_{\max} – соответственно минимальные и максимальные значения водопритоков, м³/час;

$K_{газ}$ – коэффициент, учитывающий влияние газовыделения в рудничную атмосферу (0-1,0);

$A_{о.з.м}$ – месячная производительность выемочной единицы, т;

$\sum m$ – суммарная мощность всех пластов в шахтном поле, м;

$m'_{ср}$ – средняя мощность пластов, вовлеченных в одновременную отработку:

$$m'_{ср} = \frac{\sum m'}{n'_{ср}}, \quad (7)$$

где $\sum m'$ – суммарная мощность пластов, вовлеченных в одновременную отработку, м;

$K_{гп}$ – коэффициент, связанный с глубиной ведения подземных горных работ:

$$K_{гп} = 1 + \frac{H_{в.гп}}{H_{н.гп}}, \quad (8)$$

где $H_{в.гп}$ и $H_{н.гп}$ – соответственно минимальные и максимальные значения учитываемого параметра, м.

В результате проведения комплекса разведочных и эксплуатационных работ на руднике «Карнасурт» установлено, что:

– рудные горизонты имеют не моноклиальное падение, а изменчиво волнистое с куполообразными выступами и провалами;

– углы падения резко изменчивы;

– наличие безрудных «окон» (ксенолитов вмещающих пород);

– обнаружены серии безрудных даек мончикитов и зоны дислокации дробления;

– в области распространения зон пликативных и дизъюнктивных тектонических нарушений присутствует сопутствующая сильная обводненность (до 45-75 м³/час).

Все обрабатываемые породы прочные, высокоупругие, упруго деформируются до разрушения. Они склонны к проявлению горных ударов. На контурах выработок и целиков, пройденных в этих породах, отмечается «стреляние» пород, в отдельных случаях – микроудары.

В связи с этим, значение коэффициента надежности технологической схемы горнодобывающего предприятия в зависимости от используемых схем вскрытия и систем разработки принято $K_n = 0,6$;

$$K_{nl} = \frac{2 + \sqrt{2-2}}{\sqrt{2}} = 1,42;$$

$$K_{n.oz} = \sqrt{0,00076 \cdot 300000 \cdot 1,0} = 4,78;$$

$$\Psi = \frac{0,1 \cdot 0,02}{1 + 0,1 + 1,53} = 0,00076;$$

$$K_{во} = 1 + \frac{640}{1200} = 1,53;$$

$$K_{эл} = 1 + \frac{25}{320} = 1,01.$$

При реализации промежуточных формул использовались данные Ловозерского месторождения по горизонтам I-4 и II-4 для участков Карнасурт и Кедыквырпахк. Балансовые запасы категорий В+С₁+С₂ в пределах вышеобозначенных горизонтов, а также балансовые и забалансовые запасы рудного горизонта I-4 участка Карнасурт закладывались в основу проведения расчетов.

В таблице 1 приводятся сведения о числящихся на государственном балансе запасов полезных ископаемых (лопаритовых руд), согласно форме № 5-гр за 2022 год, по состоянию на 01.01.2023 года.

Табл. 1. Сведения о числящихся на государственном балансе запасов полезных ископаемых по состоянию на 01.01.2023 года

Категория запасов	Запасы		Ср. сод. лопарита, %	Запасы компонентов					
	Руда, т.т.	Лопарит, т		Nb2O5, т	Ta2O5, т	TR2O3, тыс. т	TiO2, тыс. т	SrO, тыс. т	ThO2, т
Участок Карнасурт									
В	2691	108223	4,02	9382	672	35	43,2	3,3	679,8
С1	4789	226738	4,74	19633	1415	73,9	91	6,8	1430
В+С1	7480	334961	4,48	29015	2087	108,8	134,2	10,1	2109,5
С2	14458	639355	4,42	55428	3967	207,1	255,9	19,3	4003
Забаланс	2878	81150	2,82	7061	495	25,8	32	2,5	495
Участок Кедыквырпахк									
В	1273	68397	5,37	5678	480	22	26	2,1	436,8
С1	1692	107228	6,34	8902	750	34,5	42,0	3,2	686,2
В+С1	2965	175625	5,92	14580	1230	56,5	68,0	5,3	1123
С2	12391	522904	4,22	41975	3373	164,9	212,5	16	3348
Забаланс	7574	181590	2,40	14164	1090	56,4	76	5,7	1162
Всего									
В+С1+С2 (бал+заб)	47746	1935585	4,05	162223	12242	619,5	778,6	58,9	12240,5

Исходя из данных, представленных в таблице количество извлекаемых запасов с учетом коэффициента, который учитывает уровень потерь руды в 0,74 в пределах двух участков «Карнасурт» и «Кедыквырпахк» составит

$$Z_{np} = (47746 - 7574 - 2878) \cdot 0,74 = 27600 \text{ тыс. тонн.}$$

Так как количество выделяемого газа метана в горные выработки не превышает значения $G = 0,034 \text{ м}^3/\text{мин}$, то коэффициент $K_{газ}$ в расчетах не участвует.

