

## О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ РЕСУРСЕ ЭКСКАВАТОРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ

Селюков А.В.<sup>1</sup>, Кузнецов И.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва, Кемерово;

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения  
Российской академии наук, Кемерово

**Ключевые слова:** механическая лопата, открытые горные работ, блок вскрышных пород, резерв, регламентированные перерывы, организация взрывных работ, климатические условия.

**Аннотация.** Экскаваторы большой единичной мощности характеризуется повышенной вместимостью ковша и, как следствие этого, высокой производительностью и стоимостью. В связи с этим любые простои такого оборудования наносят ощутимый экономический ущерб горнодобывающему предприятию (разрезу) которое применяет данные экскаваторы. В ходе работы выявляется технологический и организационный резерв повышения эффективности работы вскрышного экскаватора типа «механическая лопата». Представлены расчетные формулы для определения технической производительности экскаватора, продолжительность перемещения экскаватора, продолжительность отработки блока подготовленных вскрышных пород оперирующие рабочими и технологическими параметрами экскаватора, а также горнотехническими условиями эксплуатации. Представлены расчеты производительности и продолжительность отработки блока на примере экскаватора-мехлопаты РН-4100 с учетом влияния регламентированных перерывов, климатических условий и организацию взрывных работ.

## ABOUT THE TECHNOLOGICAL RESOURCE OF THE EXCAVATOR DURING OVERBURDEN WORKS

Selyukov A.V.<sup>1</sup>, Kuznetsov I.S.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo;

<sup>2</sup>Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the  
Russian Academy of Sciences, Kemerovo

**Keywords:** mechanical shovel, open-pit mining, block of overburden rocks, reserve, regulated breaks, organization of blasting operations, climatic conditions.

**Abstract.** Excavators of large unit capacity are characterized by increased bucket capacity and, as a consequence, high productivity and cost. In this regard, any downtime of such equipment causes significant economic damage to the mining enterprise (open pit) that uses these excavators. In the course of the work, a technological and organizational reserve for increasing the efficiency of a stripping excavator of the "mechanical shovel" type is identified. Calculation formulas are presented for determining the technical performance of the excavator, the duration of the excavator movement, the duration of the development of a block of prepared overburden rocks operating with the working and technological parameters of the excavator, as well as mining and technical operating conditions. Calculations of the productivity and duration of the block are presented using the example of the RN-4100 mechanical excavator-shovel, taking into account the influence of scheduled breaks, climatic conditions and the organization of blasting operations.

**Введение.** Технологический ресурс экскаватора в значительной мере определяется технологией отработки экскаваторной заходки, регламентированными перерывами, влиянием климатических условий, организацией взрывных работ и надежностью экскаватора.

К технологическим факторам относится длина траектории перемещения экскаватора, во время которого не производятся выемочно-погрузочные работы. Выемочно-погрузочные работы также не производятся во время ведения взрывных работ. Климатические условия могут ограничить время работы экскаватора при низких температурах [1-6].

Надежность экскаватора влияет на устойчивость режима выемочно-погрузочных работ и возникающие внеплановые простои экскаватора по техническим (аварийным) причинам [7-10].

**Основная часть.** Рассмотрим влияние этих факторов на технологический ресурс мощных экскаваторов при отработке уступа крепких пород с применением буровзрывной подготовки.

Длина траектории перемещения экскаватора при обработке взорванного блока зависит от рабочих параметров экскаватора, ширины развала пород после взрывного рыхления и порядка его обработки (рис. 1).

Длина перемещения экскаватора перпендикулярно забою

$$L_{\Pi_2} = R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min} = \Delta L_3, \quad (1)$$

где  $R_{ч.у}^{\max}$  и  $R_{ч.у}^{\min}$  – соответственно максимальный и минимальный радиус черпания  $R_{ч.у}$  на уровне стояния экскаватора, м;  $\Delta L_3$  – изменение длины заходки  $L_3$ , м.

Длина перемещения экскаватора вдоль забоя

$$L_{\Pi_1} = B_p - R_{ч.у} - 0,5 \cdot L_3, \quad (2)$$

$$\frac{L_3}{\sin \delta} = \frac{R_{ч.у}^{\max}}{\sin \delta}; \text{ откуда } L_3 = \frac{R_{ч.у}^{\max} \sin \delta}{\sin \delta}, \text{ т.е. } L_3 = R_{ч.у}^{\max}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – угол черпания экскаватора с одного места стояния, град;  $\delta = 60^\circ$ ;  $B_p$  – ширина развала вскрышной породы, м.

