

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕВЗВЕШЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМБАЙНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Д.И. Шишляников¹, В.Ю. Зверев¹, А.К. Муравский¹,
И.Е. Звонарев², И.А. Королев²

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия, e-mail: dish844@gmail.com

² Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: Приведены основные сведения о работе механизированных комбайновых комплексов калийных рудников. Указывается, что выполнение расчетов по прогнозированию эксплуатационной производительности данных комплексов в соответствии с известными инженерными методиками сопровождается большим объемом вычислений и характеризуется существенной трудоемкостью. Обоснована актуальность разработки упрощенной методики расчета и прогнозирования их производительности. Приведены и проанализированы основные зависимости известных инженерных методик определения производительности механизированных комбайновых комплексов для добычи калийных руд. Указывается, что производительность комбайнового комплекса в очистной камере изменяется в зависимости от расстояния доставки. При этом на первом отрезке очистной камеры производительность комбайнового комплекса равна технической производительности комбайна. На втором отрезке комбайн работает с остановами в период загрузки вагона, поэтому производительность комплекса в целом определяет производительность самоходного вагона. На третьем отрезке очистной камеры комбайн находится в режиме ожидания загрузки вагона и в период его отсутствия. Следовательно, по мере подвигания забоя производительность комплекса снижается. Предложено рассчитывать средневзвешенную производительность механизированного комбайнового комплекса в условных единицах работы, определяющих количество руды, транспортируемое шахтным самоходным вагоном в единицу времени на заданное расстояние. Предложенная методика характеризуется меньшей трудоемкостью выполнения расчетов. Полученные по предлагаемой авторами методике значения производительности механизированного комбайнового комплекса совпадают с результатами расчетов, выполненных по известным инженерным методикам, при этом разность результатов не превышает 1%.

Ключевые слова: механизированный комбайновый комплекс, средневзвешенная производительность, условные единицы работы, добыча калийной руды, очистная камера.

Для цитирования: Шишляников Д. И., Зверев В. Ю., Муравский А. К., Звонарев И. Е., Королев И. А. Методика определения средневзвешенной производительности механизированных комбайновых комплексов калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 7. – С. 125–133. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_125.

Procedure to determine weighted average capacity of machine chains in potash mines

D.I. Shishlyannikov¹, V.Yu. Zverev¹, A.K. Muravsky¹, I.E. Zvonarev², I.A. Korolyov²

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, e-mail: dish844@gmail.com

² Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The article feeds information on operation of machine chains in potash mines. Prediction of working capacity of such machine chains using the known engineering procedures involves huge amount of computation and features high labor input. It is of the current concern to develop a simplified procedure for working capacity prediction. The main dependences from the known engineering procedures for determining capacity of machine chains in potash mining are presented and analyzed. The capacity of a chain of machines in a roadway varies subject to the haulage distance. In the initial phase in the roadway, the machine chain capacity equals the unit capacity of the continuous miner. In the second phase, the continuous miner operation involves breaks connected with loading of a self-propelled car, and the machine chain capacity is governed by the capacity of the car. In the third phase, the continuous miner is in the wait mode in the period of the car loading and absence. Consequently, as face is advanced, capacity of the chain of machines lowers. It is proposed to calculate the weighted average capacity of the machine chain using conditional units of work, which represent quantity of ore for haulage by self-propelled car per unit time for preset distance. The proposed procedure offers less labor input. The capacity values calculated using this procedure coincide with the results of the known engineering procedures at imprecision not higher than 1%.

Key words: machine chain, weighted average capacity, conditional units of work, potash ore mining, roadway.

For citation: Shishlyannikov D. I., Zverev V. Yu., Muravsky A. K., Zvonarev I. E., Korolyov I. A. Procedure to determine weighted average capacity of machine chains in potash mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(7):125-133. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_125.

Введение

Предприятия, осуществляющие добычу калийно-магниевых руд на территории России [1], используют камерную систему разработки продуктивных пластов с применением комплектов горного оборудования — механизированных комбайновых комплексов [2, 3]. В состав каждого комплекса входит добычная машина (проходческо-очистной комбайн), аккумулярующая емкость (бункер-перегрузатель) и транспортирующая машина — шахтный самоходный вагон (ШСВ) [4, 5].