В пределах месторождения только два рудных горизонта, ассоциированных с пластами содержат лопарит в промышленных концентрациях: лопаритовые уртиты горизонта I-4 и лопаритовые мальиниты горизонта II-4.

Рудный горизонт I-4 (лопаритовые уртиты)

Внутреннее строение рудного горизонта представляется в следующем виде: породы висячего бока – ювиты, уртиты (1,6-2,0 м), рудное тело – лопаритовый уртит (0,1-0,24 м), пегматоид (0,01-0,02 м), трахитоидный ювит или фойяит (0,0-0,07 м), лейкократовый луяврит (0,0-0,1 м), лопаритовый луяврит (0,07-0,15 м); породы лежащего бока – луяврит (более 2 м).

При оконтуривании по бортовому содержанию, мощность оруденелых уртитов колеблется от 0,29 до 0,54 м, луявритов – от 0,1 до 0,48 м, безрудные слои – от 0,03 до 0,1 м. Общая мощность рудного тела колеблется от 0,60 до 1,74 м при средней 0,87 м.

Рудный горизонт II-4 (лопаритовые малиньиты)

Во внутреннем строении рудного горизонта II-4 (лопаритовые малиньиты) выделяются следующие разновидности пород: породы висячего бока – массивные ювиты, массивные уртиты с мурманитом и содалитом (1-3 м); рудное тело – уртит с лопаритом (0,6-0,7 м), лопаритовый уртит (0,12-0,16 м), пегматоидный ювит (0,01-0,02 м), лопаритовый малиньит (0,07-0,15 м), неясно трахитоидный ювит (0,01-0,07 м), трахитоидный фойяит с лопаритом (0,02-0,1 м).

Учитывая, что в пределах месторождения сформированы два рудных горизонта с их одновременной отработкой, то все сочетания $\sum m$ будут равны 1.

Приняты по статистическим данным $H_{в.зр.}$, $H_{н.зр.}$, Q_{min} , Q_{max} , $K_{наруш} = 0,1$; $A_{о.з.м} = 300000$ т.

$$A_{и.з.} = 0,6(1,42 + 4,78)\sqrt{27600 \cdot 1,0 \cdot 1,01} = 621 \text{ тыс. тонн.}$$

Результаты. С учетом параметрического ряда принимаем мощность рудника «Карнасурт» в объеме 600 тыс. тонн в год.

Срок службы горнодобывающего предприятия определяется по общепринятой формуле

$$T = Z_{np} / A_{и.з.}, \quad (8)$$

$$T = 27600/600 = 46 \text{ лет.}$$

Принимая к учету периоды развития T_1 и затухания добычи T_2 , равные по статистическим данным 2-3 годам, жизненный цикл рудника составит

$$T_{общ} = T + T_1 + T_2 = 46 + 3 + 3 = 52 \text{ года.}$$

На рисунке 1 представлено и детализировано алгоритмическое наполнение реализации итерационных процедур проведения необходимых расчетов в рамках оптимизационной задачи.

Решая такой важный вопрос, как определение производственной мощности горного предприятия, связанный со значительными экономическими последствиями, целесообразно задачу оценить с разных позиций с использованием различных критериев принятия решений [7, 8]. Если решения по разным подходам окажутся одинаковыми или достаточно близкими, то это дает основание считать одно из них наиболее предпочтительным; если решения сильно отличаются друг от друга, следует изыскивать дополнительные процедуры принятия решений [9, 10].

Следует отметить, что рассчитанный с использованием предложенного методологического подхода уровень производственной мощности рудника тесно коррелирует с уровнем, который был рассчитан в рамках технического проекта, выполненного ООО "ГИПРОШАХТ" (СРО Ассоциация «Проектные организации Северо-Запада»), в котором отражено, что производственные мощности введенных в эксплуатацию объектов капитального строительства и пусковых комплексов обеспечивают на данный момент годовую производительность рудника 450 тыс. тонн. Отработка запасов по панелям ведется по Техническому проекту «Разработка Ловозерского редкометального месторождения подземным способом. Отработка запасов лопаритовой руды на участках «Карнасурт» и «Кедыквырпахк». Дополнение 1, выполненного ООО «Гипрошахт» 2021 г., согласованного с ЦКР-ТПИ протоколом № 326/21-стп от 11.11.2021 г. (ООО «Гипрошахт», 2021 г.).

