

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра машиностроения

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КАРЬЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК 621.7/09612.9(073)

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КАРЬЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ: Методические указания к практическим занятиям. / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.Ю. Кувшинкин, П.В. Иванова*. СПб, 2019. 16 с.

Рассмотрены вопросы оценки эффективности эксплуатации карьерного оборудования в заданных условиях эксплуатации. В качестве примера приведены методика и пример эксплуатационного расчета гидравлического карьерного экскаватора. Содержатся сведения, необходимые как для выполнения расчетно-графической работы, так и для самостоятельных работ по дисциплине «Эксплуатация карьерного оборудования».

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Открытые горные работы».

Научный редактор проф. *В.В. Габов*

Рецензент канд. техн. наук *Е.Ю. Стенук* (ЗАО «Эс-Сервис»)

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Эксплуатация карьерного оборудования» относится к вариативной части основной профессиональной образовательной программы подготовки специалистов по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Открытые горные работы». Данная дисциплина включает в себя вопросы, связанные с механизацией основных технологических процессов горного производства – подготовки горных пород к выемке, выемки горной массы и ее транспортирования. Рассматриваются особенности эксплуатации горных машин для открытых работ, организация и технология их технического обслуживания и ремонта.

Данные методические указания имеют цель дать методические рекомендации к выполнению расчетно-графической работы, посвященной проверке соответствия горной или горнотранспортной машины заданным горнотехническим условиям и ее эксплуатационному расчету.

Горная машина по своим рабочим параметрам должна соответствовать параметрам забоя, например, карьерный экскаватор выбирается в зависимости от высоты уступа или развала горной массы. Выбор машины по рабочим параметрам можно рассматривать только как предварительный, так как он не учитывает физико-механические и технологические свойства разрушаемой горной породы. Окончательный ответ на вопрос о степени соответствия машины конкретным условиям эксплуатации дает эксплуатационный расчет, целью которого, как правило, является определение усилий и мощностей, которые необходимо развить машине для осуществления своего функционального предназначения, и сравнение расчетных параметров с допустимыми значениями. В результате эксплуатационных расчетов также определяется производительность машины в заданных условиях.

Методики эксплуатационных расчетов буровых станков, карьерных экскаваторов – механических лопат и драглайнов, карьерных автосамосвалов, фронтальных погрузчиков, бульдозеров, рыхлителей доступны и широко представлены в учебной и специальной литературе.

В настоящее время значительный объем выемочно-погрузочных работ на карьерах выполняется гидравлическими экскаваторами – прямыми и обратными лопатами. Гидравлические экскаваторы имеют ряд серьезных преимуществ по сравнению с механическими лопатами, основными из которых являются: простота кинематической схемы, возможность перемещения ковша по более сложной траектории, широкий диапазон бесступенчатого регулирования рабочих параметров, меньшая удельная металлоемкость, большая энерговооруженность, большая мобильность. На данный момент около 70% мирового экскаваторного парка представлена именно гидравлическими экскаваторами. Несмотря на широкое распространение данного типа машин, методики их эксплуатационного расчета в учебной литературе практически отсутствуют.

МЕТОДИКА И ПРИМЕР ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

1. Исходные данные

В качестве примера проведем эксплуатационный расчет гидравлических экскаваторов РС-2000-8 и РС-1250-7 для условий месторождения Албазинское, карьер Анфисинский, Хабаровский край, район Полины Осипенко. Горнотехнические условия карьера представлены в таблице 1, технические характеристики экскаваторов – в таблице 2.

