

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

**Кафедра машиностроения**

# **РЕМОНТ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2021**

УДК 621.7/09612.9(073)

**РЕМОНТ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ:** Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.Ю. Кувшинкин, П.В. Иванова*. СПб. 2021. 28 с.

Рассмотрены вопросы оценки эффективности эксплуатации карьерного оборудования в заданных условиях эксплуатации, а также методика корректировки нормативных графиков ТО и Р карьерных экскаваторов в заданных условиях эксплуатации. Содержатся сведения, необходимые как для выполнения расчетно-графических работ, так и для самостоятельных работ по дисциплине «Ремонт горных машин и оборудования».

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Горные машины и оборудование».

Научный редактор проф. *В.В. Габов*

Рецензент к.т.н. *Степук Е.Ю. (ЗАО «Эс-Сервис»)*

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Ремонт горных машин и оборудования» относится к вариативной части основной профессиональной образовательной программы подготовки специалистов по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Горные машины и оборудование». Данная дисциплина включает в себя вопросы организации и технологии технического обслуживания и ремонта горных машин, а также основы технологии машиностроения.

Данные методические указания имеют цель дать методические рекомендации к выполнению расчетно-графических работ.

Первая расчетно-графическая работа посвящена проверке соответствия горной или горнотранспортной машины заданным горнотехническим условиям и ее эксплуатационному расчету и имеет целью подготовить студентов к написанию соответствующего раздела дипломного проекта.

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.

В данных методических указаниях приведены методика и пример эксплуатационного расчета карьерного гидравлического экскаватора, т.к. методики эксплуатационных расчетов других горных машин более широко представлены в учебной и специальной литературе.

Вторая расчетно-графическая работа посвящена вопросам корректировки графиков ТО и Р горного оборудования (на примере карьерных экскаваторов большой единичной мощности) для заданных условий эксплуатации с учетом как естественного старения машины, так и факторов природно-техногенного характера. Уточнение графика проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту необходимо проводить с целью минимизации количества отказов и связанных с ними аварийных ремонтов.

# РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

## ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ГОРНОЙ МАШИНЫ И ЕЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАДАНЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель работы – выполнить эксплуатационных расчет горной машины для заданных горнотехнических условий для проверки ее соответствия условиям эксплуатации.

Тип машины и условия эксплуатации рекомендуется принять для предприятия, по которому разрабатывается дипломный проект.

### 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
плотность породы в целике $\gamma$	кг/м <sup>3</sup>	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

Продолжение таблицы 1

Наименование	Единица измерения	Значение
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 $\alpha$	град	75
угол устойчивого откоса уступа после взрыва $\beta$	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 <sup>3</sup>	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 копанье (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  $H_{\text{заб}}$  обрабатываемого забоя. Параметром, влияющим на  $H_{\text{заб}}$ , является расчетная эффективная высота копанья  $H_{\text{коп(эф)}}$  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:

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

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

$$S_{\text{коп(эф)}} \leq \frac{2Ek_{\text{н}}}{b_k h_k} + h_k \text{ctg} \alpha,$$

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

Для экскаватора РС-2000-8:

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

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

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.

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

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

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.

$$Q_{\text{тех}} = Q_{\text{т}} \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{р}}} \cdot \frac{t_{\text{р}}}{(t_{\text{р}} + t_{\text{п}})}, \text{ м}^3/\text{час,}$$

где  $k_{\text{н}}$  – коэффициент наполнения ковша, равный отношению объема разрыхленной горной массы в ковше к паспортной вместимости ковша,  $t_{\text{р}}$  – длительность непрерывной работы экскаватора с одного места стояния в течение часа,  $t_{\text{р}} = 40\text{-}55$  мин,  $t_{\text{п}}$  – длительность передвижки экскаватора по мере подвигания забоя в течении часа,  $t_{\text{п}} = 5\text{-}15$  мин,  $k_{\text{р}}$  – 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.  $\text{м}^3/\text{1м}^3$ ). 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 ( $\text{м}^3$ ), и частотой рабочего цикла  $n$  ( $\text{час}^{-1}$ ), 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  $\mu$  – 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:  $Q_{3\text{часmax}} = 330 \text{ м}^3/\text{час}$ .