Интегральным показателем оценки эффективности применения механизиро-

ванных комбайновых комплексов в условиях калийных рудников является их эксплуатационная производительность [6], корректное прогнозирование которой, с учетом горнотехнических и горно-геологических условий функционирования, представляет собой сложную инженерную задачу [7].

Известные инженерные методики расчета производительности комбайновых комплексов калийных рудников характеризуются существенной трудоемкостью и требуют определения многочисленных параметров комбайнового хода: критических расстояний доставки, длин характерных отрезков транспортирова-

ния, минутной производительности комплекса при различных положениях комбайна в очистной камере [8]. Проведение расчетов усложняется в случае необходимости прогнозирования эксплуатационной производительности механизированного комплекса при работе комбайна неполным сечением забоя [9, 10].

Для упрощения расчетов эксплуатационной производительности комбайновых комплексов, функционирующих в условиях калийных рудников, авторами предложена методика, основанная на определении средневзвешенной производительности с учетом условных единиц работы.

Методологические основы оценки производительности механизированных комбайновых комплексов калийных рудников

Известно, что при проходке каждой очистной камеры с использованием механизированного комбайнового комплекса различают четыре характерных отрезка с различными режимами работы проходческо-очистного комбайна (рис. 1) [11, 12].

Участок зарубки длиной L_3 проходит с малой скоростью подачи на за-

бой и производительностью меньшей, чем техническая производительность комбайна ($Q_3 < Q_T$). При этом проходческо-очистной комбайн работает неполным сечением исполнительного органа, зарубаясь поворотом с откаточного штрека [13].

На отрезке очистной камеры L^I комбайн работает без остановов с эксплуатационной производительностью, равной технической ($Q_k^I = Q_T$).

На отрезке L^{II} комбайн работает с остановами, увеличивающимися по времени по мере удаления добычной машины от устья скважины. Остановы возникают при загрузке самоходного вагона рудой из бункера-перегрузателя. При этом эксплуатационная производительность комбайнового комплекса на отрезке L^{II} уменьшается, то есть $Q_k^{II} < Q_k^I$.

На отрезке L^{III} проходческо-очистной комбайн простаивает в ожидании самоходного вагона и во время его загрузки, то есть эксплуатационная производительность комбайнового комплекса на отрезке L^{III} продолжает непрерывно снижаться с увеличением длины доставки $Q_k^{III} < Q_k^{II} < Q_k^I$.

Таким образом, на отрезках L^{II} и L^{III} производительность механизированного

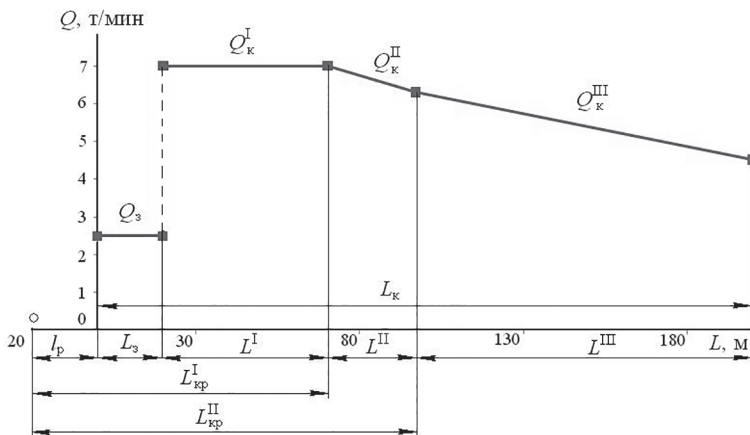


Рис. 1. Изменение производительности механизированного комбайнового комплекса для добычи калийных руд в зависимости от длины очистной камеры

Fig. 1. Variation in machine chain capacity as function of roadway length in potash mine

Производительность доставки руды в очистных камерах калийных рудников с использованием ШСВ

Ore haulage capacity in potash mine roadways using self-propelled car

Грузоподъемность ШСВ, т	Производительность ШСВ, т/мин, при длине доставки, м			
	35	100	150	200
15	5,1	4,1	2,7	2,3
18	6,0	4,8	3,3	2,9
22	6,6	5,4	3,8	3,4
30	8,1	6,7	4,9	4,3

комбайнового комплекса определяется производительностью ШСВ и зависит от его грузоподъемности и расстояния доставки (таблица) [14].

