

Озорнин Михаил Степанович, канд. техн. наук, доцент, **Шишляников Дмитрий Игоревич**, канд. техн. наук, доцент, **Романов Вячеслав Александрович**, аспирант, **Лопухов Валентин Алексеевич**, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

E-mail: romanovs06@mail.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМБАЙНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ С УЧЕТОМ УСЛОВНЫХ ЕДИНИЦ РАБОТЫ

Аннотация:

Проанализированы отраслевые методики расчета показателей работы механизированных комбайновых комплексов калийных рудников. Отмечено, что корректная оценка эксплуатационной производительности механизированных комбайновых комплексов с учетом влияющих факторов горнотехнических и горно-геологических условий определяет повышение устойчивости технологических процессов в очистной камере и увеличение эффективности использования выемочного и транспортирующего оборудования калийных рудников. Показано, что используемые в настоящее время методики определения эксплуатационной производительности комбайновых комплексов калийных рудников характеризуются значительной трудоемкостью. Предложена методика расчета производительности комбайнового комплекса, основанная на определении работы, выраженной в условных единицах. Использование предлагаемой методики позволяет значительно сократить объем и затраты времени на выполнение вычислительных операций, при этом на любом участке очистной камеры может быть определена средневзвешенная производительность комбайнового комплекса. Предложенная методика может быть адаптирована и использована на рудниках с различными горно-геологическими и горнотехническими условиями работы.

Ключевые слова: механизированный комбайновый комплекс, производительность, калийный рудник, условные единицы работы, проходческо-очистной комбайн, шахтный самоходный вагон.

Информация о статье: принята 01 октября 2019 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2019-4-34-39

Введение

На рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей наибольшее распространение получила камерная система разработки продуктивных пластов с использованием комплектов выемочного и транспортирующего оборудования – механизированных комбайновых комплексов. В состав комплекса входит проходческо-очистной комбайн, бункер-перегрузатель и шахтный самоходный вагон (ШСВ) [1].

Важнейшим показателем эффективности использования комбайнового комплекса является его производительность. Принято различать эксплуатационную производительность комбайнового комплекса, отнесенную к различным временным интервалам: годовую, среднемесячную, среднесуточную, среднесменную и минутную производительность. Корректная оценка и прогнозирование эксплуатационной производительности механизированных комбайновых комплексов с учетом влияющих факторов горнотехнических и горно-геологических условий определяет повышение устойчивости технологических процессов в очистной камере и увеличение эффективности использования выемочного и

транспортирующего оборудования калийных рудников [2, 3, 4, 5].

Идея предлагаемой методики

В очистных камерах калийных рудников при проходке каждого комбайнового хода выделяют три характерных участка с различным режимом работы добычной машины (рис.1). На участке L^I комбайн работает непрерывно с эксплуатационной производительностью, равной технической. Отбитая руда аккумулируется в бункере-перегрузателе, откуда по мере заполнения отгружается в ШСВ. На участке L^{II} комбайн работает с возрастающими остановками, обусловленными загрузкой вагона. На участке L^{III} комбайн простаивает в ожидании ШСВ и во время его загрузки [6, 7].

Типовая методика расчета эксплуатационной производительности комбайнового комплекса на характерных участках очистной камеры приведена в «Методическом руководстве по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» [8]. Особенностью методики является ее значительная трудоемкость, требующая расчета многочисленных показателей комбайнового хода: критических расстояний, длин характерных участков, сложных вычислений