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

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. м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Для экскаватора PC - 1250 - 7:  $q_{max} = 318$  тыс. м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

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 РС-1250-7 выбрана рациональная вместимость ковша. Для экскаватора РС-2000-8 рекомендуется вместо стандартного ковша, имеющего вместимость 11 м<sup>3</sup> поставить сменный ковш с вместимостью, ближайшей к оптимальному значению 8,74 м<sup>3</sup>.



## **РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2 КОРРЕКТИРОВКА ГРАФИКА ТО и Р КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ДЛЯ ЗАДАННЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Цель работы – уточнить график ТО и Р карьерного экскаватора в заданных условиях эксплуатации с учетом естественного старения машины и факторов природно-техногенного характера.

Тип машины и условия эксплуатации рекомендуется принять для предприятия, по которому разрабатывается дипломный проект.

### **1. Уточнение и совершенствование графика проведения мероприятий по ТО и Р электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности**

Уточнение графика проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту необходимо проводить с целью минимизации количества отказов и связанных с ними аварийных ремонтов с учетом воздействия факторов природно-техногенного характера при эксплуатации карьерных экскаваторов.

Структура модели комплексной оценки технического состояния и остаточного ресурса электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности от воздействия факторов природно-техногенного характера представлена на рисунке 1.

Модель, разработанная на кафедре машиностроения Санкт-Петербургского горного университета, позволяет прогнозировать и производить оценку величины наработки электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности в номинальных и заданных условиях эксплуатации имеет следующее описание.

Прогноз годовой наработки в номинальных условиях эксплуатации, для которых проектируется машина, определяется по формуле, предложенной Д.А. Шибановым:

$$Q_{\text{пр}} = [Q] (1 - 5 \cdot 10^{-4} Y^2 + 6 \cdot 10^{-4} Y),$$

где  $Y$  – число лет эксплуатации карьерного экскаватора;

$[Q]$  – годовая базовая наработка экскаватора для номинальных

условий эксплуатации, м<sup>3</sup>, определяемая по следующей формуле:

$$[Q] = 3600 t_{\text{ц}}^{-1} ETK_{\text{з}} K_{\text{ТО и Р}} K_{\text{НГБ}} K_{\text{УП}} K_{\text{ИП}},$$

где  $t_{\text{ц}}$  – время цикла, дня номинальных условий, согласно руководству по эксплуатации карьерного экскаватора ЭКГ-32Р, равно 30 с;

$E$  – вместимость ковша, для экскаватора ЭКГ-32Р составляет 32 м<sup>3</sup>;

$T$  – фонд времени, для номинальных условий принимаем 8760 ч;

$K_{\text{з}}$  – коэффициент экскавации, для номинальных условий равен 0,7;

$K_{\text{ТО и Р}}$  – коэффициент стратегии ТО и Р, для номинальных условий равен 0,692 (предупредительная стратегия, система ППР);

$K_{\text{НГБ}}$  – коэффициент негабарита, для номинальных условий равен 0,979;

$K_{\text{УП}}$  – коэффициент наклона рабочей площадки, для номинальных условий равен 0,959;