Таблица 1

Горнотехнические условия карьера

Наименование	Единица измерения	Значение
высота уступа H_v	м	10
категория породы по трудности экскавации	-	V
коэффициент удельного сопротивления копанию k_F	МПа	0,6

Продолжение таблицы 1

Наименование	Единица измерения	Значение
плотность породы в целике γ	кг/м ³	3000
коэффициент разрыхления k_p	-	1,5
угол поворота на выгрузку	град	90
разгрузка	-	в автосамосвал
взрывание	-	многорядное
длительность рабочей смены $T_{см}$	час	12
время работы предприятия в году	сутки	365
количество смен в сутки	-	2
режимное количество рабочих смен в году	смен/год	730
технологические простои (БВР и погодные условия)	смен/год	29
режимное количество рабочих смен в забое с учетом простоев по БВР и климатическим условиям $N_{см}$	смен/год час/год	701 8412
угол устойчивого откоса уступа в целике α	град	75
угол устойчивого откоса уступа после взрыва β	град	45

Таблица 2

Технические характеристики экскаваторов

Параметр	Ед. изм.	Экскаватор	
		РС-1250-7	РС-2000-8
Масса	т	108	200
Тип двигателя		дизельный	дизельный
Мощность двигателя	кВт/лс	485/651	728/976
Рабочее оборудование		прямая/обратная лопата	прямая/обратная лопата
Вместимость ковша	м ³	6,5/3,4-6,7	11/12 и 13,7
Ширина режущей кромки ковша	мм	2680/1500-2280	3220/2600 и 2720
Глубина копания	м	3,65/7,9-11,6	3,2/9,2
Максимальная высота копания	м	12,3/13-13,9	14,5/13,4
Максимальный радиус копания	м	11,4/14,1-17,45	13,2/15,8
Максимальная высота разгрузки	м	8,7/8,45-9,44	9,67/8,65
Время цикла	с	18	27

2. Выбор рациональных параметров уступа для работы гидравлических экскаваторов

Кинематика карьерных гидравлических экскаваторов позволяет реализовывать совмещенное копание (преимущественно горизонтальное внедрение ковша с последующим его поворотом в вертикальной плоскости) практически по всей высоте подъема рабочего оборудования. Это открывает перспективы для управляемого обрушения предварительно разрыхленных экскавируемых пород и предопределяет качественно новый подход к расчету допустимой высоты $H_{заб}$ обрабатываемого забоя. Параметром, влияющим на $H_{заб}$, является расчетная эффективная высота копания $H_{коп(эф)}$ карьерного гидравлического экскаватора, при которой горизонтальным внедрением ковша в забой на глубину

$S_{\text{коп(эф)}}$ обеспечивается его наполнение с коэффициентом $k_{\text{н}}=1,0$. Образующийся в результате такой операции свод подработки определяет величину объема обрушаемой горной массы, которая должна быть размещена на подошве уступа на безопасном для эксплуатации экскаватора расстоянии L_0 .

Обобщенные экспериментальные данные позволяют с достаточной для инженерных расчетов точностью установить зависимости для определения упомянутых выше технологических параметров забоев, обрабатываемых гидравлическим экскаватором:

$$H_{\text{заб}} \leq \frac{L_0^2}{2S_{\text{коп(эф)}}} k_{\text{ур}} + H_{\text{коп(эф)}},$$

$$L_0 \leq 0,68H_{\text{коп(макс)}} - H_{\text{коп(эф)}} \text{ctg} \alpha - S_{\text{коп(эф)}} - 0,09E + 1,2,$$

$$S_{\text{коп(эф)}} \leq \frac{2Ek_{\text{н}}}{b_{\text{к}} h_{\text{к}}} + h_{\text{к}} \text{ctg} \alpha,$$

где $k_{\text{ур}} = \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha - \beta)}$ - расчетный коэффициент, E - вместимость ковша, м^3 , $b_{\text{к}}$, $h_{\text{к}}$ - соответственно ширина и высота ковша, м.

