

УДК 622.022

**Я. М. Радкевич**, д.т.н., проф., **О.В. Белянкина**, к.т.н., доц., **Е.И. Сизова**, к.т.н., доц., Московский государственный горный университет

E-mail: [kaftmr@msmu.ru](mailto:kaftmr@msmu.ru)

## **Математическое выражение для основного функционального назначения горных машин**

*Только объединение в один информационный массив машин различных типов, типоразмеров и конструктивных исполнений позволит получить выборку необходимого объема, а, следовательно, и прогноз с достаточной для принятия решений точностью.*

**Ключевые слова:** горные машины, функциональное назначение, производительность, математическая модель

**Y.M. Radkevych, O.V. Belyankina, E.I. Sizova**

## **Mathematical Expression for the Basic Functionality of Mining Machines**

*Only one union information array of machines of different types, sizes and designs will provide the required sample volume, and, consequently, the forecast with sufficient accuracy to make decisions.*

**Keywords:** mining machine, functionality, performance, mathematical model

Рассмотрим совокупность из  $n$  машин, предназначенных для выполнения одних и тех же функций в заданных условиях эксплуатации с физико-механическими свойствами объекта, описываемыми некоторым интегральным показателем  $u$ . Каждая из машин, работая в данных условиях, имеет, вообще говоря, различную производительность ( $V_i$ ), которая связана, с одной стороны, с ее конструктивными и режимными параметрами, а с другой, - физико-механическими свойствами объекта воздействия машины, например, полезного ископаемого, т.е.

$$V_i = f(c_{ij}, u), \quad (1)$$

где  $c_{ij}$  -  $j$ -й конструктивный или режимный параметр, влияющий на производительность  $i$ -й машины;  $u$  - интегральный параметр, наиболее полно характеризующий физико-механические свойства полезного ископаемого.

Параметр  $u$  является величиной, независимой от конструкции используемых машин, поэтому можно составить следующие соотношения

$$u = \frac{\lambda_1}{V_1(c_{1j}, u)} = \frac{\lambda_2}{V_2(c_{2j}, u)} = \dots = \frac{\lambda_n}{V_n(c_{nj}, u)} = const, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  - некоторая функция, зависящая от конструктивных особенностей машины. Отличительным признаком данной функции является то, что ее отношение к производительности в данных условиях эксплуатации есть величина постоянная и равная  $u$ , следовательно, можно считать  $\lambda$  своего рода критерием подобия работы рассматриваемых машин. Из выражения (2) функцию  $\lambda_i$  можно определить следующим образом

$$\lambda_i = V_i(c_{ij}, u)u. \quad (3)$$

В таком виде  $\lambda$  можно использовать как меру для оценки выполнения различными машинами одного функционального назначения своей функции. Необходимо подчеркнуть, что корректное использование этой меры возможно в том случае, когда установлена зависимость изменения производительности машины от ее конструктивных и режимных параметров и интегрального параметра  $u$ , т.е. известна функция  $V_i(c_{ij}, u)$ . Сущность предложенной меры  $\lambda$  сводится к следующему. Размерность производительности машины в самом общем виде можно выразить как отношение единицы продукции к единице времени. Для перевода объема  $V$  [единиц продукции] полезного ископаемого из одного состояния (в массиве) в другое состояние (например, удобное для транспортирования) за определенный промежуток времени необходимо затратить определенную энергию.

Тогда размерность параметра  $u$  можно представить в виде  $u$  - [единица энергии/единица продукции]. При этом необходимо отметить, что количество энергии, приходящейся на единицу продукции, должно определяться независимым методом, но с учетом характера выполняемых процессов, например, разрушения, транспортирования и т.п. Тогда размерность  $\lambda$  в соответствии с формулой (3) будет

$$[\lambda] = \left[ \frac{\text{ед.продукции}}{\text{ед.времени}} \right] \cdot \left[ \frac{\text{ед.энергии}}{\text{ед.продукци}} \right] = \left[ \frac{\text{ед.энергии}}{\text{ед.времени}} \right] \quad (4)$$

Таким образом, размерность  $\lambda$  совпадает с размерностью мощности.