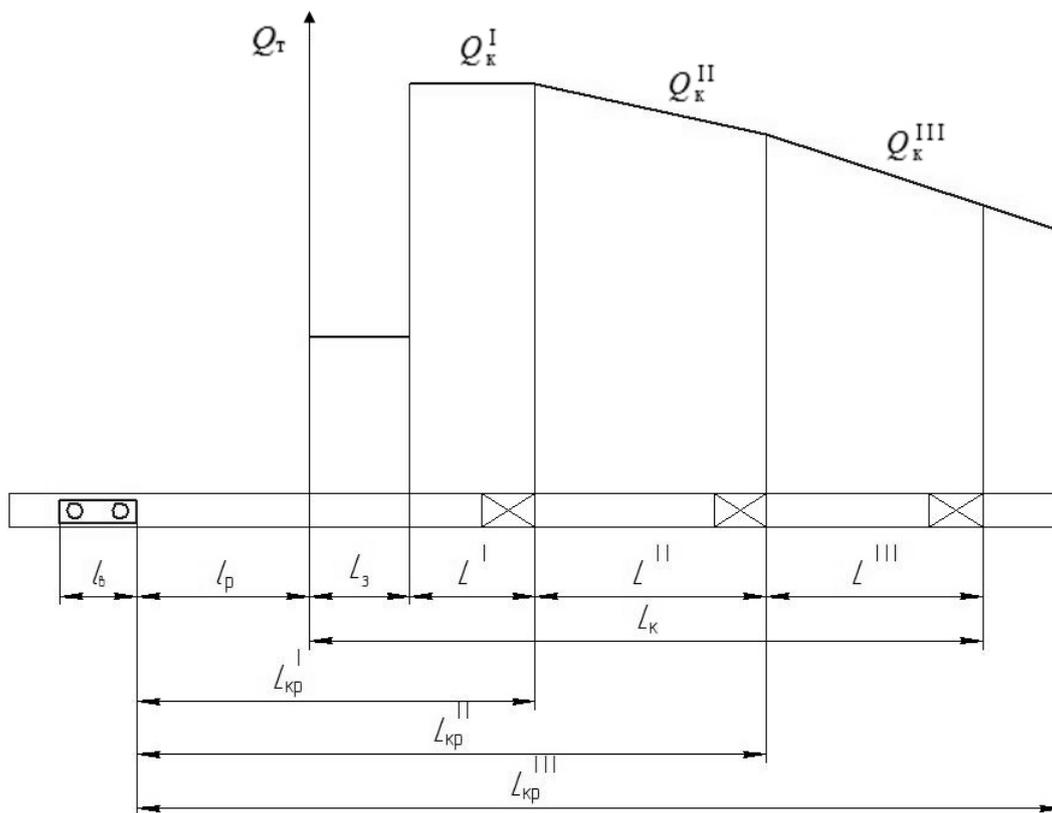


Рис. 1. Изменение производительности комбайнового комплекса по длине камеры: L_k – длина камеры, м; l_p – расстояние доставки от устья камеры до пункта разгрузки, м; l_b – длина вагона, м; L_3 – длина участка за-рубки комбайнового комплекса, м; L^I, L^{II}, L^{III} – длины характерных участков в очистной камере, м; $L_{кр}^I, L_{кр}^{II}, L_{кр}^{III}$ – критические длины характерных участков, м; $Q_k^I, Q_k^{II}, Q_k^{III}$ – производительность механизированного комбайнового комплекса на характерных участках, т/мин

Fig. 2. Change of the combine system performance along the length of the chamber: L_k – chamber length, m; l_p – delivery distance from the mouth of the chamber to the unloading point, m; l_b – car length, m; L_3 – length of the cutting section of the combine system, m; L^I, L^{II}, L^{III} – lengths of specific areas in the extraction chamber, m; $L_{кр}^I, L_{кр}^{II}, L_{кр}^{III}$ – critical lengths of specific areas, m; $Q_k^I, Q_k^{II}, Q_k^{III}$ – mechanized combine system performance in specific areas, t/min

минутной производительности комплекса при различном положении самоходного вагона в камере.

Для упрощения расчета производительности комбайнового комплекса предлагается методика, основанная на определении условных единиц работы комплекса.

Производительность комбайнового комплекса предлагается характеризовать тремя показателями:

- эксплуатационной средневзвешенной производительностью комбайнового комплекса при фактическом положении комплекса в камере;

- условными единицами работы комбайнового комплекса – интегральной суммой произведений производительности комбайнового комплекса на расстояние транспортирования в очистной камере;

- эксплуатационной производительностью комбайнового комплекса на характерном участке или в камере в целом.