Для экскаватора РС-2000-8:

$$k_{\text{ур}} = \frac{\sin 75^\circ \cdot \sin 45^\circ}{\sin(75 - 45)^\circ} = 1,36,$$

$$H_{\text{заб}} \leq \frac{4,3^2}{2 \cdot 3,2} \cdot 1,36 + 9,5 = 13,4 \text{ м.}$$

Так как высота забоя для рассматриваемых условий составляет 10 м, то условие выполняется.

$$L_0 \leq 0,68 \cdot 14,45 - 9,5 \cdot 0,27 - 3,2 - 1 + 1,2 = 4,3 \text{ м,}$$

$$S_{\text{коп(эф)}} \leq \frac{2 \cdot 11 \cdot 1}{3,2 \cdot 2,9} + 2,9 \cdot \text{ctg} 75 = 2,4 + 0,8 = 3,2 \text{ м.}$$

Для экскаватора РС-1250-7:

$$H_{\text{заб}} \leq \frac{4,1^2}{2 \cdot 2,9} \cdot 1,36 + 7,5 = 11,4 \text{ м.}$$

Так как высота забоя для рассматриваемых условий составляет 10 м, то условие выполняется.

$$L_0 \leq 0,68 \cdot 12,33 - 7,5 \cdot 0,27 - 2,9 - 0,6 + 1,2 = 4,1 \text{ м,}$$

$$S_{\text{конт(эф)}} \leq \frac{2 \cdot 6,5 \cdot 1}{2,4 \cdot 2,5} + 2,9 \cdot \text{ctg} 75 = 2,2 + 0,7 = 2,9 \text{ м.}$$

3. Расчет производительности экскаваторов

Теоретическая производительность – количество горной массы, отгружаемое экскаватором в единицу времени при непрерывной работе.

$$Q_{\text{т}} = \frac{3600E}{t_{\text{ц}} \cdot k_y}, \text{ м}^3/\text{час,}$$

где E – вместимость ковша, м^3 , $t_{\text{ц}}$ – время цикла работы машины, с, k_y - коэффициент корректировки, при угле поворота в 90° $k_y=1$.

Техническая производительность – максимальная производительность данного экскаватора при его непрерывной работе в данном забое за единицу времени с учетом затрат времени на передвижку экскаватора по мере подвигания забоя.

$$Q_{\text{тех}} = Q_{\text{т}} \frac{k_n}{k_p} \cdot \frac{t_p}{(t_p + t_n)}, \text{ м}^3/\text{час,}$$

где k_n – коэффициент наполнения ковша, равный отношению объема разрыхленной горной массы в ковше к паспортной вместимости ковша, t_p – длительность непрерывной работы экскаватора с одного места стояния в течение часа, $t_p = 40\text{-}55$ мин, t_n – длительность передвижки экскаватора по мере подвигания забоя в течении часа, $t_n = 5\text{-}15$ мин, k_p – коэффициент разрыхления.

Эксплуатационная производительность – это действительный объем горной массы, отгруженной экскаватором за определенный период эксплуатации.

Например, сменная эксплуатационная производительность экскаватора определяется следующим образом.

$$Q_3 = Q_{\text{тех}} T_{\text{см}} k_{\text{и}} \text{ м}^3 / \text{см},$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, час, $k_{\text{и}}$ – коэффициент использования экскаватора по времени.

Расчетные значения теоретической, технической и эксплуатационной производительности сведены соответственно в таблицы 3, 4 и 5.

Таблица 3

Теоретическая производительность			
Экскаватор	Вместимость ковша, $E, \text{ м}^3$	Время цикла экскавации, $t_{\text{ц}}, \text{ с}$	Производительность, $Q_{\text{т}}, \text{ м}^3/\text{ч}$
РС-1250-7	6,5	18	1300
РС-2000-8	11	27	1467

Таблица 4

Техническая производительность			
Экскаватор	Время работы в час, $t_{\text{р}}, \text{ мин}$	Время передвижки, $t_{\text{п}}, \text{ с}$	Производительность, $Q_{\text{тех}}, \text{ м}^3/\text{ч}$
РС-1250-7	55	5	755
РС-2000-8	55	5	852

