Определение параметров работы комбайновых комплексов калийных рудников при проходке камер неполным сечением забоя

Озорнин М. С.¹, Шишлянников Д. И.¹, Романов В. А.^{1*}

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

*e-mail: romanovs06@mail.ru

Реферат

Введение. Рассмотрена работа проходческо-очистного комбайнового комплекса в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Комбайновая выемка продуктивных пластов мощностью свыше 4 м осуществляется в два хода, нижний слой отрабатывается вторым ходом, при этом площадь забоя, как правило, меньше площади поперечного сечения исполнительного органа комбайна. В таком случае проходческо-очистной комбайн работает неполным забоем. Типовые методики расчета не содержат сведений для определения параметров работы комбайновых комплексов калийных рудников при проходке камер неполным сечением забоя.

Методология исследования. Изложены методологические основы определения производительности комбайновых комплексов в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Выполнен расчет основных параметров, характеризующих работу комбайнового комплекса при проходке камер неполным сечением забоя.

Результаты. На основании выявленных зависимостей возможно определять рациональный тип оборудования комбайнового комплекса, скорость подачи комбайна на забой, рациональные расстояния доставки исходя из типа оборудования и горно-геологических условий.

Выводы. Предложенная методика определения параметров работы комбайновых комплексов при проходке камер неполным сечением забоя может быть адаптирована и использована на калийных рудниках с различными горно-геологическими и горнотехническими условиями работы для определения производительности комбайновых комплексов.

Ключевые слова: комбайновый комплекс; очистная камера; калийный рудник; производительность; проходческо-очистной комбайн; шахтный самоходный вагон.

Введение. В условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей при разработке свиты сближенных пластов В, АБ и Красный II применяется камерная система с естественным поддержанием очистного пространства и выемкой максимальной части блока или панели камерами.

При мощности пласта свыше 4 м отработка камер осуществляется двумя ходами комбайна с наложением сечений по высоте. Первым ходом комбайн осуществляет выемку верхнего слоя с максимальной площадью поперечного сечения забоя (работа полным или глухим забоем). Нижний слой отрабатывается вторым ходом, при этом площадь забоя, как правило, меньше площади поперечного сечения исполнительного органа комбайна. Проходческо-очистной комбайн работает неполным забоем, осуществляя подрубку продуктивного пласта.

Типовые методики расчета зачастую не содержат сведений для определения параметров работы комбайновых комплексов калийных рудников при проходке камер неполным сечением забоя. Выявление зависимостей, характеризующих работу оборудования комбайнового комплекса при выполнении технологической операции подрубки, является актуальной инженерной задачей.

Методологические основы исследования. Рассмотрим работу механизированного комбайнового комплекса при проходке камеры неполным сечением

забоя. При выполнении расчетов примем, что в состав комбайнового комплекса входят проходческо-очистной комбайн «Урал-20Р», бункер-перегрузатель БПС-25 и самоходный вагон ВС-30. Характеристики указанного оборудования приведены в [1]. Техническая производительность комбайна $Q_k = 6,0; 7,0; 8,0$ т/мин. Длина отработываемой камеры составляет $L_k \approx 200$ м.

Минутная производительность комбайна Q_k при выполнении технологической операции подрубки пласта зависит от скорости подачи и площади поперечного сечения забоя

$$Q_k = v_k S_n \rho,$$

где v_k – скорость подачи комбайна, м/мин; S_n – площадь поперечного сечения забоя при подрубке пласта, м²; ρ – плотность калийной руды в массиве, $\rho = 2,1$ т/м³.

Рис. 1. Зависимость производительности комбайна от площади поперечного сечения забоя:

1 – $Q_k = 6$ т/мин; 2 – $Q_k = 7$ т/мин; 3 – $Q_k = 8$ т/мин

Fig. 1. The dependence of the machine's capacity on the area of face cross section:

1 – $Q_k = 6$ t/min; 2 – $Q_k = 7$ t/min; 3 – $Q_k = 8$ t/min

Работая полным (глухим) забоем, машинист поддерживает скорость подачи комбайна «Урал-20Р» в диапазоне $v_k = 0,19–0,25$ м/мин [2]. При выполнении подрубки производительность проходческо-очистного комбайна уменьшается пропорционально площади отработываемого забоя.