Предлагаемая методика позволит повысить достоверность полученных результатов, а также снизить трудозатраты на выполнение проекторочных расчетов.

Основные положения методики определения производительности комбайнового комплекса с учетом условных единиц работы

Длина участка непрерывной работы комбайна составляет (см. рисунок 1):

$$L^I = L_{кр}^I - l_p - L_3$$

Первая критическая длина доставки

$$L_{кр}^I = \frac{V_{a1}}{2 \left(\frac{q_n}{Q_k - t_{p,v}} \right)},$$

где V_{a1} – эквивалентная скорость движения самоходного вагона на первом участке с учетом угла наклона выработки, м/мин; Q_k – техническая производительность комбайна, т/мин; $t_{p,v}$ – продолжительность разгрузки вагона, включая время маневров и пауз; q_n – начальный объем бункера (объем руды, который может разместиться в бункере-перегрузателе без перемещения его донным конвейером).

Длина участка II составляет (см. рис. 1):

$$L^{II} = L_{кр}^{II} - L_{кр}^I$$

Вторая критическая длина доставки:

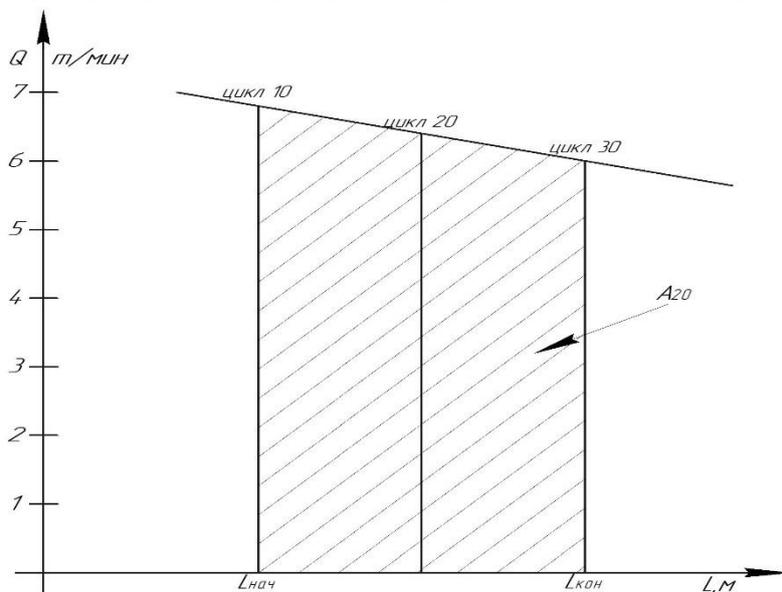


Рис. 2. Схема для определения условных единиц работы и производительности комбайнового комплекса:

A_{20} – условная единица работы комбайнового комплекса на участке от $L_{нач}$ до $L_{кон}$

Fig. 2. The scheme for determining the conventional units of work and the performance of the combine system:

A_{20} - conventional unit of work of the combine system in the area from $L_{нач}$ to $L_{кон}$

$$L_{кр}^I = \frac{1}{2} \frac{V_{\alpha 2}}{\left(\frac{q_{\alpha}}{Q_{к-т_{р,л}}} \right)}$$

где $V_{\alpha 2}$ – скорость движения вагона при длине доставки более 25 м, м/мин; q_{α} – грузоподъемность вагона с учетом угла наклона выработки, т; $t_{р,л}$ – продолжительность перегрузки руды из бункера-перегрузателя в самоходный вагон, мин.

Длина участка III (см. рис. 1):

$$L^{III} = L_{к} - L_3 - L^I - L^{II}$$

Длина типовой очистной камеры на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магнеситовых солей составляет $L_{кам} \approx 200$ м.