Таблица 5

Эксплуатационная производительность	
Экскаватор	Производительность, $Q_3, \text{ м}^3/\text{см}$
РС-1250-7	8151
РС-2000-8	9196

4. Оперативная оценка карьерных гидравлических экскаваторов

4.1 Оценка гидравлических экскаваторов по показателю «кубо-ковш»

В отечественной практике проектирования открытых горных работ с использованием одноковшовых экскаваторов широко применяется такой удельный показатель, как производительность экскаватора на «кубо-ковш», представляющий собой годовой объем отработанной экскаватором горной массы, приходящийся на вместимость его ковша (тыс. м³/1м³). Этот показатель позволяет производить количественное сравнение любых типов экскаваторов между собой независимо от типоразмерной группы.

При этом возникают проблемы определения фактической производительности гидравлических экскаваторов из-за отсутствия методической базы. Эксплуатационные характеристики одноковшовых экскаваторов наиболее полно исследованы для канатных машин. В частности, рядом авторов предложены надежные эмпирические зависимости для определения их эксплуатационной производительности и разработаны многочисленные отраслевые нормы выработки экскавации для различных отраслей горной промышленности.

Для гидравлических экскаваторов подобные нормативные материалы еще только разрабатываются.

В результате анализа отечественных и зарубежных источников научно-технической информации было установлено, что наиболее приемлемой является методика Туринского политехнического института по выбору гидравлических экскаваторов в конкретных горно-геологических условиях эксплуатации. Эта методика основывается на результатах обширных исследований работы гидравлических экскаваторов со стандартным оборудованием в различных условиях эксплуатации на карьерах. Методика получила свое подтверждение в ходе испытаний гидравлических экскаваторов различных типоразмерных групп и фирм на карьерах по добыче строительных материалов в Италии.

Основу методики составляет эмпирическая зависимость между приведенной мощностью машины, представляющей собой

отношение установленной мощности двигателей N по стандарту DIN или ISO (кВт) к вместимости ковша E по стандарту SAE (м^3), и частотой рабочего цикла n (час^{-1}), представляющей собой величину, обратную времени цикла экскавации. Согласно данной методике, частота рабочего цикла определяется по следующей зависимости.

$$n = a \left(\frac{N}{E} - 50 \right) \left(\frac{50 \cdot E}{N} \right)^{1,5}, \text{ час}^{-1},$$

где a - коэффициент, зависящий от категории разрабатываемой породы и условий экскавации. Величина « a » определяется по скорости распространения поперечных сейсмических волн в разрабатываемых породах v (км/сек).

$$a = 4,06v - 1,06,$$

$$v = \frac{m}{\gamma},$$

где m – модуль сдвига.

$$m = \frac{E_{\text{Ю}}}{2(1 + \mu)}, \text{ МПа},$$

где $E_{\text{Ю}}$ и μ – соответственно модуль Юнга и коэффициент Пуассона разрабатываемой горной породы.

Для породы V категории, к которой относится руда, разрабатываемая на карьере Анфисинский, $E_{\text{Ю}}=10,3$ Мпа, $\mu=0,31$.

Таким образом, модуль сдвига, скорость распространения поперечных сейсмических волн и коэффициент « a » для рассматриваемых условий составят:

$$m = \frac{10,3}{2(1 + 0,31)} = 3,93 \text{ МПа},$$

$$v = \frac{3,93 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^3} = 1,31 \cdot 10^3 \text{ м/с},$$

$$a = 4,06 \cdot 1,31 - 1,06 = 4,26.$$

Частота рабочего цикла для экскаватора РС-2000-8:

$$n = 4,26 \left(\frac{728}{11} - 50 \right) \left(\frac{50 \cdot 11}{728} \right)^{1,5} = 48 \text{ час}^{-1}.$$

Частота рабочего цикла для экскаватора РС-1250-7:

$$n = 4,26 \left(\frac{485}{6,5} - 50 \right) \left(\frac{50 \cdot 6,5}{485} \right)^{1,5} = 58 \text{ час}^{-1}.$$