Если основной функцией машины является добыча полезного ископаемого, то  $\lambda$  можно интерпретировать как меру ее функциональной мощности, меру конечного результата функционирования (КРФ) машины в данных условиях эксплуатации.

Отметим, что параметр  $\lambda$  носит условный характер, так как его величина зависит от способа определения интегрального параметра  $u$ .

Выражение (3) получено на основании общих рассуждений, без привязки к конкретному типу машин, а потому носит общий характер.

Для каждого вида функциональных машин, используемых для механизации добычи полезного ископаемого, параметр  $\lambda$  приобретает конкретный вид и содержание.

Для очистных комбайнов, например, формулу для определения  $\lambda$  можно получить, базируясь на исследованиях Е.З. Позина [1]. По данным Е.З. Позина, энергоёмкость резания эталонным резцом прибора ДКС определяется по формуле

$$H_w = \frac{\bar{A}}{h^{0.6}c}, \quad (5)$$

где  $\bar{A}$  - сопротивляемость угля резанию, кН/м;  $c$  - коэффициент, характеризующий хрупко-вязкие свойства угля [1],  $c=90$  для вязких углей,  $c=120$  - для хрупких углей,  $c=160$  - для весьма хрупких углей;  $h$  - толщина среза, м.

Как следует из выражения (5), при постоянной толщине среза энергоёмкость резания линейно зависит от сопротивляемости угля резанию, т.е.  $H_w = a\bar{A}$ . Здесь через  $a$  обозначена величина  $\frac{1}{h^{0.6}c}$ .

Анализ результатов исследований показывает, что зависимость производительности очистных комбайнов от сопротивляемости угля резанию ( $\bar{A}$ ) с достаточной для практических расчетов точностью можно аппроксимировать функцией [2]

$$V = c + \frac{b}{u - a}, \quad (6)$$

где  $a, b$  и  $c$  - постоянные коэффициенты, определяемые по экспериментальным данным.

Параметры  $a, b$  и  $c$  определялись средствами регрессионного анализа.

Начальные приближения параметров функции  $V = f(u)$   $a, b$  и  $c$  определялись следующим образом.

Возьмем три произвольных точки в пространстве  $V, u - M_1(V_1, u_1), M_2(V_2, u_2), M_3(V_3, u_3)$  и составим следующие уравнения

$$V_1 = c + \frac{b}{u_1 - a}, \quad (7)$$

$$V_2 = c + \frac{b}{u_2 - a}, \quad (8)$$

$$V_3 = c + \frac{b}{u_3 - a}. \quad (9)$$

Вычтем из уравнения (7) поочередно уравнение (8) и (9), получим

$$V_1 - V_2 = b \frac{u_2 - u_1}{(u_1 - a)(u_2 - a)}, \quad (10)$$

$$V_1 - V_3 = b \frac{u_3 - u_1}{(u_1 - a)(u_3 - a)}. \quad (11)$$

Из уравнения (10) определим значение параметра  $b$

$$b = \frac{(V_1 - V_2)(u_1 - a)(u_2 - a)}{u_2 - u_1}. \quad (12)$$

Подставляя значение параметра  $b$  в уравнение (11), после соответствующих упрощений получим

$$\frac{(V_1 - V_3)(u_2 - u_1)}{(V_1 - V_2)(u_3 - u_1)} = \frac{(u_2 - a)}{u_3 - a}. \quad (13)$$

Обозначим

$$B = \frac{(V_1 - V_3)(u_2 - u_1)}{(V_1 - V_2)(u_3 - u_1)}. \quad (14)$$

Тогда

$$a = \frac{u_2 - Bu_3}{1 - B}, \quad (15)$$

$$b = \frac{(V_1 - V_2)(u_1 - a)(u_2 - a)}{u_2 - u_1} \quad (16)$$

$$c = V_1 - \frac{b}{u_1 - a}. \quad (17)$$

В качестве точек  $M_1(u_1, V_1)$  и  $M_3(u_3, V_3)$  принимаются координаты соответственно первой и последней точек из ряда наблюдений.