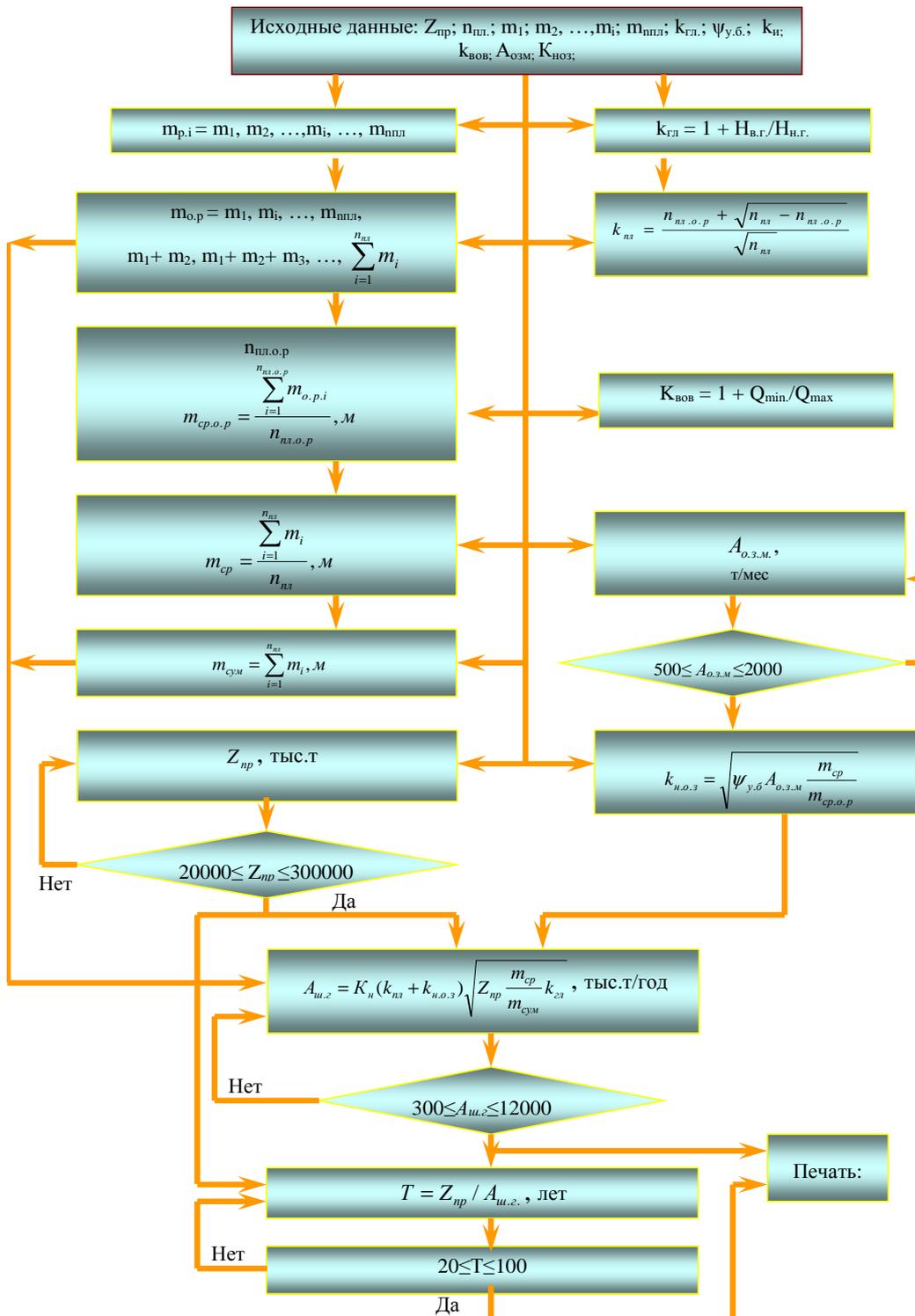


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета проектной мощности рудника

Производственная мощность рудника «Карнасурт» по горнотехническим возможностям при обработке запасов рассчитана в соответствии с «Нормами технологического проектирования горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки» (п. 4.6 ВНТП 13-2-93, СПб, 1993 г.), как наиболее соответствующим рассматриваемым горнотехническим и составляет 574 189 тонн в год.

Выводы. Таким образом, горно-геологические условия и параметры горнодобывающей техники обеспечивают возможность сформировать уровень производственной мощности рудника «Карнасурт» на 15÷30% выше фактической в настоящее время.