Для поддержания заданной производительности машинист выбирает скорость подачи комбайна, ориентируясь на показания токовых индикаторов нагрузки приводных электродвигателей комбайна. В связи с тем что двигатели резцовых дисков комбайнов «Урал-20Р» при работе неполным забоем, как правило, недогружены, на практике скорость подачи поддерживается в диапазоне $v_k = 0,35–0,40$ м/мин [2, 3].

В очистных камерах калийных рудников при проходке каждого комбайнового хода выделяют три характерных участка с различным режимом работы добычной машины. На участке L^1 комбайн работает непрерывно с эксплуатационной производительностью, равной технической. Отбитая руда аккумулируется в бункер-перегрузателе, откуда, по мере заполнения, отгружается в шахтный самоходный вагон (ШСВ). Производительность самоходного вагона выше производительности

сти комбайна. 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 [4–7]. Таким образом, длина очистной камеры $L_{\text{к}}$ может быть определена выражением

$$L_{\text{к}} = L_3 + L^{\text{I}} + L^{\text{II}} + L^{\text{III}},$$

где L_3 – длина участка зарубки комбайна на очередную камеру, м; L^{I} , L^{II} , L^{III} – длины характерных участков работы комбайна в очистной камере, м.

Рис. 2. Зависимость скорости подачи комбайна от площади поперечного сечения забоя:

1 – $Q_{\text{к}} = 6$ т/мин; 2 – $Q_{\text{к}} = 7$ т/мин; 3 – $Q_{\text{к}} = 8$ т/мин

Fig. 2. The dependence of the rate of hauling the machine to the face on the area of face cross section:

1 – $Q_{\text{к}} = 6$ t/min; 2 – $Q_{\text{к}} = 7$ t/min; 3 – $Q_{\text{к}} = 8$ t/min

Длина участка непрерывной работы комбайна L^{I} , м, рассчитывается по формуле

$$L^{\text{I}} = L_{\text{кр}}^{\text{I}} - l_{\text{п}} - L_3,$$

где $l_{\text{п}}$ – расстояние доставки от устья камеры до пункта разгрузки, м; L_3 – длина участка зарубки комбайна на очередную камеру, м; $L_{\text{кр}}^{\text{I}}$ – первая критическая длина доставки – расстояние от рудоспускной скважины до забоя, при котором производительность самоходного вагона выше производительности комбайна, м.

Первая критическая длина доставки определяется параметрами самоходного вагона и рассчитывается по формуле [4]

$$L_{\text{кр}}^{\text{I}} = \frac{V_{\alpha}}{2} \left(\frac{q_{\alpha}}{Q_{\text{к}}} - t_{\text{р.в}} \right),$$

где V_{α} – скорость движения вагона при длине доставки более 25 м, м/мин; q_{α} – грузоподъемность вагона с учетом угла наклона выработки, т; $t_{\text{р.в}}$ – продолжительность разгрузки самоходного вагона в рудоспускную скважину, мин.

Для загрузки самоходного вагона при выполнении подрубки пласта с сечением забоя S_n комбайн должен переместиться на расстояние L_1 , м, рассчитываемое по формуле

$$L_1 = q_a / S_n \rho.$$

Время T_k , мин, в течение которого комбайн заполняет кузов бункера-перегрузжателя или самоходного вагона, определяется выражением

$$T_k = q_a / Q_k.$$

На участке очистной камеры длиной L^1 время загрузки кузова самоходного вагона или бункера-перегрузжателя должно быть не менее длительности цикла движения и разгрузки самоходного вагона $T_{\text{ц}}$, мин, рассчитываемого по формуле

$$T_k > T_{\text{ц}} = T_{\text{гр}} + T_{\text{пор}} + t_{\text{р.в}},$$

где $T_{\text{гр}}$ и $T_{\text{пор}}$ – время движения груженого и порожнего самоходного вагона соответственно, мин.