Рассчитаем эксплуатационную годовую производительность экскаватора, ориентируясь не на паспортное время цикла, а на определенную по методике Туринского политехнического института частоту рабочего цикла.

$$Q_3 = Q_{\text{мех}} \cdot T_{\text{см}} \cdot N_{\text{см}} = \frac{k_n k_{\text{н}}}{k_p} n E T_{\text{см}} N_{\text{см}}, \text{ м}^3/\text{год}.$$

Эксплуатационная годовая производительность экскаватора РС-2000-8 составит:

$$Q_3 = \frac{0,95 \cdot 0,9}{1,5} \cdot 48 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 701 = 2540400 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Условную часовую эксплуатационную производительность получим, разделив годовую производительность на количество часов работы экскаватора в году, т.е. на произведение $T_{\text{см}} \cdot N_{\text{см}} = 8412$ часов.

$$Q_{\text{час}} = \frac{Q_3}{8412} = \frac{2540400}{8412} = 302 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Показатель «кубо-ковш»:

$$q = \frac{Q_3}{E} = \frac{2540400}{11} = 231 \text{ тыс. м}^3/\text{м}^3.$$

Аналогично для экскаватора РС-1250-7:

$$Q_3 = \frac{0,95 \cdot 0,9}{1,5} \cdot 58 \cdot 6,5 \cdot 12 \cdot 701 = 1807650 \text{ м}^3/\text{год}.$$

$$Q_{\text{час}} = \frac{Q_3}{8412} = \frac{1807650}{8412} = 215 \text{ м}^3/\text{час}.$$

$$q = \frac{Q_3}{E} = \frac{1807650}{6,5} = 278 \text{ тыс. м}^3/\text{м}^3.$$

4.2 Оценка совершенства гидравлических экскаваторов по условию соответствия их основных конструктивных характеристик оптимальным

Анализ формулы, предложенной Туринским политехническим институтом показывает, что зависимость эксплуатационной производительности экскаватора имеет экстремум для каждого конкретного значения частоты рабочего цикла, то есть зависит от оптимального соотношения мощности двигателя N и вместимости ковша E . Согласно положениям дифференциального исчисления максимальная производительность относительно вместимости ковша может быть определена по первой производной от Q_3 по E :

$$\frac{dQ_3}{dE} = \frac{k_n \cdot k_{и}}{k_p} a \left(-\frac{2,5 \cdot 50^{2,5}}{N^{1,5}} E^{1,5} + \frac{1,5 \cdot 50^{1,5}}{N^{0,5}} E^{0,5} \right)$$

Из условия $\frac{dQ_3}{dE} = 0$, разделив правую и левую части уравнения на $E^{0,5}/N^{0,5}$, получаем соотношение, позволяющее определить вместимость ковша, оптимальную по критерию максимума производительности:

$$E_0 = \frac{N}{83,33}, \text{ м}^3.$$

Для экскаватора РС-2000-8:

$$E_0 = \frac{728}{83,33} = 8,74 \text{ м}^3.$$

Для экскаватора РС-1250-7:

$$E_0 = \frac{485}{83,33} = 5,8 \text{ м}^3.$$

Подставив оптимальные значения вместимости ковша в формулу для условной часовой эксплуатационной производительности, получим максимальные для рассматриваемого экскаватора значения.

Для экскаватора РС - 2000 - 8: $Q_{\text{эчасmax}} = 330 \text{ м}^3/\text{час}$.

Для экскаватора РС - 1250 - 7: $Q_{\text{эчасmax}} = 219 \text{ м}^3/\text{час}$.

Подставив оптимальные значения вместимости ковша в формулу для показателя «кубо-ковш», получим максимальные значения данного показателя для рассматриваемого экскаватора.

Для экскаватора PC - 2000 - 8: $q_{max} = 318$ тыс. м³/м³.