Координаты точки  $M_2(u_2, V_2)$  принимаются в зависимости от четности или нечетности числа наблюдений. Если число наблюдений нечетное, то в качестве координаты  $u_2$  принимается значение

$$u_2 = u(\text{int}(\frac{n}{2}) + 1), \quad (18)$$

$$V_2 = V(\text{int}(\frac{n}{2}) + 1), \quad (19)$$

где  $\text{int}(\frac{n}{2})$  - целая часть дроби  $\frac{n}{2}$ .

Если  $n$  четное, то

$$u_2 = \frac{u(\text{int}(n/2)) + u(\text{int}(n/2) + 1)}{2}, \quad (20)$$

$$V_2 = \frac{V(\text{int}(n/2)) + V(\text{int}(n/2) + 1)}{2}. \quad (21)$$

Максимальное значение КРФ (если оно существует) найдем из условия  $\frac{d\lambda}{du} = 0$ .

$$\lambda = k(1)u + \frac{k(2)u}{k(3) + u}. \quad (22)$$

$$\frac{d\lambda}{du} = k(1) + \frac{k(2)(k(3) + u) - k(2)u}{(k(3) + u)^2} = 0. \quad (23)$$

Откуда

$$u = -k(3) + \sqrt{\frac{-k(2)k(3)}{k(1)}} \quad (24)$$

и

$$\lambda_{\max} = k(1)u + \frac{k(2)u}{k(3) + u}. \quad (25)$$

Окончательная формула для определения конечного результата функционирования имеет вид

$$K_\lambda \lambda = k(1)u + \frac{k(2)u}{k(3) + u}, \quad (26)$$

где  $K_\lambda$  - коэффициент, зависящий от размерности величин  $V$  и  $u$ . В данной работе  $K_\lambda$  принимается равным 1.

Таблица 1

**Сопоставление фактических и расчетных значений производительности очистных комбайнов в зависимости от сопротивляемости угля резанию**

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Сопротивляемость угля резанию, $\bar{A}$						
			100	150	200	250	300	350	400
Комбайн 1ГШ68	$V = -2.676 + \frac{3499.7}{69.24 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.015$	Производительность, V, т/мин	18.0	13.3	10.3	8.3	6.8	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	18.0	13.29	10.32	8.23	6.8	5.67	4.78
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	1800	1989	2060	2068	2040	1980	1920
	$V = -2.119 + \frac{3438.79}{58.31 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.021$	Производительность, V, т/мин	19.6	14.4	11.2	9.0	7.5	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	19.6	14.39	11.2	9.04	7.46	6.30	5.38
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	1960	2158	2240	2262	2250	2216	2162
Комбайн КШ1КГУ	$V = -1.313 + \frac{940.61}{46.67 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.082$	Производительность, V, т/мин	5.1	3.5	2.5	1.8	1.4	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	5.1	3.47	2.5	1.86	1.4	1.06	0.79
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	510	520	500	464	420	370	317
Комбайн 1ГШ68	$V = -2.217 + \frac{3238.88}{58.66 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.014$	Производительность, V, т/мин	18.2	13.3	10.3	8.3	6.8	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	18.2	13.31	10.3	8.28	6.81	5.71	4.85
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	1820	1996	2060	2067	2040	1992	1930