Время на переезды от одного места стояния до другого вдоль забоя

$$T_n = \frac{L_{\Pi_1}}{v_{н.э}}, \quad (4)$$

где  $v_{н.э}$  – скорость перемещения экскаватора, м/ч.

Время на перемещение экскаватора перпендикулярно к линии забоя (развала)

$$T_n = \frac{L_{\Pi_2}}{v_{н.э}}, \text{ но } L_{\Pi_2} = R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}, \quad (5)$$

тогда 
$$T_n = \frac{R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}}{v_{н.э}}. \quad (6)$$

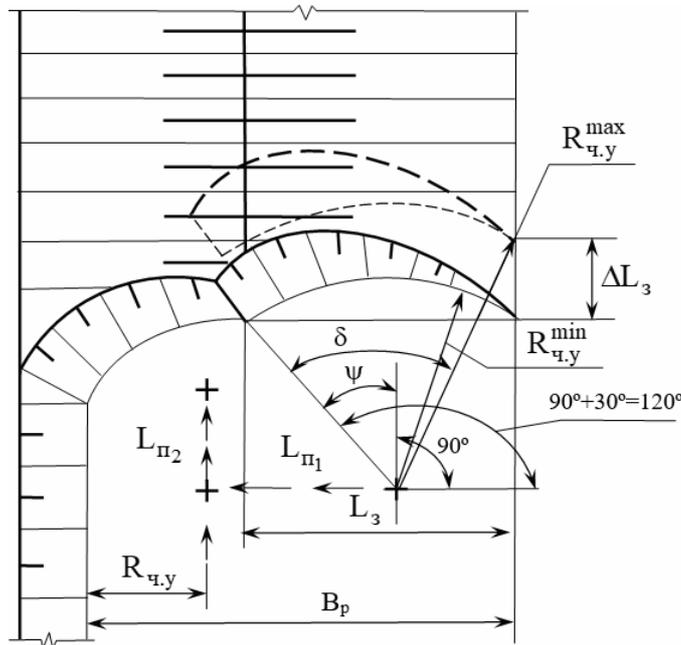


Рис. 1. Схема к расчету длины перемещения экскаватора при обработке развала вскрышных пород

Общая длина траектории перемещения экскаватора при обработке блока с БВР

$$\begin{aligned} L_{об} &= L_6 - (R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}) + \frac{L_6}{(R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min})} [B_p - (R_{ч.у}^{\min} + R_{ч.у}^{\max} \cdot \sin \psi)] = \\ &= L_6 \left( 1 + \frac{1}{R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}} \right) - [B_p - R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min} \cdot \sin \psi] - (R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}), \end{aligned} \quad (7)$$

тогда 
$$L_{об} = L_{\sigma} \left[ 1 + \frac{1}{(R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min})} \right] \left[ B_p - R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min} \cdot \sin \psi \right] - (R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}), \quad (8)$$

где  $\psi$  – угол между осью движения экскаватора вдоль развала пород и линией черпания экскаватора от нижней бровки развала, град;  $L_{\sigma}$  – длина экскаваторного взрываемого блока, м.

Общее время на перемещение экскаватора в процессе выемочно-погрузочных работ при отработке блока составит

$$T_{об} = \frac{L_{об}}{V_{н.э}}. \quad (9)$$

Но перед взрывом очередного блока экскаватор по правилам безопасности должен быть отогнан назад на расстояние  $L_{\sigmaез}$  с последующим возвращением к развалу на расстояние  $L_{нос} = L_{\sigmaез} - \Delta B_p$ .

Тогда общая длина перемещения экскаватора при отработке блока с учетом отгона экскаватора при БВП составит

$$L_{об}^{БВП} = L_{\sigma} \left[ 1 + \frac{1}{(R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min})} \right] \left[ B_p - R_{ч.у}^{\max} (1 + \sin \psi) \right] - (R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}) + 2L_{\sigmaез} - \Delta B_p, \quad (10)$$

где  $\Delta B_p$  – приращение развала пород к ширине буровзрывной заходке, м;

И общее время на перемещение экскаватора при отработке вскрышного блока с БВП составит

$$T_{об}^{БВП} = \frac{L_{об}^{БВП}}{V_{н.э}}. \quad (11)$$

Время на отработку блока по выемочно-погрузочным работам [1, 5, 6]:

$$T_{ВП} = \frac{A \cdot H_y \cdot L_{\sigma}}{Q_3^{mex}}, \quad (12)$$

где  $A$  – ширина заходки по целику, м;  $H_y$  – высота уступа, м;  $Q_3^{mex}$  – техническая производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/ч.

$$Q_3^{mex} = \frac{3600 \cdot E_k \cdot K_n}{t_{ч.р} \cdot K_p}, \quad (13)$$

где  $t_{ч.р}$  – продолжительность рабочего цикла экскаватора, с;  $E_k$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;  $K_n$  – коэффициент наполнения ковша;  $K_p$  – коэффициент разрыхления взорванных пород.