Длина участка непрерывной работы проходческо-очистного комбайна составляет

$$L^I = L^I_{кр} L_3 - l_p, \quad (1)$$

где $L^I_{кр}$ — первая критическая длина доставки (см. рис. 1), м; l_p — расстояние доставки от устья очистной камеры до рудоспускного гезенка, м.

Первая критическая длина доставки определяется выражением

$$L^I_{кр} = 0,5V_{1\alpha} \left(\frac{q_n}{Q_m} - t_{p.e} \right), \quad (2)$$

где $V_{1\alpha}$ — эквивалентная скорость движения ШСВ на участке длиной $L^I_{кр}$, м/мин; $t_{p.e}$ — время разгрузки ШСВ, мин; q_n — грузоподъемность бункера-перегрузателя, т.

Длина отрезка L^{II} рассчитывается по формуле

$$L^{II} = L^{II}_{кр} - L^I_{кр}, \quad (3)$$

где $L^{II}_{кр}$ — вторая критическая длина доставки (см. рис. 1), м.

$$L^{II}_{кр} = 0,5V_{2\alpha} \left(\frac{q_\alpha}{Q_m} - t_{p.n} \right), \quad (4)$$

где $V_{2\alpha}$ — эквивалентная скорость движения ШСВ на участке длиной $L^{II}_{кр}$, м/мин; $t_{p.n}$ — время разгрузки бункера-перегрузателя в ШСВ, мин; q_α — грузоподъемность ШСВ, т.

Длина отрезка L^{III} рассчитывается по формуле

$$L^{III} = L_k - L_3 - L^I - L^{II}, \quad (5)$$

где L_k — длина очистной камеры, $L_k \approx 200$ м [9, 15, 16].

Из формул (2)–(5) следует, что длины характерных участков очистных камер определяются, в первую очередь, скоростью движения и грузоподъемностью ШСВ, а также величиной технической производительности проходческо-очистного комбайна Q_T в заданных условиях функционирования (рис. 2).

Эксплуатационная производительность механизированного комбайнового комплекса при проходке рассматриваемого участка очистной камеры длиной L_n определяется как отношение площади под кривой $Q = f(L)$ к длине участка L_n . То есть средневзвешенная эксплуатационная производительность механизированного комбайнового комплекса $Q_{св}$ определяется выражением

$$Q_{св} = A / L_n, \quad (6)$$

где A — работа механизированного комбайнового комплекса, рассчитанная в условных единицах, т·м/мин; L_n — величина перемещения проходческо-очистного комбайна, м.

Условные единицы работы A определяют количество руды, транспортируемое самоходным вагоном в единицу времени на заданное расстояние. Таким образом, работа механизированного комбайнового комплекса для добычи калийных руд, рассчитанная в условных единицах — это интеграл функции $Q(L)$ с пределами интегрирования от координаты L_{n-1} до L_n , то есть начала и конца

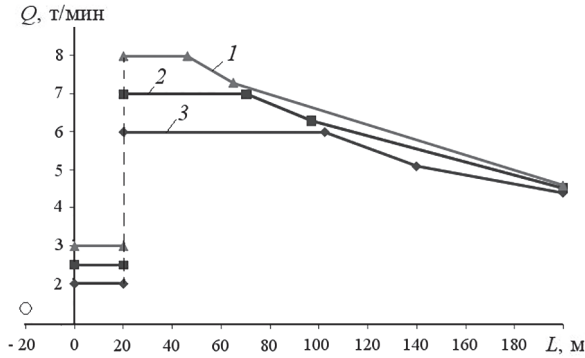


Рис. 2. Изменение длин характерных отрезков в очистной камере при работе комбайнового комплекса в зависимости от технической производительности комбайна: 1 – $Q_t = 8$ т/мин; 2 – $Q_t = 7$ т/мин; 3 – $Q_t = 6$ т/мин (грузоподъемность ШСВ – 30 т)

Fig. 2. Change in lengths of typical phases in roadway in operation of machine chain depending on continuous miner capacity: 1 – $Q_t = 8$ t/min; 2 – $Q_t = 7$ t/min; 3 – $Q_t = 6$ t/min (self-propelled car capacity – 30 t)

рассматриваемого отрезка очистной камеры соответственно.