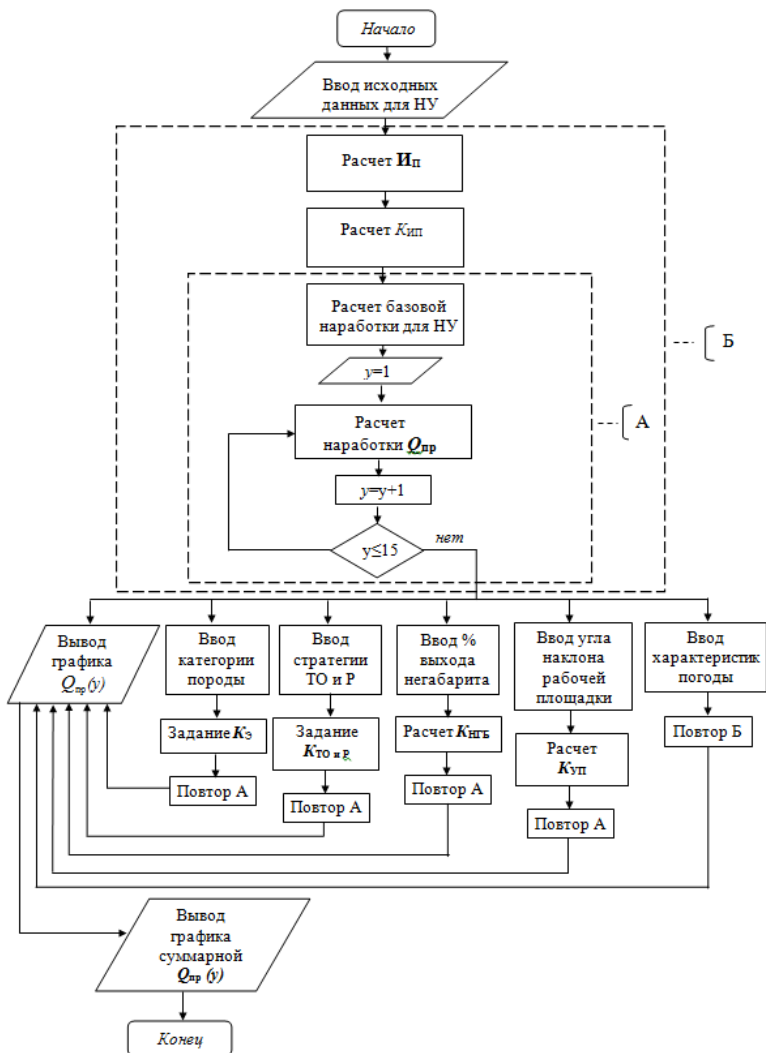


Рис.1. Структура информационной модели комплексной оценки технического состояния и остаточного ресурса электрического карьерного экскаватора от воздействия факторов природно-техногенного характера

$K_{ИП}$  – коэффициент погоды. Его величина определяется согласно индексу жесткости погоды для конкретных условий эксплуатации и рассчитывается по формуле:

$$K_{ИП} = 1 - 3,8 \cdot 10^{-2} e^{0,015I_n},$$

где  $I_n$  – индекс жесткости погоды. Определяется из выражения:

$$I_n = (0,75|t_{cp} - 8| + 0,25|t_{абс} - 2|)(1 + 0,015\sigma)(1 + 0,07\nu)(1 + 0,26\phi)(1 + 0,01R) \times \\ \times (1 + 0,014n)(1 + 0,022\tau),$$

где  $t_{cp}$  – месячная среднегодовая средняя температура, для номинальных условий равна 5,8 °С;

$t_{абс}$  – месячная среднегодовая абсолютная температура, для номинальных условий равна 38 °С;

$\sigma$  – месячное среднегодовое рассеивание температуры, для номинальных условий равно 14 °С;

$\nu$  – месячная среднегодовая скорость ветра, для номинальных условий равна 1,4 м/с;

$\phi$  – месячная среднегодовая влажность воздуха, для номинальных условий равна 0,78;

$R$  – месячная среднегодовая солнечная радиация, для номинальных условий равна 7 ккал/см<sup>2</sup>;

$n$  – среднемесячное среднегодовое количество дней с туманами, бурями, метелями, ливнями, для номинальных условий равно 16 дням;

$\tau$  – среднегодовая продолжительность действия температуры воздуха выше 0 °С, для номинальных условий равна 6 месяцев.