Время отработки блока с учетом влияния буровзрывных работ составит

$$T_{отр} = T_{об}^{БВП} + T_{ВП} = \left\{ \frac{L_{\sigma} \left[ 1 + \frac{1}{(R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min})} \right] \left[ B_p - R_{ч.у}^{\max} (1 + \sin \psi) \right] - (R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}) - 2 \cdot L_{\sigmaез} - \Delta B_p}{V_{н.э}} + \frac{A \cdot H_y \cdot L_{\sigma}}{Q_3^{mex}} \right\}. \quad (14)$$

$$Q_3^{mex} = \frac{3600 \cdot E_k \cdot K_n}{t_{ч.р} \cdot K_p}, \quad (15)$$

тогда 
$$T_{отр} = \left\{ \frac{L_{\sigma} \left[ 1 + \frac{1}{(R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min})} \right] \left[ B_p - R_{ч.у}^{\max} (1 + \sin \psi) \right] - (R_{ч.у}^{\max} - R_{ч.у}^{\min}) - 2 \cdot L_{\sigmaез} - \Delta B_p}{V_{н.э}} + \frac{A \cdot H_y \cdot L_{\sigma} \cdot t_{ч.р} \cdot K_p}{3600 \cdot E_k \cdot K_n}, \right\} \text{ч}, \quad (16)$$

Затраты времени на регламентированные перерывы на один час работы экскаватора [6]:

$$T'_{р.н} = (T_{н.э} + T_{л.н} + T_{н.н}) / 8, \quad (17)$$

где  $T_{п.з}$  – время подготовительно-заключительные операции, на перерывы, мин;  $T_{л.н}$  – время на обслуживание рабочего места, мин;  $T_{п.н}$  – время на прием/передачу смены, мин.

Общее время отработки взорванного блока с учетом регламентированных перерывов составит

$$T_{omp}^p = T_{omp} + T_{omp} \frac{T'_{п.н}}{60} = T_{omp} \left( 1 + \frac{T'_{п.н}}{60} \right). \quad (18)$$

Среднечасовая производительность экскаватора по отработке взорванного блока [6]:

$$Q_c^p = \frac{A \cdot H_y \cdot L_{\sigma}}{T_{omp}^p}. \quad (19)$$

Для примера, рассчитаем среднечасовую производительность экскаватора РН-4100, общий вид технологической схемы производства вскрышных работ представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Общий вид технологической схемы производства вскрышных работ по взорванным породам экскаватором мехлопаты РН-4100 в условиях отработки угольного месторождения Кузнецкого бассейна

Принято:  $H_y = 20\text{м}$ ;  $A = 20\text{м}$ ;  $L_{\sigma} = 100\text{м}$ ;  $R_{ч.н}^{\max} = 21\text{м}$ ;  $R_{ч.н}^{\min} = 9\text{м}$ ;  $E_k = 56\text{м}^3$ ;  $t_{ч.п} = 32\text{с}$ ;  $B_p = 40\text{м}$ ;  $L_{без} = 200\text{м}$ ;  $\Delta B_p = 20\text{м}$ ;  $v_{п.з} = 200\text{м/ч}$  – с учетом подготовки трассы.

$$T_{omp}^p = \left\{ \begin{array}{l} 100 \left[ 1 + \frac{1}{(21-9)} \right] [40 - 21(1 + \sin 30^\circ)] - \\ - (21-9) - 2 \cdot 200 - 20 \end{array} \right\} / 200 + \frac{20 \cdot 20 \cdot 100 \cdot 32 \cdot 1,4}{3600 \cdot 56 \cdot 1,2} = \quad (20)$$

$$= (108 \cdot 8,5 - 12 - 400 - 20) / 200 + 7,4 = 9,8\text{ч.}$$

$$Q_{с.ч}^p = \frac{20 \cdot 20 \cdot 100}{9,8} = 4081 \text{ м}^3/\text{ч.} \quad (21)$$

С учетом влияния климатических условий и надежности прогнозная нормативная среднечасовая производительность РН-4100 составит

$$Q_{с.ч}^{п.к} = Q_{с.ч}^p \cdot K_{кл} \cdot K_n = 4081 \cdot 0,95 \cdot 0,96 = 3722 \text{ м}^3/\text{ч.} \quad (22)$$

Техническая производительность без учета перемещений экскаватора составит  $Q_c^p = 5400 \text{ м}^3/\text{ч}$ . А с учетом влияния климатических условий и надежности  $Q_c^p = 4925 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