Работа комбайнового комплекса по транспортированию калийной руды из очистной камеры A_k , выраженная в условных единицах, равна сумме условных единиц работы комплекса на четырех характерных отрезках

$$A_k = A_3 + A^I + A^{II} + A^{III}, \quad (7)$$

где A_3 , A^I , A^{II} , A^{III} – работа механизированного комбайнового комплекса на характерных отрезках L_3 , L^I , L^{II} , L^{III} соответственно, выраженная в условных единицах, т·м/мин.

$$A_3 = \int_{L=0}^{L_p+L_3} Q_3(L)dL = Q_3 L_3; \quad (8)$$

$$A^I = \int_{L_p+L_3}^{L_{kp}^I} Q_k^I(L)dL = ; \quad (9)$$

$$= Q_k(L_{kp}^I - L_3 - L_p) = Q_k L^I$$

$$A^{II} = \int_{L_{kp}^{II}}^{L_{kp}^{III}} Q_k^{II}(L)dL = ; \quad (10)$$

$$= \int_{L_{kp}^{II}}^{L_{kp}^{III}} \frac{q_\alpha dL}{\left(\frac{2L}{V_{\alpha 2}} + t_{p,e} + 0,5t_{p,n}\right)}$$

$$A^{III} = \int_{L_{kp}^{III}}^{L_k} Q_k^{III}(L)dL =$$

$$= \int_{L_{kp}^{III}}^{L_k} \frac{q_\alpha dL}{\left(\frac{2L}{V_{\alpha 2}} + t_{p,e} + 0,5t_{p,n} + t_{np}\right)}, \quad (11)$$

где t_{np} – время простоя проходческого очистного комбайна в ожидании ШСВ, мин.

Для решения интегральных уравнений (10) и (11) обозначим величины

$$2 / V_{\alpha 2} = a \quad (12)$$

$$t_{p,e} + 0,5 t_{p,n} = b. \quad (13)$$

Преобразовав таким образом, например, уравнение (10), получаем зависимость

$$A^{II} = q_\alpha \int_{L_{kp}^{II}}^{L_{kp}^{III}} \frac{dL}{aL + b} = \frac{q_\alpha}{a \ln(aL + b)} \Big|_{L_{kp}^{II}}^{L_{kp}^{III}} =$$

$$= \frac{q_\alpha}{a} \ln \left(\frac{aL_{kp}^{III} + b}{aL_{kp}^{II} + b} \right) \quad (14)$$

Полученная зависимость справедлива для всего отрезка очистной камеры длиной L^{II} . Для определения средневзвешенной производительности меха-

низированного комбайнового комплекса и работы по транспортированию руды, выраженной в условных единицах, внутри отрезка L^{II} необходимо задать значения L_{n-1} и L_n , то есть координаты начала и конца рассчитываемого отрезка очистной камеры.

Пример выполнения расчета средневзвешенной производительности механизированного комбайнового комплекса

Выполним расчет средневзвешенной производительности механизированного комбайнового комплекса на отрезке очистной камеры L^{II} . При этом зададим следующие исходные данные: техническая производительность комбайна $Q_{\tau} = 7$ т/мин; эквивалентная скорость движения ШСВ внутри отрезка L^{II} составляет $V_{2\alpha} = 150$ м/мин; координаты начала и конца рассчитываемого отрезка очистной камеры $L_{n-1} = L^{\text{I}}_{\text{кр}} = 70,4$ м и $L_n = L^{\text{II}}_{\text{кр}} = 97,1$ м соответственно (см. рис. 2, поз. 2); грузоподъемность вагона $q_{\alpha} = 30$ т; время разгрузки самоходного вагона $t_{\text{п.б}} = 2,5$ мин; время перегрузки калийной руды из бункера-перегрузателя в ШСВ $t_{\text{п.н}} = 1,5$ мин.