Продолжение табл.1

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Сопротивляемость угля резанию, $\bar{A}$						
			100	150	200	250	300	350	400
Комбайн КШ-3м	$V = -2.509 + \frac{2716.9}{70.78 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.025$	Производительность, V, т/мин	13.4	9.8	7.52	6.0	4.8	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	13.4	9.8	7.52	5.96	4.82	3.95	3.26
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	1340	1466	1500	1485	1440	1377	1301
	$V = -3.129 + \frac{2865.40}{85.72 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.014$	Производительность, V, т/мин	12.3	9.0	6.9	5.4	4.3	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	12.3	9.03	6.9	5.41	4.3	3.45	2.77
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	1230	1354	1380	1352	1290	1207	1108
Комбайн 1ГШ68	$V = -2.217 + \frac{3238.88}{58.66 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.014$	Производительность, V, т/мин	18.2	13.3	10.3	8.3	6.8	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	18.2	13.31	10.3	8.28	6.81	5.71	4.85
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	1820	1996	2060	2067	2040	1992	1930
Комбайн КШ1КГУ	$V = -2.04 + \frac{899.13}{53.94 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.018$	Производительность, V, т/мин	3.8	2.4	1.5	0.9	0.5	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	3.8	2.37	1.51	0.92	0.5	0.19	-
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	380	355	300	230	150	65	-

Продолжение табл.1

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Сопротивляемость угля резанию, $\bar{A}$						
			100	150	200	250	300	350	400
Комбайн 2К52М	$V = -1.182 + \frac{885.4}{38.39 + \bar{A}}$ $S_{ocm} = 0.018$	Производительность, $V$ , т/мин	5.3	3.6	2.6	2.0	1.5	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	5.3	3.6	2.61	1.97	1.52	1.19	0.92
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	530	538	520	488	450	407	361
	$V = -1.182 + \frac{853.87}{45.12 + \bar{A}}$ $S_{ocm} = 0.008$	Производительность, $V$ , т/мин	4.7	3.3	2.3	1.7	1.3	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	4.7	3.19	2.3	1.71	1.29	0.98	0.74
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	470	478	460	428	390	346	300
Комбайн 1К101	$V = -1.626 + \frac{1114.28}{16.81 + \bar{A}}$ $S_{ocm} = 0.03$	Производительность, $V$ , т/мин	7.9	5.1	3.5	2.6	-	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	7.9	5.08	3.54	2.58	1.92	1.44	1.07
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	790	756	700	634	563	489	413
	$V = -2.154 + \frac{1268.7}{46.57 + \bar{A}}$ $S_{ocm} = 0.008$	Производительность, $V$ , т/мин	6.5	4.2	3.0	2.1	1.3	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	6.47	4.24	2.95	2.10	1.29	1.08	0.74
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	650	645	598	531	390	366	275
Комбайн 2К52МУ	$V = -1.36 + \frac{901.73}{39.59 + \bar{A}}$ $S_{ocm} = 0.023$	Производительность, $V$ , т/мин	5.1	3.4	2.4	1.7	1.3	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	5.1	3.39	2.39	1.74	1.28	0.93	0.67
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	510	509	481	438	389	334	277

Продолжение табл.1

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Сопротивляемость угля резанию, $\bar{A}$						
			100	150	200	250	300	350	400
Комбайн МК67	$V = -1.2 + \frac{1440.3}{114.02 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.016$	Производительность, V, т/мин	6	4.6	3.6	2.9	2.4	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	6	4.58	3.61	2.92	2.39	1.97	1.64
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	600	684	720	729	720	700	672
	$V = -2.513 + \frac{3043.34}{153.33 + \bar{A}}$ $S_{ост} = 0.008$	Производительность, V, т/мин.	9.5	7.5	6.1	5.0	4.2	-	-
		Производительность расчетная, V, т/мин	9.5	7.51	6.1	5.02	4.19	3.53	2.99
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	950	1128	1220	1258	1260	1237	1195

### Карьерные механические лопаты

В табл.2 приведены значения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  для карьерных лопат ЭКГ-4.6, ЭКГ 8 и ЭКГ-12.5, оснащенных ковшами различной вместимости.

В качестве исходных данных, по которым определялись эти параметры, приняты данные, приведенные в работе Р.Ю.Подэрни [3], Ю.И.Белякова [4, 5]. В качестве параметра  $U$ , наиболее полно характеризующего физико-механические свойства грунта, принят коэффициент  $K_F$  - удельное сопротивление копанью.