**Заключение.** Определён технологический ресурс ведения вскрышных работ в безугольной зоне карьерного поля при отработке взорванных вскрышных заходов на примере экскаватора мехлопаты РН-4100, учитывающий влияние регламентированных перерывов и организацию взрывных работ. Разработанный подход к организации выполнения работ в технологической схеме позволил оптимизировать порядок отгрузки развала пород с

повышением производительность экскаватора на 7%. с доведением среднечасовой эксплуатационной производительности экскаватора до 3722 м<sup>3</sup>/ч.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках гранта (постановление Правительства Кемеровской области – Кузбасса от 19.09.2022 № 632) по прикладному научному исследованию «Разработка программно-методического обеспечения для цифровизации процессов проектирования горнотехнических систем для открытых и подземных горных работ», соглашение от 22.11.2022 г. №1.

#### Список литературы

1. Томаков П.И., Наумов И.К. Технология, механизация и организация открытых горных работ: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 312 с.
2. Селюков А.В. Режим горных работ при переходе действующих разрезов Кузбасса на поперечную систему разработки наклонных и крутых угольных залежей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №S7. – С. 77-80.
3. Хмызников К.П., Лыков Ю.В. Горные машины для открытых горных работ. Карьерные экскаваторы: учеб. пособие. – СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. – 40 с.
4. Анистратов Ю.И. Технология открытых горных работ. – М.: Недра, 1995. – 284 с.
5. Трубеткой К.Н., Потапов М.Г., Виноцкий К.Е., Мельников Н.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
6. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ: Учебник. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 631 с.
7. Булес П. Обеспечение надежности работы карьерных гидравлических экскаваторов при их эксплуатации на открытых разработках России: Автореф. ... канд. техн. наук. – М.: МИСиС, 2016. – 24 с.
8. Кузнецов И.С. Оптимизация параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов с учетом внеплановых простоев: Дисс. ... канд. техн. наук. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, КузГТУ, 2022. – 169 с.
9. Квагинидзе В.С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горнотранспортного оборудования в условиях низких температур: Дисс. ... докт. техн. наук. – Кемерово: КузГТУ, 2003. – 313 с.
10. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надёжности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов на карьере // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 10-21. – doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10.

#### References

1. Tomakov P.I., Naumov I.K. Technology, mechanization and organization of open-pit mining: textbook for universities. – 2nd ed., revised and add. – M.: Nedra, 1986. – 312 p.
2. Selyukov A.V. Mining mode during the transition of operating open-pit mines in Kuzbass to a transverse system of development of inclined and steep coal deposits // Mining information and analytical bulletin. 2009, no. S7, pp. 77-80.
3. Khmyznikov K.P., Lykov Yu.V. Mining machines for open-pit mining. Quarry excavators: textbook. – SPb.: Saint-Petersburg mining in-t, 1999. – 40 p.
4. Anistratov Yu.I. Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinitsky K.E., Melnikov N.N. et al. Open-pit mining technology. – M.: Nedra, 1995. – 284 p.
5. Trubetskoy K.N. Handbook. Open-pit mining. – M: Mining Bureau, 1994. – 590 p.
6. Rzhevsky V.V. Technology and complex mechanization of open-pit mining. Textbook. – 3rd ed., revised and add. – M.: Nedra, 1980. – 631 p.
7. Bules P. Ensuring the reliability of quarry hydraulic excavators during their operation in open-pit mines in Russia: Abstract ... cand. of tech. sc. – M.: MISIS, 2016. – 24 p.
8. Kuznetsov, I.S. Optimization of parameters of quarry excavator-truck complexes taking into account unscheduled downtime: Diss. cand. of tech. sc.. – Kemerovo: FRC CCC SB RAS, KuzSTU, 2022. – 169 p.
9. Kvaginidze V.S. Diagnostics, maintenance and repair of quarry mining and transport equipment in low temperature conditions: Diss. ... doct. of tech. sc.. – Kemerovo: KuzSTU, 2003. – 313 p.
10. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Evaluation of the reliability of operation of excavator-truck complexes in a quarry // Journal of Mining Institute. 2020, vol. 241, pp. 10-21.

#### Сведения об авторах:

#### Information about authors:

<b>Селюков Алексей Владимирович</b> – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры открытых горных работ	<b>Selyukov Aleksey Vladimirovich</b> – doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Department of open-pit mining
<b>Кузнецов Игорь Сергеевич</b> , кандидат технических наук, доцент кафедры открытых горных работ is150794@mail.ru	<b>Kuznetsov Igor Sergeevich</b> – candidate, associate professor of the Department open-pit mining

Получена 07.10.2024