Параметры a и b рассчитываются согласно выражениям (12) и (13)

$$a = 2 / V_{2\alpha} = 2 / 150 = 0,013$$

$$b = t_{\text{п.б}} + 0,5 t_{\text{п.н}} = 2,5 + 0,5 \cdot 1,5 = 3,25.$$

Работа механизированного комбайнового комплекса на отрезке L^{II} определяется выражением

$$A^{\text{II}} = \frac{q_{\alpha}}{a} \ln \left(\frac{aL_n + b}{aL_{n-1} + b} \right) = \frac{30,0}{0,013} \ln \left(\frac{0,013 \cdot 97,1 + 3,25}{0,013 \cdot 70,4 + 3,25} \right) = 180,9 \text{ т} \cdot \text{м/мин.}$$

Соответственно, работа комбайнового комплекса на отрезке L^{III}

$$A^{\text{III}} = \frac{q_{\alpha}}{a} \ln \left(\frac{aL_k + b + t_{\text{п.н}}}{aL_n + b + t_{\text{п.н}}} \right) =$$

$$\frac{30,0}{0,013} \ln \left(\frac{0,013 \cdot 200 + 3,25 + 1,5}{0,013 \cdot 97,1 + 3,25 + 1,5} \right) = 464,5 \text{ т} \cdot \text{м/мин,}$$

где L_k — длина очистной камеры, $L_k = 200$ м.

Длина рассчитываемого отрезка L^{II} составляет

$$L^{\text{II}} = L_n - L_{n-1} = 97,1 - 70,04 = 26,7 \text{ м.}$$

Длина отрезка L^{III} следующая:

$$L^{\text{III}} = L_k - L_n = 200 - 97,1 = 102,9 \text{ м.}$$

Средневзвешенная производительность механизированного комбайнового комплекса $Q^{\text{II}}_{\text{св}}$ на отрезке L^{II} в соответствии с выражением (6)

$$Q^{\text{II}}_{\text{св}} = A^{\text{II}} / L^{\text{II}} = 180,9 / 26,7 = 6,8 \text{ т/мин.}$$

Средневзвешенная производительность механизированного комбайнового комплекса $Q^{\text{III}}_{\text{св}}$ на отрезке L^{III}

$$Q^{\text{III}}_{\text{св}} = A^{\text{III}} / L^{\text{III}} = 464,5 / 102,9 = 4,5 \text{ т/мин.}$$

Таким образом, при длине очистной камеры $L_k = 200$ м и участке зарубки длиной $L_3 = 20$ м в соответствии с зависимостями (1)–(14), работа механизированного комбайнового комплекса на характерных отрезках очистной камеры составляет $A_3 = 50$ т·м/мин; $A^{\text{I}} = 352,8$ т·м/мин; $A^{\text{II}} = 180,9$ т·м/мин; $A^{\text{III}} = 464,5$ т·м/мин. Соответственно, производительность комбайнового комплекса на рассматриваемых отрезках очистной камеры $Q_3 = 2,5$ т/мин; $Q^{\text{I}}_{\text{св}} = Q_{\tau} = 7$ т/мин; $Q^{\text{II}}_{\text{св}} = 6,8$ т/мин; $Q^{\text{III}}_{\text{св}} = 4,5$ т/мин.

При проходке всей очистной камеры средневзвешенная производительность комбайнового комплекса составляет

$$Q_{\text{св}} = \frac{A_3 + A^{\text{I}} + A^{\text{II}} + A^{\text{III}}}{L_k} = \frac{50 + 352,8 + 180,9 + 464,5}{200} = 5,2 \text{ т/мин.}$$

Рассчитанные по предложенной методике значения средневзвешенной производительности механизированных комбайновых комплексов калийных рудников совпадают с результатами аналогичных расчетов, выполненных по известным инженерным методикам, применяемым в отрасли [9, 10].

Выводы

Приведенные в статье методологические основы определения средневзвешенной производительности механи-

зированных комбайновых комплексов калийных рудников позволяют с высокой достоверностью прогнозировать производительность комплексов при обработке отрезков очистных камер в различных горнотехнических условиях функционирования добычного и транспортирующего оборудования. При этом вычисления характеризуются меньшим объемом (по сравнению с известными инженерными методиками расчета), а разность полученных результатов не превышает 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашников Ю. А., Ермашов А. О., Ефимов А. А. Геолого-геомеханическая модель участка Верхнекамского калийного месторождения // Записки Горного института. — 2019. — Т. 237. — С. 259–267. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.259.

2. Мешков А. А., Казанин О. И., Сидоренко А. А. Реализация производственного потенциала высокопроизводительного оборудования — ключевое направление совершенствования подземной добычи энергетических углей // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 12. — С. 156–165. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-120-156-165.