Рис. 3. Зависимость критического расстояния доставки от площади поперечного сечения забоя:

1 – $Q_k = 6$ т/мин; 2 – $Q_k = 7$ т/мин; 3 – $Q_k = 8$ т/мин

Fig. 3. The dependence of critical hauling distance on the area of face cross section:

1 – $Q_k = 6$ t/min; 2 – $Q_k = 7$ t/min; 3 – $Q_k = 8$ t/min

Результаты расчетов параметров работы комбайнового комплекса при проходке очистной камеры неполным сечением забоя приведены на рис. 1–5.

Анализ результатов исследования. Производительность проходческо-очистного комбайна при выполнении подрубки пласта увеличивается практически пропорционально площади поперечного сечения забоя (рис. 1).

При площади обрабатываемого забоя более половины площади сечения исполнительного органа комбайна машинист уменьшает скорость подачи выемочной машины, ориентируясь на показатели индикаторов токовых нагрузок приводных электродвигателей исполнительных органов комбайна [8–12]. Зависимости

изменения скорости подачи комбайна от площади поперечного сечения обрабатываемого забоя приведены на рис. 2.

Зависимости изменения критического расстояния доставки $L_{кр}^I$ от площади поперечного сечения обрабатываемого забоя приведены на рис. 3.

Рис. 4. Зависимость перемещения комбайна от площади поперечного сечения забоя для заполнения кузова самоходного вагона

Fig. 4. The dependence of the machine's transference on the area of face cross section in order to load the body of a self-propelled car

Расчеты показывают, что при площади забоя $S_n \leq 7 m^2$ и использовании самоходного вагона ВС-30 комбайн «Урал-20Р» работает непрерывно, без технологических пауз по всей длине камеры ($L_k = 200 m$) с производительностью, пропорциональной площади поперечного сечения забоя. Увеличение площади

Рис. 5. Зависимость времени заполнения кузова вагона от площади поперечного сечения забоя:

1 – $Q_k = 6 t/min$; 2 – $Q_k = 7 t/min$; 3 – $Q_k = 8 t/min$

Fig. 5. The dependence of the time of filling the body of the car on the area of face cross section:

1 – $Q_k = 6 t/min$; 2 – $Q_k = 7 t/min$; 3 – $Q_k = 8 t/min$

поперечного сечения забоя при заданной производительности выемочной машины обуславливает необходимость снижения скорости подачи комбайна и уменьшения длины участка непрерывной работы комбайна L^I в очистной камере [14, 15].

Длина подвигания комбайна L_1 , при которой объем отбитой руды равен вместимости бункера самоходного вагона, обратно пропорциональна площади забоя S_n : при увеличении площади забоя S_n от 4 до 15,7 м² длина L_1 уменьшается с 3,66 до 0,93 м и не зависит от величины технической производительности комбайна Q_k (рис. 4).

Увеличение площади поперечного сечения забоя S_n от 4 до 15,7 м² приводит к уменьшению времени заполнения кузова самоходного вагона или бункера-перегрузателя в 3,9 раза: при $Q_k = 6,0$ т/мин время заполнения кузова уменьшится с 19,9 до 5,1 мин; при $Q_k = 7,0$ т/мин – с 17,0 до 4,3 мин; при $Q_k = 8,0$ т/мин – с 14,9 до 3,8 мин (рис. 5).