Таблица 2

Значения параметров модели (1.33) для карьерных лопат

Экскаватор	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	$a$	$b$	$c$	Стандартная ошибка модели
ЭКГ-4.6	3.0	63.39	1435	4.328	0.77
	4.6	-6.45	2392	4.04	2.81
	6.3	-237	4852.8	4.495	3.41
ЭКГ-8	6	146.9	2603	5.15	1.68
	8	-146.5	7778	7.92	7.19
	10	-646.3	15933	9.55	1.18
ЭКГ-12.5	10	174.7	5712	7.78	6.43
	12.5	187.4	6397	6.72	20.3
	16	-218.2	14240	8.64	9.2

Результаты сопоставления расчетных и фактических значений производительности карьерных лопат в зависимости от вместимости применяемого ковша и удельного сопротивления копанью приведены в табл. 3. Там же приведены значения конечного результата функционирования и некоторые статистические характеристики.

Таблица 3

**Сопоставление фактических и расчетных значений производительности карьерных механических лопат в зависимости от удельного сопротивления копания**

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Сопротивляемость угля резанию, $K_F$						
			0.9	1.2	1.6	2.0	2.4	3.4	4.4
Экскаватор ЭКГ-4.6	$V = 77.69 + \frac{1258.76}{3.657 + K_F}$ $S_{oct} = 1.857$	Производительность, $V$ , т/мин	356	-	315	-	285	-	235
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	354	337	317	300	286	256	234
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	319	404	507	600	685	871	1029
	$V = -0.821 + \frac{2341}{3.99 + K_F}$ $S_{oct} = 2.356$	Производительность, $V$ , т/мин	480	-	415	-	365	-	280
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	478	450	418	390	366	316	278
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	430	540	669	780	877	1074	1224
	$V = -240.7 + \frac{4900}{5/04 + K_F}$ $S_{oct} = 5.295$	Производительность, $V$ , т/мин	585	-	495	-	425	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	584	545	497	455	418	340	278
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	526	653	796	911	1003	1156	1225

Продолжение табл.3

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Сопrotивляемость угля резанию, $K_F$						
			0.9	1.2	1.6	2.0	2.4	3.4	4.4
Экскаватор ЭКГ-8	$V = 146.65 + \frac{2629.64}{5.221 + K_F}$ $S_{ocm} = 2.04$	Производительность, $V$ , т/мин	575	-	535	-	490	-	420
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	576	556	532	511	492	452	420
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	519	667	851	1022	1180	1536	1848
	$V = -117.364 + \frac{7675.8}{8.185 + K_F}$ $S_{ocm} = 2.356$	Производительность, $V$ , т/мин	730	-	665	-	605	-	495
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	728	701	667	636	608	545	493
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	665	842	1067	1273	1459	1854	2167
	$V = -815.64 + \frac{20636.5}{5.04 + K_F}$ $S_{ocm} = 3.896$	Производительность, $V$ , т/мин	880	-	785	-	700	-	500
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	880	839	788	740	694	591	501
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	792	1007	1261	1479	1666	2010	2206

Продолжение табл.3

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Сопrotивляемость угля резанию, $K_F$						
			0.9	1.2	1.6	2.0	2.4	3.4	4.4
Экскаватор ЭКГ-12.5	$V = 214.715 + \frac{5307.75}{7.795 + K_F}$ $S_{ocm} = 0.287$	Производительность, $V$ , т/мин	825	-	780	-	735	-	850
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	825	805	780	757	735	689	650
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	743	966	1247	1513	1765	2342	2860
	$V = 184.09 + \frac{6252.85}{6.514 + K_F}$ $S_{ocm} = 10.647$	Производительность, $V$ , т/мин	1030	-	960	-	870	-	765
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	1027	995	955	919	886	815	757
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	925	1194	1526	1837	2125	2770	3331
	$V = -202.23 + \frac{14503.8}{8.963 + K_F}$ $S_{ocm} = 8.36$	Производительность, $V$ , т/мин	1275	-	1165	-	1065	-	890
		Производительность расчетная, $V$ , т/мин	1268	1225	1171	1121	1073	971	883
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	1141	1470	1873	2241	2577	3301	3885