Эксплуатационная производительность комбайнового комплекса характеризует возможную среднюю производительность при проходке участка камеры длиной L_i (или всей камеры длиной $L_{кам}$) и определяется геометрически площадью под кривой $Q = f(L)$ (рис. 2), отнесенной к длине участка камеры или камеры в целом. Средневзвешенная эксплуатационная производительность комбайнового комплекса $Q^{(св)}$ равна отношению условных единиц работы комбайнового комплекса A (т·м/мин) на перемещение комбайна L (м):

$$Q^{(св)} = \frac{A}{L}. \quad (1)$$

Условная единица работы характеризует количество груза, перемещаемого в единицу времени на определенное расстояние. Понятие «условная единица работы» широко используется при определении производительности транспортных установок периодического (циклического) действия, например, шахтной электровозной откатки, погрузочно-транспортных машин, скреперных установок [9, 10]. С математической точки зрения работа комбайнового комплекса, выраженная в условных единицах –

это интеграл функции $Q(L)$ (см. рис. 2) с пределами интегрирования от $L_{нач}$ до $L_{кон}$.

Работа механизированного комбайнового комплекса по добыче руды из очистной камеры $A_{кам}$, выраженная в условных единицах, равна сумме условных единиц работы комплекса на характерных участках

$$A_{кам} = A_1 + A_2 + A_3, \quad (2)$$

где A_1 – количество условных единиц работы комбайнового комплекса по добыче руды из камеры на участке непрерывной работы комбайна длиной L^I , т·м/мин; A_2 – количество условных единиц работы комбайнового комплекса по добыче руды из камеры на участке L^{II} работы комбайна с остановками в период загрузки вагона, т·м/мин; A_3 – количество условных единиц работы комбайнового комплекса по добыче руды из камеры на участке L^{III} работы комбайна с остановками в периоды ожидания и загрузки вагона, т·м/мин [8].

$$A_1 = \int_{l_p+L_3}^{L_{кр}^I} Q_k^I(L) dL = Q_k(L_{кр}^I - L_3 - l_p) = Q_k L^I; \quad (3)$$

$$A_2 = \int_{L_{кр}^I}^{L_{кр}^{II}} Q_k^{II}(L) dL = \int_{L_{кр}^I}^{L_{кр}^{II}} \frac{q_{\alpha} dL}{\left(\frac{2L}{V_{\alpha 2}} + t_{р,в} + 0,5t_{р,л} \right)}; \quad (4)$$

$$A_3 = \int_{L_{кр}^{II}}^{L_{к}} Q_k^{III}(L) dL = \int_{L_{кр}^{II}}^{L_{к}} \frac{q_{\alpha} dL}{\left(\frac{2L}{V_{\alpha 2}} + t_{р,в} + 0,5t_{р,л} + t_{пр} \right)}, \quad (5)$$

где $t_{пр}$ – время простоя комбайна в ожидании вагона, мин [8].

Таким образом, условные единицы работы комбайнового комплекса по добыче руды из камеры

$$A_{кам} = \int_{l_p+L_3}^{L_{кр}^I} Q_k^I(L) dL + \int_{L_{кр}^I}^{L_{кр}^{II}} Q_k^{II}(L) dL + \int_{L_{кр}^{II}}^{L_{к}} Q_k^{III}(L) dL. \quad (6)$$

Для решения интегрального уравнения (4) введем обозначения

$$a = 2/V_{\alpha 2}; \quad (7)$$

$$b = t_{p,v} + 0,5t_{p,l}. \quad (8)$$

Для участка камеры L^{II} получаем интеграл от функции

$$A_2 = q_{\alpha} \int_{L_{\text{кр}}^{\text{I}}}^{L_{\text{кр}}^{\text{II}}} \frac{dL}{aL+b}. \quad (9)$$

Решение интеграла (9) имеет вид [11]

$$A_2 = q_{\alpha} \int_{L_{\text{кр}}^{\text{I}}}^{L_{\text{кр}}^{\text{II}}} \frac{dL}{aL+b} = \frac{q_{\alpha}}{a \ln(aL+b)} \Big|_{L_{\text{кр}}^{\text{I}}}^{L_{\text{кр}}^{\text{II}}} = \frac{q_{\alpha}}{a} \ln\left(\frac{aL_{\text{кр}}^{\text{II}}+b}{aL_{\text{кр}}^{\text{I}}+b}\right). \quad (10)$$