Для экскаватора PC - 1250 - 7: $q_{max} = 318$ тыс. м³/м³.

Степень отклонения фактической производительности экскаватора от максимально возможной характеризуется амплитудой относительной производительности, рассчитываемой по формуле:

$$\Delta_{\Pi} = \left(\frac{Q_{\text{эчас max}}}{Q_{\text{эчас}}} - 1 \right) \cdot 100\%.$$

Для экскаватора PC - 2000 - 8: $\Delta_{\Pi} = \left(\frac{330}{302} - 1 \right) \cdot 100\% = 9\%$.

Для экскаватора PC - 1250 - 7: $\Delta_{\Pi} = \left(\frac{219}{215} - 1 \right) \cdot 100\% = 1,9\%$.

Оценим рассматриваемые гидравлические экскаваторы по величине относительной амплитуды отклонения паспортной вместимости ковша от оптимальной.

$$\Delta_E = \left| \frac{E_0}{E} - 1 \right| \cdot 100\%.$$

Для экскаватора PC - 2000 - 8:

$$\Delta_E = \left| \frac{8,74}{11} - 1 \right| \cdot 100\% = 20,5\%.$$

Для экскаватора PC - 1250 - 7:

$$\Delta_E = \left| \frac{5,8}{6} - 1 \right| \cdot 100\% = 3,3\%.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ работы экскаваторов Komatsu PC-1250-7 и PC-2000-8 в условиях карьера Анфисинский показал, что максимальная высота копания для данных экскаваторов превышает высоту уступа на карьере Анфисинский на 3,4 и 1,4 метра соответственно, т.е. условие, согласно которому высота уступа не должна превышать максимальную высоту копания, соблюдается.

Степень отклонения фактической производительности экскаватора от максимально возможной для обоих экскаваторов не превышает 10%, что означает хорошее качество техники и высокую степень соответствия данных экскаваторов горно-геологическим условиям карьера.

При проведении оценки гидравлических экскаваторов по величине относительной амплитуды отклонения паспортной вместимости ковша от рациональной видно, что для экскаватора PC-1250-7 выбрана рациональная вместимость ковша. Для экскаватора PC-2000-8 рекомендуется вместо стандартного ковша, имеющего вместимость 11 м³ поставить сменный ковш с вместимостью, ближайшей к оптимальному значению 8,74 м³.

Библиографический список

1. *Мельников Н.Н.* Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов: Монография // *Мельников Н.Н., Неволин Д.Г., Скобелев Л.С.* / Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1992, 216 с.
2. Методика оперативной оценки карьерных гидравлических экскаваторов. // *Горная промышленность* - № 1 / ООО НПК «Гемос Лимитед» 1996, с. 29.
3. *Подэрни Р.Ю.* Механическое оборудование карьеров: Учебник для ВУЗов / М.: МГГУ, 2007, 680 с.
4. *Р. Висбек* Об эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов // *Горная промышленность* - № 5 / ООО НПК «Гемос Лимитед», 1998.

Содержание

Введение	3
Методика и пример эксплуатационного расчета гидравлического экскаватора	4
1. Исходные данные	4
2. Выбор рациональных параметров уступа для работы гидравлических экскаваторов	6
3. Расчет производительности экскаваторов	8
4. Оперативная оценка карьерных гидравлических экскаваторов	10
4.1 Оценка гидравлических экскаваторов по показателю..... «кубо-ковш»	10
4.2 Оценка совершенства гидравлических экскаваторов по условию соответствия их основных конструктивных характеристик оптимальным	13
Заключение	15
Библиографический список	15

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КАРЬЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *С.Ю. Кувшинкин, П.В. Иванова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
машиностроения

Ответственный за выпуск *С.Ю. Кувшинкин*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 06.03.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 0,9. Усл.кр.-отт. 0,9. Уч.-изд.л. 0,8. Тираж 75 экз. Заказ 178. С 74.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2