## Буровые станки

Определение закономерностей изменения производительности буровых станков с погружным пневмоударником (БМК-4, СБМК-5, СБУ-100, Урал-64, 1СБУ-125);, шарошечного бурения (БТС-150, БТС-2, БТС-3, 2СБШ-200, 2СБШ-200Н, СБШ-250МН, СБШ-150), шарошечного бурения с комбинированным инструментом (БТС-2, БТС-150), вращательного бурения (СБУД-150-ЗИВ, СВБ-2, УГБ-50М), ударно-канатного бурения (БС-1, БС-1М) и вращательного бурения с пневмоударником (УГБ-50М) производилось на основании чистого времени бурения 1 м скважины в скальных породах, приведенного в таблице 6 на стр. 15 книги [6] "Единые нормы времени и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е2 "Земляные работы", Выпуск 3 "Буровзрывные работы". Издание официальное, 1990 г.

Исходная таблица была переработана с учетом поставленной задачи - получения зависимости производительности буровых станков от параметра Г. В качестве такого параметра для буровых станков принят коэффициент крепости породы по Протоdjяконову М.М.- *f*. Производительность определялась по формуле

$$Q = \frac{\pi d^2}{4t}, \text{ см}^3/\text{мин}$$

где *d* - диаметр коронки, долота, резца, мм;  
*t* - время чистого бурения 1 м скважины, мин. (Табл.4).

Полученные таким образом исходные данные приведены в табл.5.

Значения параметров *a*, *b* и *c* модели (3.12) для определения расчетных значений производительности (см<sup>3</sup>/мин) буровых станков приведены в таблице 6.

Результаты сопоставления расчетных и фактических значений производительности буровых станков в зависимости от крепости породы по М.М. Протоdjяконову приведены в табл. 5. Там же приведены значения конечного результата функционирования и некоторые статистические характеристики.

Таблица 4

**Время чистого бурения 1 м скважины буровыми станками  
в скальных породах, мин.[6]**

Модель станка	Диаметр коронки, мм	Крепость породы по Протоdjяконову, f					
		1.4	3.5	6	7.5	9.5	12.5
БМК-4	105	3.4	4.6	7.1	11.35	18.5	29.05
СБМК-5	105	2.4	3.2	5.1	8.1	12.9	25
СБУ-100	105	2.3	3.1	5	7.95	12.7	20.3
Урал-64	155	2	2.5	3.65	5.25	7.65	11.8
1СБУ-125	125	2.6	3.25	4.7	6.85	9.95	14.4
БС-1	200	9	10.5	14.7	21.2	31.8	47.5
БС-1М	400	8	10.5	15.2	22	33	49.5
УГБ-50М	105	2.4	3.2	5.1	8.15	13.05	20.8
БТС-2	125	2.7	3.3	4.8	6.9	10	14.4
СБШ-250МН	244.5	1.2	1.6	2.45	3.7	5.5	8.25
БТС-150	146	1.9	2.6	4.4	6	13.05	23.3
БТС-2	146	2.3	3.1	5.3	9.2	16.4	30.1
БСВ-3	215.9	2	2.8	4.6	7.9	9.8	13.75
2СБШ-200	215.9	1.7	2.2	3.35	5.1	7.9	12.5
2СБШ-200	244.5	2	2.55	3.8	5.75	8.9	14.1
2СБШ-200Н	215.9	1.4	1.8	2.7	4.1	6.3	9.95
2СБШ-200Н	244.5	1.5	2	3.05	4.6	7.1	11.2
СБШ-160	146	1.7	2.2	3.8	6.5	11	19.8

Таблица 5

**Сопоставление фактических и расчетных значений производительности буровых станков в зависимости от коэффициента крепости породы по Протодюконову М.М.**