3. Bazhin V. Y., Kuskov V. B., Kuskova Y. V. Processing of low-demand coal and other carbon-containing materials for energy production purposes // Inzynieria Mineralna. 2019, vol. 1, no. 43, pp. 195–198. DOI: 10.29227/IM-2019-01-37.

4. Ещин Е. К. Управление динамической нагруженностью забойных скребковых конвейеров // Записки Горного института. — 2019. — Т. 239. — С. 570–575. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.570.

5. Лукин Д. Г., Юнгмейстер Д. А., Ячейкин А. И., Исаев А. И. Совершенствование работы исполнительного органа проходческого щита КТ 1-5,6М // Горный журнал. — 2018. — № 12. — С. 73–77. DOI: 10.17580/gzh.2018.12.15.

6. Shishlyannikov D., Zvonarev I. Investigation of the destruction process of potash ore with a single cutter using promising cross cutting pattern // Applied Sciences. 2021, vol. 11, no. 1, article 464. DOI: 10.3390/app11010464.

7. Vasilyeva M. A., Yusupov G. A., Nagornov D. O., Puskarev A. E., Andreev M. N., Kuskildin R. B., Serzhan S. L., Kuskova Ya. V. Modelling the movement of slurry in the channel of a nature-like pump used for the safety laying of the worked out space // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 1721, no. 1, article 012046. DOI: 10.1088/1742-6596/1721/1/012046.

8. Kouziyev D., Krivenko A., Chezganova D., Blumensteiun V. Sensing of dynamic loads in the open-cast mine combine // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, article 03014. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503014.

9. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия». — Новосибирск: Наука, 2011. — 487 с.

10. Методика расчета производительности очистных и проходческих комплексов, включающих комбайн и средства самоходного транспорта (в условиях калийных рудников). Отраслевая методика. — Л.: ВНИИГ, 1972. — 36 с.


11. Романов В. А. Повышение эффективности эксплуатации шахтных самоходных вагонов калийных рудников на основе данных комплексного контроля: Дис. ... канд. техн. наук. — Пермь: ПНИПУ, 2020. — 176 с.

12. Шишлянников Д. И., Иванов С. Л., Звонарев И. Е., Зверев В. Ю. Повышение эффективности применения выемочных и транспортирующих машин комбайновых комплексов калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 9. — С. 116—124. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124.

13. Ещин Е. К. Расчеты динамических режимов работы электроприводов самоходных горных машин // Записки Горного института. — 2018. — Т. 233. — С. 534—538. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.534.

14. Kuskil'din R. B., Vasilyeva M. A. Dynamic loads during safety braking of the container with cargo // Procedia Engineering. 2017, vol. 206, pp. 248—253. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.469.

15. Segopolo P. R. Optimization of shuttle car utilization at an underground coal mine // The Journal of the South African institute of mining and metallurgy. 2015, vol. 115, no. 4, pp. 285—296.

16. Шендерович Ю. М., Ранько В. А. Зависимость производительности шахтных самоходных вагонов от скорости их движения / Механизация и автоматизация горных работ. — М.: Машиностроение, 1975. — С. 173—177. 

REFERENCES

1. Kashnikov Yu. A., Ermashov A. O., Efimov A. A. Geological and geomechanical model of the Verkhnekamsk potash deposit site. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 237, pp. 259—267. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.259.

2. Meshkov A. A., Kazanin O. I., Sidorenko A. A. Implementation of production potential of high-performance equipment—A key trend of improvement in underground mining of power-generating coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 12, pp. 156—165. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-120-156-165.

3. Bazhin V. Y., Kuskov V. B., Kuskova Y. V. Processing of low-demand coal and other carbon-containing materials for energy production purposes. *Inzynieria Mineralna*. 2019, vol. 1, no. 43, pp. 195—198. DOI: 10.29227/IM-2019-01-37.

4. Eshchin E. K. Scraper face conveyors dynamic load control. *Journal of Mining Institute*. 2019. T. 239, pp. 570—575. [In Russ]. DOI: 10.31897/pmi.2019.5.570.

5. Lukin D. G., Yungmeister D. A., Yacheikin A. I., Isaev A. I. Improvement of shield machine KT1-5.6M cutterhead operation. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 12, pp. 73—77. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.12.15.