Список литературы

1. Новоселов С.В., Ремезов А.В. Проблема определения условно-оптимальных объемов добычи для производственной единицы (шахты, разреза) с учетом экологических ограничений в условиях Кузбасса // Уголь. – 2023. – №3(1165). – С. 104-108. –doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-104-108.
2. Агафонов В.В., Воропаева Е.В., Арефьев В.А. Использование минимаксных критериев для обоснования оптимальных параметров угольных шахт // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2017. – №2. – С. 19-22.
3. Фирсова Н.А., Ковешников П.Ю. Оценка концентрации и интенсивности очистных работ и их взаимосвязь с производственной мощностью шахты // Россия Молодая. Сборник докладов III Всероссийской, 56 научно-практической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава университета. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – С. 35-37.
4. Байсаров Р.С. Обоснование уровня производственной мощности Элегестского ГОК // Потенциал современной науки. – 2017. – №3. – С. 48-52.
5. Байсаров Р.С. Методический подход к обоснованию уровня производственной мощности угольных шахт // Потенциал современной науки. – 2017. – №3. – С. 53-56.
6. Ключко И.И., Кочура И.В. Производственный потенциал угледобывающих предприятий Донбасса: структура, анализ, факторы влияния // Вестник Института экономических исследований. – 2020. – №4(20). – С. 11-23.
7. Астафьева О.Е. Формирование механизма устойчивого развития угольной промышленности // Уголь. – 2021. – №3(1140). – С. 10-13. – doi.org/10.18796/0041-5790-2021-3-10-13.
8. Кочура И.В. Качественный анализ факторов экономического потенциала угледобывающих предприятий Донбасса // Сборник научных работ серии "Финансы, учет, аудит". – 2020. – №2. – С. 36-44.
9. Бондаренко И.С. Подходы к определению основных задач оптимального планирования в угольной промышленности России // Вестник Института мировых цивилизаций. – 2020. – Т. 11, №4(29). – С. 78-84.
10. Родионов А.В., Колесников В.А. Специфика развития управления инвестированием угледобывающих предприятий в условиях стохастичности среды // Новое в экономической кибернетике. – 2021. – №2. – С. 137-143.

References

1. Novoselov S.V., Remezov A.V. The problem of determining conditionally optimal production volumes for a production unit (mine, section) taking into account environmental restrictions in the conditions of Kuzbass // Coal. 2023, no. 3(1165), pp. 104-108. doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-104-108.
2. Agafonov V.V., Voropaeva E.V., Arefyev V.A. Using minimax criteria to substantiate optimal parameters of coal mines // Modern science: current problems and ways to solve them. 2017, no. 2, pp. 19-22.
3. Firsova N.A., Koveshnikov P.Yu. Assessment of the concentration and intensity of cleaning operations and their relationship with the production capacity of the mine // Russia Is Young. Collection of reports of the III All-Russian, 56th scientific and practical conference of students, postgraduates and faculty of the University. – Kemerovo: KuzSTU, 2011. – P. 35-37.
4. Baisarov R.S. Justification of the level of production capacity of the Elegestsky GOK //The potential of modern science. 2017, no. 3, pp. 48-52.
5. Baisarov R.S. A methodological approach to substantiating the level of production capacity of coal mines // The potential of modern science. 2017, no. 3, pp. 53-56.
6. Klochko I.I., Kochura I.V. Production potential of Donbass coal mining enterprises: structure, analysis, factors of influence // Bulletin of the Institute of Economic Research. 2020, no. 4(20), pp. 11-23.
7. Astafyeva O. E. Formation of a mechanism for sustainable development of the coal industry // Coal. 2021, no. 3(1140), pp. 10-13. doi.org/10.18796/0041-5790-2021-3-10-13.
8. Kochura I.V. Qualitative analysis of the factors of the economic potential of Donbass coal mining enterprises // Collection of scientific papers in the series "Finance, accounting, audit". 2020, no. 2, pp. 36-44.
9. Bondarenko I.S. Approaches to determining the main tasks of optimal planning in the Russian coal industry // Bulletin of the Institute of World Civilizations. 2020, vol. 11, no. 4(29), pp. 78-84.
10. Rodionov A.V., Kolesnikov V.A. Specifics of the development of investment management of coal mining enterprises in a stochastic environment // New in economic cybernetics. 2021, no. 2, pp. 137-143.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Агафонов Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Геотехнологии освоения недр»	Agafonov Valery Vladimirovich – doctor of technical sciences, professor of the Department of geotechnology of subsurface
Козлова Ольга Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика» agafonovvv@yandex.ru	Kozlova Olga Yurievna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of higher mathematics

Получена 04.06.2024