Учитывая выше сказанное, прогноз годовой наработки карьерного экскаватора в реальных условиях эксплуатации определяется по формуле:

$$Q = 3600\alpha_{ц}^{-1} ETK_3 K_{ТОиР} K_{НГБ} K_{УП} K_{ИП} (1 - 5 \cdot 10^{-4} Y^2 + 6 \cdot 10^{-4} Y),$$

где  $K_3$  – коэффициент экскавации выбирается в зависимости от категории разрабатываемой горной породы;

$K_{ТОиР}$  – коэффициент стратегии ТО и Р, рассмотренный во второй главе, выбирается в соответствии с принятой на предприятии

стратегией ТО и Р;

$K_{\text{НГБ}}$  – коэффициент негабарита, для фактических условий эксплуатации определяется с учетом % выхода негабарита:

$$K_{\text{НГБ}} = 1 - 1,86 \cdot 10^{-2} e^{0,06\text{НГ}} ;$$

$K_{\text{УП}}$  – коэффициент наклона рабочей площадки, для фактических условий эксплуатации рассчитывается с учетом реального угла наклона рабочей площадки  $\alpha$ :

$$K_{\text{УП}} = 1 - 6,45 \cdot 10^{-4} e^{0,83\alpha} ;$$

$K_{\text{ИП}}$  – коэффициент погоды для фактических условий эксплуатации определяется с учетом реальных параметров погоды.

Цикл расчета прогнозируемой годовой наработки карьерного экскаватора производится с первого по пятнадцатый год эксплуатации машины.

## **2. Уточнение графика проведения мероприятий по ТО и Р электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности**

Уточнение графика ТО и Р, рассчитанного для номинальных условий эксплуатации в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации, производится посредством зависимостей, учитывающих влияние различных факторов на наработку карьерных экскаваторов большой единичной мощности.

Для уточнения технически обоснованных межремонтных периодов при эксплуатации машины необходимо руководствоваться информацией, полученной в ходе компьютерного моделирования.

Для уточнения и корректировки графиков ТО и Р применяется разработанная на кафедре машиностроения компьютерная программа «Программа расчета наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р», написанная на языке программирования Java Script и защищена патентом РФ № 2018618377.

Диалоговое окно (интерфейс) программы «Программа расчета наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р» представлено на рисунке 2.

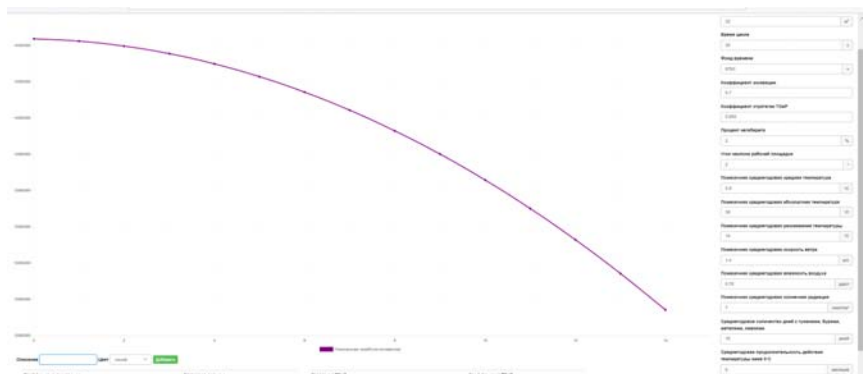


Рис.2 Диалоговое окно программы «Программа расчета наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р»

Программа позволяет провести оценку наработки карьерного экскаватора с учетом воздействия следующих факторов:

- погодных условий эксплуатации;
- горно-геологических условий;
- качества подготовки забоя и горной массы;
- принятой стратегии ТО и Р.

Программа также показывает суммарный эффект этого воздействия.

Для расчета по разработанной программе с клавиатуры в соответствующие окна необходимо ввести исходные данные в следующей последовательности:

- ⇒ «Вместимость ковша»,  $m^3$ ;
- ⇒ «Время цикла», с;
- ⇒ «Фонд времени», ч;
- ⇒ «Коэффициент экскавации» вводится в соответствии с категорией горных пород;
- ⇒ «Коэффициент стратегии ТО и Р» вводится в соответствии с принятой на предприятии стратегией ТО и Р;
- ⇒ «Процент выхода негабарита», %;
- ⇒ «Угол наклона рабочей площадки», град.;
- ⇒ «Помесячная среднегодовая средняя температура», °С;