6. Shishlyannikov D., Zvonaev I. Investigation of the destruction process of potash ore with a single cutter using promising cross cutting pattern. *Applied Sciences*. 2021, vol. 11, no. 1, article 464. DOI: 10.3390/app11010464.

7. Vasilyeva M. A., Yusupov G. A., Nagornov D. O., Puskarev A. E., Andreev M. N., Kuskil'din R. B., Serzhan S. L., Kuskova Ya. V. Modelling the movement of slurry in the channel of a nature-like pump used for the safety laying of the worked out space. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, vol. 1721, no. 1, article 012046. DOI: 10.1088/1742-6596/1721/1/012046.

8. Kouziyev D., Krivenko A., Chezganova D., Blumensteiun V. Sensing of dynamic loads in the open-cast mine combine. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, article 03014. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503014.

9. *Metodicheskoe rukovodstvo po vedeniyu gornykh rabot na rudnikakh OAO «Sil'vinit» / OAO «Galurgiya»* [Methodical guidelines for conducting mining operations at the mines of JSC «Silvinit» / JSC «Galurgia»], Novosibirsk, Nauka, 2011, 487 p. [In Russ].

10. *Metodika rascheta proizvoditel'nosti ochistnykh i prokhodcheskikh kompleksov, vklyuchayushchikh kombayn i sredstva samokhodnogo transporta (v usloviyakh kaliynykh rudnikov)*.

Otraslevaya metodika [Methodology for calculating the productivity of mining and tunneling complexes, including a harvester and self-propelled vehicles (in the conditions of potash mines). Industry methodology], Leningrad, VNIIG, 1972, 36 p. [In Russ].

11. Romanov V. A. *Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii shakhtnykh samokhodnykh vagonov kaliynykh rudnikov na osnove dannykh kompleksnogo kontrolya* [Increasing the efficiency of operation of self-propelled mine cars of potash mines based on integrated control data], Candidate's thesis, Perm, PNIPU, 2020, 176 p.

12. Shishlyannikov D. I., Ivanov S. L., Zvonarev I. E., Zverev V. Yu. Improving efficiency of shearing and hauling machines in longwall potash mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 9, pp. 116 – 124. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124.

13. Eshchin E. K. Calculations of dynamic operating modes of electric drives of self-propelled mining machines. *Journal of Mining Institute.* 2018, vol. 233, pp. 534 – 538. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.534.

14. Kuskil'din R. B., Vasilyeva M. A. Dynamic loads during safety braking of the container with cargo. *Procedia Engineering.* 2017, vol. 206, pp. 248 – 253. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.469.

15. Segopolo P. R. Optimization of shuttle car utilization at an underground coal mine. *The Journal of the Southey African institute of mining and metallurgy.* 2015, vol. 115, no. 4, pp. 285 – 296.

16. Shenderovich Yu. M., Ran'ko V. A. Dependence of the productivity of self-propelled mine cars on the speed of their movement. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya gornykh robot* [Mechanization and automation of mining operations], Moscow, Mashinostroenie, 1975, pp. 173 – 177.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шишлянников Дмитрий Игоревич¹ – канд. техн. наук, доцент,
e-mail: dish844@gmail.com,

Зверев Валерий Юрьевич¹ – канд. техн. наук, доцент,

Муравский Александр Константинович¹ – канд. техн. наук, доцент,

Звонарев Иван Евгеньевич² – канд. техн. наук, доцент,

Королев Игорь Алексеевич² – канд. техн. наук, доцент,

¹ Пермский национальный исследовательский
политехнический университет,

² Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Шишлянников Д.И., e-mail: dish844@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

D.I. Shishlyannikov¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: dish844@gmail.com,

V.Yu. Zverev¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

A.K. Muravsky¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

I.E. Zvonarev¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

I.A. Korolyov¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

¹ Perm National Research Polytechnic University,
614990, Perm, Russia,

² Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: D.I. Shishlyannikov, e-mail: dish844@gmail.com.

Получена редакцией 10.03.2021; получена после рецензии 21.04.2021; принята к печати 10.06.2021.

Received by the editors 10.03.2021; received after the review 21.04.2021; accepted for printing 10.06.2021.