Это решение справедливо для всего участка L^{II} . Для определения условных единиц работы и производительности комбайнового комплекса внутри участка L^{II} нужно выбрать искомый участок, задав длину начала и конца участка. Например, для цикла № 20, когда вагон совершил 20 рейсов при проходе камеры, решение записывается в виде

$$A_2^{20} = \frac{q_{\alpha}}{a} \ln\left(\frac{aL_{\text{кон}}+b}{aL_{\text{нач}}+b}\right),$$

где A_2^{20} – работа комбайнового комплекса, выраженная в условных единицах, на участке длиной L от начала участка $L_{\text{нач}}$ до конца участка $L_{\text{кон}}$, т·м/мин.

Пример выполнения расчета по предлагаемой методике

Приведем пример расчета для цикла № 20, когда вагон совершил 20 рейсов при проходе очистной камеры. Механизированный комбайновый комплекс включает в себя проходско-очистной комбайн «Урал-20Р», бункер-перегрузатель БПС-25, самоходный вагон ВС-30. Длина очистной камеры $L_{\text{кам}} = 200$ м.

Исходные данные: техническая производительность комбайна $Q_k = 7$ т/мин; расстояние от рудоспускной скважины до начала рассчитываемого участка $L_{\text{нач}} = 89,2$ м; расстояние от рудоспускной скважины до конца рассчитываемого участка $L_{\text{кон}} = 107,6$ м; грузоподъемность ШСВ $q_{\alpha} = 30$ т; скорость движения ШСВ при длине доставки более 25 м, $V_{\alpha 2} = 150$ м/мин; продолжительность разгрузки ШСВ на рудоспускную скважину $t_{p,v} = 2,5$ мин; продолжительность перегрузки руды из бункера-перегрузателя в ШСВ, $t_{p,l} = 1,5$ мин.

Длина рассчитываемого участка $L = L_{\text{кон}} - L_{\text{нач}} = 107,6 - 89,2$ м = 18,4 м.

Параметры a и b рассчитываются по выражениям (7) и (8)

$$a = \frac{2}{V_{\alpha 2}} = \frac{2}{150} = 0,0133 \text{ мин/м}$$

$$b = t_{p,v} + 0,5t_{p,l} = 2,5 + 0,5 \cdot 1,5 = 3,25 \text{ мин}$$

Работа комбайнового комплекса, выраженная в условных единицах

$$A_2^{20} = \frac{q_{\alpha}}{a} \ln\left(\frac{aL_{\text{кон}}+b}{aL_{\text{нач}}+b}\right) = \frac{30,3}{0,0133} \ln\left(\frac{0,0133 \cdot 107,6 + 3,25}{0,0133 \cdot 89,2 + 3,25}\right) = 121,8 \text{ т} \cdot \text{м/мин}.$$

Средневзвешенная производительность комбайнового комплекса на рассчитываемом участке

$$Q_L^{(\text{св})} = \frac{A_2^{20}}{L} = \frac{121,8}{18,4} = 6,62 \text{ т/мин}.$$

На характерном участке камеры L^{II} (с длиной доставки от $L_{\text{кр}}^{\text{I}} = 80$ м до $L_{\text{кр}}^{\text{II}} = 137$ м) производительность комбайнового комплекса и совершенная им работа, выраженная в условных единицах, определяются производительностью ШСВ и рассчитываются по выражению (4).

В результате расчетов по формулам (1-10) определено, что работа комбайнового комплекса, выраженная в условных единицах, на участке длиной L^{I} составляет $A_1 = 350$ т·м/мин, средневзвешенная производительность комбайнового комплекса на участке длиной L^{I} составляет $Q_1^{(\text{св})} = 7$ т/мин.

Работа комбайнового комплекса, выраженная в условных единицах, на участке длиной L^{II} составляет $A_2 = 362$ т·м/мин, средневзвешенная производительность комбайнового комплекса на участке длиной L^{II} составляет $Q_2^{(\text{св})} = 6,35$ т/мин.