- ⇒ «Помесячная среднегодовая абсолютная температура», °С;
- ⇒ «Среднегодовое рассеивание температуры», °С;
- ⇒ «Помесячная среднегодовая скорость ветра», м/с;
- ⇒ «Помесячная среднегодовая влажность воздуха», доли единицы;
- ⇒ «Помесячная среднегодовая солнечная радиация», ккал/см<sup>2</sup>;
- ⇒ «Среднегодовое количество дней с туманами, бурями, метелями, ливнями», дни;
- ⇒ «Среднегодовая продолжительность действия температуры воздуха выше 0 °С», месяц.

Результатом представленных отчетов является графическая информация прогнозируемой наработки экскаватора от года эксплуатации в номинальных условиях и реальных с учетом факторов воздействия природно-техногенного характера.

По зависимостям, полученным в результате компьютерного моделирования, определяют коэффициент естественного старения  $K_{ст}$ , учитывающий уменьшение наработки карьерного экскаватора в номинальных условиях эксплуатации с учетом естественного старения машины. Данный коэффициент определен как отношение прогнозируемой наработки экскаватора в рассматриваемом году к его прогнозируемой наработке в первый год эксплуатации. Например, значения коэффициента естественного старения для условий УК «Кузбассразрезуголь» представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Значения коэффициента естественного старения ( $K_{ст}$ ) для номинальных условий эксплуатации**

Год эксплуатации	1	2	3	4	5	6	7
$K_{ст}$	1,000	0,999	0,997	0,991	0,982	0,967	0,948

Продолжение таблицы 1

Год эксплуатации	8	9	10	11	12	13	14
$K_{ст}$	0,922	0,890	0,851	0,805	0,753	0,695	0,633

По зависимостям, полученным в результате компьютерного моделирования, также можно определить факторный коэффициент,  $K_{\phi}$ , учитывающий уменьшение наработки карьерного экскаватора с учетом факторов природно-техногенного характера по сравнению с номинальными условиями эксплуатации. Данный коэффициент определяется как отношение прогнозируемой наработки экскаватора, эксплуатируемого в конкретных условиях эксплуатации к его прогнозируемой наработке в номинальных условиях в рассматриваемом году.

Обобщение результатов компьютерного моделирования позволило выработать рекомендации по продолжительности и трудоемкости ТО и Р, которые являются основой для уточнения графика ТО и Р. Данные рекомендации представлены в таблице 2.



Таблица 2

## Рекомендованная структура ремонтного цикла карьерного экскаватора

Вид ТО и Р	Условное обозначение	Периодичность			Трудоемкость чел-ч	Время нахождения машины в обслуживании и ремонтах, ч
		При достижении нагрузки, млн. м <sup>3</sup>	сутки	часов		
«Ежемесячное» обслуживание	ТО <sub>м</sub>		$(21-25) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	$(500-600) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	72	24
Текущий ремонт первый (квартальный)	ТР <sub>1</sub>		$(63-75) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	$(1500-1800) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	144	48
Текущий ремонт второй (полугодовой)	ТР <sub>2</sub>		$(125-150) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	$(3000-3600) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	360	72
Текущий ремонт третий (годовой)	ТР <sub>3</sub>	1,8	$(250-313) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	$(6000-7500) \cdot K_{ст} \cdot K_{ф}$	960	192

Например, в нормативном документе «Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-32Р. Руководство по эксплуатации. Описание и работа экскаватора. Указания по эксплуатации. Техническое обслуживание» приведена структура ремонтного цикла, представленная на рисунке 3.

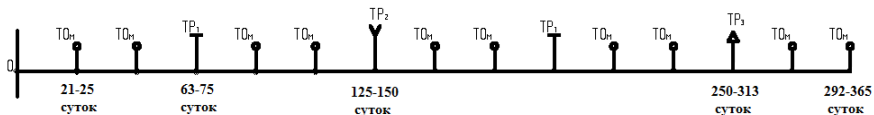


Рис.3. Годовой график проведения мероприятий по ТО и Р

Данный годовой график мероприятий по ТО и Р не учитывает отклонение реальных условий эксплуатации от номинальных, для которых спроектирована машина, а также уменьшение показателей надежности машины вследствие естественного старения.