Выводы. Определены зависимости, характеризующие работу оборудования комбайнового комплекса при выполнении технологической операции подрубки пласта. На основании выявленных зависимостей возможно определять рациональный тип оборудования комбайнового комплекса, скорость подачи комбайна на забой, рациональные расстояния доставки исходя из типа оборудования и горно-геологических условий. Предложенные методологические основы определения параметров работы комбайновых комплексов при проходке камер неполным сечением забоя могут быть адаптированы и использованы на калийных рудниках с различными горно-геологическими и горнотехническими условиями работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие механизированной разработки калийных руд / Л. И. Старков [и др.]. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2007. 522 с.
2. Шишлянников Д. И., Чекмасов Н. В., Трифанов М. Г., Габова В. В., Иванов С. Л., Асонов С. А. Повышение эффективности эксплуатации проходческо-очистных комбайнов калийных рудников на основе анализа записей регистраторов параметров // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 4 (113). С. 3–10.
3. Коломийцев М. Д. Эксплуатация горных машин и автоматизированных комплексов. Л.: ЛПИ, 1988. 96 с.
4. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия». Новосибирск: Наука, 2011. 487 с.
5. Лыхин П. А. О модели и проблемах калийного рудника будущего // Рудник будущего. 2010. № 3. С. 44–47.
6. Пухов Ю. С. Рудничный транспорт. М.: Недра, 1991. 255 с.
7. Транспортные машины для подземных разработок / В. Н. Григорьев [и др.]. М.: Недра, 1984. 383 с.
8. Романов В. А., Шишлянников Д. И., Муравский А. К. Опыт эксплуатации шахтных самоходных вагонов на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 9. С. 29–33.
9. Gerike B., Panachev I., Kuzin E. Development of the preventive maintenance system for belt conveyors reducers // E3S Web of Conferences. 2017. Vol. 15. Article number 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503008
10. Brodny J., Tutak M. Application of elements of TPM strategy for operation analysis of mining machine // IOP conference series: earth and environmental science. 2015. Vol. 95. Iss. 4. Article number 042019. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042019
11. Cakdi S., Cummings S., Punwani J. Heavy haul coal car wheel load environment-rolling contact fatigue investigation // 2015 Joint Rail Conference. San Jose, California, USA, Marh 23–26. Article number 112635. DOI: 10.1115/JRC2015-5640
12. Jobes C. C., Bissert P., Mahmoudian N., Li B. Development of parameters for dynamic modeling of underground haulage vehicles // ASME 2016 international mechanical engineering congress and exposition, IMECE 2016. Article number 128056. DOI: 10.1115/IMECE201665381
13. Quiroz J. C., Mariun N., Mehrouz M. R., Izadi M., Mison N., Mohd M. A. Radzi. Fault detection of broken rotor bar in LS-PMSM using random forests // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. 2017. Vol. 116. P. 273–280. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.11.004
14. Романов В. А., Шишлянников Д. И., Муравский А. К. Опыт эксплуатации шахтных самоходных вагонов на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 9. С. 29–33.
15. Романов В. А., Шишлянников Д. И. Повышение эффективности эксплуатации шахтных самоходных вагонов на основе анализа потребляемой мощности // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: матер. VIII Всерос. конф., Пермь, 2015. Пермь: ПНИПУ, 2015. С. 290–293.

Сведения об авторах:

Озорнин Михаил Степанович – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: ozorninm@mail.ru

Шишлинников Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: 4varjag@mail.ru

Романов Вячеслав Александрович – аспирант кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: romanovs06@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-105-112

Determining the operating parameters of machine systems in potash mines when tunneling with stope back partial section**Mikhail S. Ozornin¹, Dmitrii I. Shishliannikov¹, Viacheslav A. Romanov¹**¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.**Abstract**

Introduction. Heading and winning machine system operation has been considered in the conditions of the Upper Kama (Verkhnekamskoe) potassium and magnesium salt deposit. Excavation of producing formations with the thickness of more than 4 m is carried out in two moves. The lower layer is excavated by the second move, while the area of the stope back is usually less than the cross-sectional area of the machine's executive body. In this case, the heading and winning machine does not have a full face. Typical calculation methods contain no information for determining the operating parameters of machine systems at potash mines when tunneling with stope back partial section.

Research methodology. The methodological foundations of a machine system capacity determination in the conditions of the Upper Kama potassium and magnesium salt deposit are described. The calculation of the main parameters characterizing the operation of the machine system when tunneling with stope back partial section.