На участке L^{III} комбайн работает с остановками в периоды ожидания и загрузки вагона. Работа комбайнового комплекса, выраженная в условных единицах, на участке длиной L^{III} определяется решением уравнения (5). Время простоя комбайна $t_{пр}$ зависит от его положения в очистной камере и определяется длиной транспортирования отбитой руды ШСВ до рудоспускной скважины. Работа комбайнового комплекса, выраженная в условных единицах, на участке длиной L^{III} составляет $A_3 = 367$ т·м/мин, средневзвешенная производительность комбайнового комплекса на участке длиной L^{III} составляет $Q_3^{(\text{св})} = 5,02$ т/мин.

Средневзвешенная производительность комбайнового комплекса при проходе очистной камеры определяется по формуле

$$Q^{(\text{св})} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L_k - l_3}.$$

Расчеты показывают, что средневзвешенная производительность комбайнового комплекса при проходе очистной камеры составляет $Q^{(\text{св})} = 5,99$ т/мин.

Выводы

Предложенная методика позволяет определить производительность механизированного комплекса для любого цикла его работы, рассчитать средневзвешенную производительность комбайнового комплекса при отработке характерных участков и очистной камеры в целом, определить и выразить в условных единицах работу механизированного комплекса при добыче калийной руды на любом участке очистной камеры.

Результаты расчета производительности комбайнового комплекса по предложенной методике совпадают с результатами расчета по типовой методике (разность значений производительности

комбайнового комплекса, определенных по двум методикам, не превышает 1,0%), однако характеризуются меньшей трудоемкостью.

Предложенная методика может быть адаптирована и использована на рудниках с различными горно-геологическими и горнотехническими условиями работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыхин П.А. О модели и проблемах калийного рудника будущего // Научно-технический журнал «Рудник будущего». 2010. № 3. С. 44–47.

2. Коломийцев М.Д. Эксплуатация горных машин и автоматизированных комплексов. Л.: Изд-во ЛГИ, 1988. 96 с.

3. Повышение эффективности эксплуатации проходческо-очистных комбайнов калийных рудников на основе анализа записей регистраторов параметров / Д.И. Шишлянников, Н.В. Чекмасов, М.Г. Трифанов, В.В. Габов, С.Л. Иванов, С.А. Асонов // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 4 (113). С. 3-10.

4. Пухов Ю.С. Рудничный транспорт: 2-е издание, переработанное и дополненное М.: Недра, 1991. 255 с.

5. Brodny J. Application of elements of TPM strategy for operation analysis of mining machine / J. Brodny, M. Tutak // IOP conference series: earth and environmental science. 2015. Vol. 95, Iss. 4, Article

number 042019. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042019.

6. Романов В.А. Опыт эксплуатации шахтных самоходных вагонов на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / В.А. Романов, Д.И. Шишлянников, А.К. Муравский // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 9. С. 29-33.

7. Gerike V. Development of the preventive maintenance system for belt conveyors reducers / V. Gerike, I. Panachev, E. Kuzin // E3S Web of Conferences 2017. Vol. 15. Article number 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503008.

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

9. Развитие механизированной разработки калийных руд /Л.И. Старков, А.Н. Земсков, П.И. Кондрашов. – Изд-во Перм. гос. техн. унт-а, 200.- 522 с.

10. Григорьев В.Н., Дьяков В.А., Пухов Ю.С. Транспортные машины для подземных разработок. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М., Недра, 1984, 383 с.

11. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. Для инженеров и учащихся ВТУЗов. Издание восьмое, стереотипное. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва, 1959.