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Крепость породы по Протодюконову, $f$					
			1.4	3.5	5	7.5	9.5	12.5
Буровой станок Урал-64	$V = -6288.5 + \frac{164830.4}{8.966 + f}$  $S_{ocm} = 351.17$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	9435	7540	5169	3594	2467	1599
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	9613	6934	5514	3722	2638	1390
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	13458	24270	27570	27915	25058	17378
Буровой станок 1СБУ-125	$V = -2976.6 + \frac{788426.8}{8.669 + f}$  $S_{ocm} = 178.44$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	4720	3776	2611	1792	1233	852
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	4813	3468	2761	1874	1340	728
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	6738	12139	13806	14054	12730	9103
Буровой станок БС-1	$V = -2903.2 + \frac{83632.2}{11.415 + f}$  $S_{ocm} = 155.36$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3491	2992	2137	1482	988	661
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3623	2704	2192	1518	1096	594
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	5072	9464	10958	11387	10407	7424
Буровой станок СБУ-100	$V = -1969.2 + \frac{41687.2}{5.785 + f}$  $S_{ocm} = 161.99$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3765	2793	1732	1089	682	426
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3833	2521	1896	1169	758	311
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	5366	8822	9481	8766	7203	3884

Продолжение табл. 5

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Крепость породы по Протодьяконову, $f$					
			1.4	3.5	5	7.5	9.5	12.5
Буровой станок БМК-4	$V = -1510.2 + \frac{32987.4}{6.625 + f}$ $S_{ост} = 123.45$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	2547	1946	1220	763	477	298
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	2600	1748	1327	825	536	215
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	3641	6117	6637	6189	5088	2683
Буровой станок СБМК-5	$V = -1966.7 + \frac{42390.4}{6.112 + f}$ $S_{ост} = 155.34$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3608	2706	1698	1069	671	422
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3676	2443	1848	1148	747	311
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	5147	8552	9421	8606	7111	3886
Буровой станок БС-1М	$V = -8497.6 + \frac{211500.9}{7.259 + f}$ $S_{ост} = 428.26$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	15708	11968	8267	5712	3808	2539
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	15928	11160	8755	5833	4123	2206
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	22299	39062	43776	43745	39164	27581
Буровой станок УГБ-50М	$V = -1966.7 + \frac{42390.4}{6.112 + f}$ $S_{ост} = 155.98$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3608	2706	1698	1062	664	416
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3676	2443	1848	1148	749	311
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	5147	8552	9421	8606	7112	3887

Продолжение табл. 5

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Крепость породы по Протодяконову, $f$					
			1.4	3.5	5	7.5	9.5	12.5
Буровой станок УГБ-50М	$V = -2148.9 + \frac{58357.9}{9.485 + f}$ $S_{ост} = 121.77$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3147	2557	1779	1233	852	587
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	3212	2345	1880	1287	925	506
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	4497	8209	9400	9652	8787	6319
Буровой станок БТС-2	$V = -3113.9 + \frac{84489.3}{9.486 + f}$ $S_{ост} = 188.14$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	4545	3719	2557	1779	1227	852
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	4647	3392	2719	1860	1336	729
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	6506	11873	13593	13951	12694	9112
Буровой станок СБШ-250МН	$V = -18961 + \frac{43826.5}{6.064 + f}$ $S_{ост} = 1456.25$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	39126	29345	19164	12689	8460	5691
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	39757	26864	20651	13350	9198	4648
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	55660	94925	103257	100128	87385	58097
Буровой станок БТС-150	$V = -4929.1 + \frac{96147.6}{5.511 + f}$ $S_{ост} = 417.9$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	8811	6439	3805	2232	1283	719
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	8983	5741	4218	2461	1476	409
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	12576	20093	21091	18453	14023	5115