Results. Based on the identified dependencies, it is possible to determine the rational type of machine system equipment, the rate of hauling the machine to the face, and rational delivery distances based on equipment type and geological conditions.

Summary. The proposed method of a machine system's operating parameters determination in potash mine when tunneling with stope back partial section can be adapted and used in potash mines with various mining and geological and mining conditions to determine the capacity of machine systems.

Key words: machine system; stope; potash mine; capacity; heading and winning machine; self-propelled mine car.

REFERENCES

1. Starkov L. I. et al. *Development of potash ore mechanized mining*. Perm: Perm State Technical University Publishing; 2007. (In Russ.)
2. Shishliannikov D. I., Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Gabov V. V., Ivanov S. L., Asonov S. A. Improving the Efficiency of Combines Potash Mines in the Analysis of Records. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2015; 4 (113): 3–10. (In Russ.)
3. Kolomitsev M. D. *Mine machines and automated systems operation*. Leningrad: LGI Publishing; 1988. (In Russ.)
4. The methodological guidance on mining at the mines of OAO Salvinit. In: *OAO Galurgia*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 2011. (In Russ.)
5. Lykhin P. A. Upon the model and the problems of a potash mine of the future. *Rudnik budushchego = Mine of the Future*. 2010; 3: 44–47. (In Russ.)
6. Pukhov Iu. S. *Mine transport*. Moscow: Nedra Publishing; 1991. (In Russ.)
7. Grigoriev V. N. et al. *Transport machines for underground mining*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)
8. Romanov V. A., Shishliannikov D. I., Muravskii A. K. Operating experience of mine shuttle curs on potash mines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2016; 9: 29–33. (In Russ.)
9. Gerike B., Panachev I., Kuzin E. Development of the preventive maintenance system for belt conveyors reducers. *E3S Web of Conferences*. 2017; 15; Article number 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503008
10. Brodny J., Tutak M. Application of elements of TPM strategy for operation analysis of mining machine. *IOP conference series: earth and environmental science*. 2015. Vol. 95. Iss. 4. Article number 042019. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042019

11. Kakdi S., Cummings S., Punwani J. Heavy haul coal car wheel load environment-rolling contact fatigue investigation. *2015 Joint Rail Conference. San Jose, California, USA, March 23–26*. Article number 112635. DOI: 10.1115/JRC2015-5640

12. Jobes C. C., Bissert P., Mahmoudian N., Li B. Development of parameters for dynamic modeling of underground haulage vehicles. *ASME 2016 international mechanical engineering congress and exposition, IMECE 2016*. Article number 128056. DOI: 10.1115/IMECE201665381

13. Quiroz J. C., Mariun N., Mehrjou M. R., Izadi M., Misron N., Mohd M. A. Radzi. Fault detection of broken rotor bar in LS-PMSM using random forests. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2017. Vol. 116. p. 273–280. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.11.004

14. Romanov V. A., Shishliannikov D. I., Muravskii A. K. Operating experience of mine shuttle cars on potash mines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2016; 9: 29–33. (In Russ.)

15. Romanov V. A., Shishliannikov D. I. Improving the efficiency of self-propelled shaft cars operation based on the analysis of input power. In: *The problems of mining the deposits of hydrocarbon and ore minerals: proceedings of 8th All-Russian conf., Perm, 2015*. Perm: PNIPU Publishing; 2015. p. 290–293. (In Russ.)

Received 19 August 2019

Information about authors:

Mikhail S. Ozornin – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: ozorninm@mail.ru

Dmitrii I. Shishliannikov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: 4varjag@mail.ru

Viacheslav A. Romanov – PhD student of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: romanovs06@mail.ru

Для цитирования: Озорнин М. С., Шишлианников Д. И., Романов В. А. Определение параметров работы комбайновых комплексов калийных рудников при проходке камер неполным сечением забоя // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 1. С. 105–112. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-105-112

For citation: Ozornin M. S., Shishliannikov D. I., Romanov V. A. Determining the operating parameters of machine systems in potash mines when tunneling with stope back partial section. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 1: 105–112 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-105-112