В результате компьютерного моделирования и анализа полученных данных появляется возможность учесть данные факторы. Например, для пятого года эксплуатации карьерного экскаватора ЭКГ-32Р в условиях УК «Кузбассразрезуголь» с учетом воздействия факторов природно-техногенного характера и естественного старения машины структура ремонтного цикла будет иметь вид, представленный на рисунке 4.

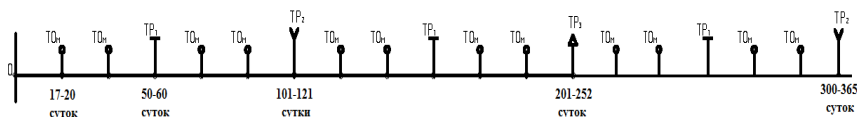


Рис.4. Годовой график проведения мероприятий по ТО и Р карьерного экскаватора на пятом году эксплуатации в условиях УК «Кузбассразрезуголь»

Таким образом, для сохранения неизменным уровня надежности карьерного экскаватора на пятый год эксплуатации в годовой график ТО и Р должны быть введены два дополнительных периодических ТО и два дополнительных текущих ремонта.

## Рекомендуемый библиографический список

1. *Иванова П.В.* Алгоритм прогнозирования наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р в заданных условиях эксплуатации / Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME2017. Сборник тезисов. СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. С. 79

2. *Иванова П.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018614385. Прогноз наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р / П.В. Иванова, С.Ю. Кувшинкин. Заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. - Заявка № 2018613666 от 13.04.18 Регистрация в Реестре программ для ЭВМ от 12.07.2018, Бюл. № 7.

3. *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.

4. Методика оперативной оценки карьерных гидравлических экскаваторов. // Горная промышленность - № 1 / ООО НПК «Гемос Лимитед» 1996, с. 29.

5. *Подэрни Р.Ю.* Механическое оборудование карьеров: Учебник для ВУЗов / М.: МГГУ, 2007, 680 с.

6. Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-32Р. Руководство по эксплуатации. 3549.00.00.000 РЭ. Том 1 / В.М. Донской, В.А. Шипилин, Д.А. Шибанов, Д.А. Мельников. Колпино: ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», 2013. 113 с. Инв.№ 104509.

7. Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-32Р. Руководство по эксплуатации. 3549.00.00.000 РЭ. Том 2 / В.М. Донской, В.А. Шипилин, Д.А. Шибанов, Д.А. Мельников. Колпино: ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», 2013. 107 с. Инв.№ 104510.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Расчетно-графическая работа № 1 .....	5
Оценка соответствия горной машины и ее рабочих параметров заданным условиям эксплуатации .....	5
Методика и пример эксплуатационного расчета гидравлического экскаватора.....	5
1. Исходные данные .....	5
2. Выбор рациональных параметров уступа для работы гидравлических экскаваторов .....	7
3. Расчет производительности экскаваторов .....	9
4. Оперативная оценка карьерных гидравлических экскаваторов....	11
4.1 оценка гидравлических экскаваторов по показателю «кубо-ковш» .....	11
4.2 Оценка совершенства гидравлических экскаваторов по условию соответствия их основных конструктивных характеристик оптимальным.....	14
расчетно-графическая работа № 2 .....	17
Корректировка графика ТО и Р карьерного экскаватора для заданных условий эксплуатации .....	17
1. Уточнение и совершенствование графика проведения мероприятий по ТО и Р электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности .....	17
2. Уточнение графика проведения мероприятий по то и р электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности.....	21
Рекомендуемый библиографический список.....	27

## **РЕМОНТ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

*Методические указания по курсовому проектированию  
для студентов всех направлений подготовки и специальностей*

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 07.12.2021. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,6. Усл.кр.-отг. 1,6. Уч.-изд.л. 1,2 . Тираж 50 экз. Заказ 1104.

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