Mikhail S. Ozornin, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Dmitriy I. Shishlyannikov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Vyacheslav A. Romanov**, postgraduate student, **Valentin A. Lopouhov**, student

Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky prospekt, Perm, Russia, 614990

METHODS FOR DETERMINATION OF MECHANIZED COMBINE SYSTEM PERFORMANCE TAKING INTO ACCOUNT CONVENTIONAL UNITS OF WORK

Abstract:

The industry-specific methods for assessing the performance indicators of mechanized combine systems of potash mines are analyzed. Correct assessment of the operational productivity of mechanized combine systems, taking into account the influencing factors of mining and geological conditions, determines an increase in the stability of technological processes in the extraction chamber and an increase in the efficiency of using the mining and transport equipment of potash mines. The currently used methods for determining the operational performance of combine systems of potash mines are characterized by considerable complexity. A method of assessing the performance of the combine system based on the definition of work expressed in conventional units is proposed. The use of the proposed method allows a significant reduction in the amount and time required to perform assessment, while the weighted average performance of the combine system can be determined at any part of the extraction chamber. The proposed method can be adapted and used in mines with different mining and geological conditions of work.

Keywords: mechanized combine system, production, potash mine, conditional units of work, heading and winning machine, mine shuttle car.

Article info: received October 01, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-3-34-39

REFERENCES

1. Lyhin P.A. O modeli i problemah kalijnogo rudnika budushhego // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Rudnik budushhego». 2010. № 3. S. 44–47.
2. Kolomijcev M.D. Jekspluatacija gornyh mashin i avtomatizirovannyh kompleksov. L.: Izd-vo LGI, 1988. 96 s.
3. Povyshenie jeffektivnosti jekspluatatsii prohodchesko-ochistnyh kombajnov kalijnyh rudnikov na osnove analiza zapisej regulatorov parametrov / D.I. Shishljannikov, N.V. Chekmasov, M.G. Trifanov, V.V. Gabov, S.L. Ivanov, S.A. Asonov // Gornoe oborudovanie i jelektromehaniika. 2015. № 4 (113). S. 3-10.
4. Puhov Ju.S. Rudnichnyj transport: 2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe M.: Nedra, 1991. 255 s.
5. Brodny J. Application of elements of TPM strategy for operation analysis of mining machine / J. Brodny, M. Tutak // IOP conference series: earth and environmental science. 2015. Vol. 95, Iss. 4, Article number 042019. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042019.
6. Romanov V.A. Opyt jekspluatatsii shahtnyh samohodnyh vagonov na rudnikah Verhnekamskogo mestorozhdenija kalijno-magnievyyh solej / V.A.

Библиографическое описание статьи

Озорнин М.С., Шишлянников Д.И., Романов В.А., Лопухов В.А. Методика определения производительности механизированных комбайновых комплексов калийных рудников с учетом условных единиц работы // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 4 (144). – С. 34-39.

Romanov, D.I. Shishljannikov, A.K. Muravskij // Gornoe oborudovanie i jelektromehaniika. 2016. № 9. S. 29-33.

7. Gerike B. Development of the preventive maintenance system for belt conveyors reducers / B. Gerike, I. Panachev, E. Kuzin // E3S Web of Conferences 2017. Vol. 15. Article number 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503008.

8. Metodicheskoe rukovodstvo po vedeniju gornyh rabot na rudnikah OAO «Sil'vinit» / OAO «Galurgija». – Novosibirsk: Nauka, 2011. – 487 s.

9. Razvitie mehanizirovannoj razrabotki kalijnyh rud /L.I. Starkov, A.N. Zemskov, P.I. Kondrashov. – Izd-vo Perm. gos. tehn. unt-a, 200.- 522 s.

10. Grigor'ev V.N., D'jakov V.A., Puhov Ju.S. Transportnye ma-shiny dlja podzemnyh razrabotok. Uchebnik dlja vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. – M., Nedra, 1984, 383 s.

11. Bronshtejn I.N., Semendjaev K.A. Spravochnik po matematike. Dlja inzhenerov i uchashhihsja VTUZov. Izdanie vos'moe, stereotipnoe. Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko – matematicheskoy literatury. Moskva, 1959.

Reference to article

Ozorin M.S., Shishlyannikov D.I., Romanov V.A., Lopouhov V.A. Methods for determination of mechanized combine system performance taking into account conventional units of work. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 4 (144), pp. 34-39.