Продолжение табл. 5

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Крепость породы по Протодяконову, $f$					
			1.4	3.5	5	7.5	9.5	12.5
Буровой станок БТС-2	$V = -4384.7 + \frac{85592.2}{5.840 + f}$ $S_{ост} = 370.29$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	7279	5401	3159	1820	1021	556
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	7437	4779	3511	2031	1195	282
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	10412	16728	17556	15236	11352	3528
Буровой станок БСВ-3	$V = -6079.9 + \frac{137085.2}{4.162 + f}$ $S_{ост} = 770.3$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	18305	13075	7959	5306	3736	2663
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	18567	11812	8883	5675	3954	2148
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	259994	41341	44413	42562	37565	26844
Буровой станок 2СБШ-200	$V = -13205 + \frac{309332.5}{7.4 + f}$ $S_{ост} = 784.9$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	21535	16641	10928	7178	4634	2929
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	21946	15174	11741	7555	5098	2339
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	30725	53109	59705	56665	48435	29238
Буровой станок 2СБШ-200	$V = -13841 + \frac{335924.7}{7.47 + f}$ $S_{ост} = 926.24$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	23476	18412	12356	8165	5275	3330
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	24031	16781	13098	8599	5954	2981
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	33644	58734	65489	64492	56566	37257

Продолжение табл. 5

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Крепость породы по Протодьяконову, $f$					
			1.4	3.5	5	7.5	9.5	12.5
Буровой станок 2СБШ-200Н	$V = -16619 + \frac{397693.9}{47.792 + f}$ $S_{oct} = 1012.28$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	26150	20339	13559	8929	5811	3679
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	26646	18600	14470	9387	6379	2979
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	37304	65099	72349	70405	60604	37240
Буровой станок 2СБШ-200Н	$V = -16643 + \frac{380438.2}{6.455 + f}$ $S_{oct} = 1126.1$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	31301	23476	15394	10207	6613	4192
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	31791	21574	16569	10619	7202	3428
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	44508	75508	82846	79643	68415	42845
Буровой станок СБШ-160	$V = -6456.4 + \frac{131720.8}{6.555 + f}$ $S_{oct} = 619.2$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	9848	7610	4406	2576	1522	846
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	10102	6644	4943	2915	1748	456
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	14143	23253	24715	21865	16605	5703

## Перфораторы

Для определения производительности перфораторов использовались нормы времени на бурение 1 м шпура в зависимости от категории породы и диаметра патронов ВВ [8,9]. Эти нормы приведены в табл.6.

Таблица 6

Нормы времени  $t$  на бурение 1 м. шпура [9]

Перфоратор диаметр патрона мм	Коэффициент крепости породы по М.М.Протодяконову. $f$					
	1.75	2.5	5.5	8.0	12.5	18.0
$\frac{ПР-27В}{45 \text{ мм}}$	-	0.14	0.16	0.20	0.29	-
$\frac{ПР-24Л}{32-36 \text{ мм}}$	0.17	0.20	0.23	0.28	0.42	-
$\frac{ПР-24Л}{45 \text{ мм}}$	0.23	0.25	0.29	0.40	0.58	-
$\frac{ПР-30Л}{32-36 \text{ мм}}$	0.18	0.22	0.25	0.30	0.45	0.73
$\frac{ПР-30Л}{45 \text{ мм}}$	0.24	0.26	0.31	0.43	0.63	0.98
$\frac{ПР-20, ПР-35}{32-36 \text{ мм}}$	0.23	0.25	0.28	0.38	-	-
$\frac{ПР-20, ПР-35}{45 \text{ мм}}$	0.28	0.33	0.39	0.53	-	-

Производительность перфораторов определялась по формуле:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4t},$$

где  $d$  - диаметр патрона, мм;  $t$  - время, необходимое на бурение 1 м, мин/м

Результаты этих расчетов приведены в табл. 8.

Значения параметров  $a, b$  и  $c$  модели [1.33] для определения расчетных значений производительности перфораторов буровых станков приведены в таблице 7.

Таблица 7

**Значения параметров  $a, b$  и  $c$  модели [1.33] для перфораторов**

Перфоратор	Диаметр патрона, мм	$a$	$b$	$c$	Стандартная ошибка
ПР-27В	45	-11.575	751.44	37.328	0.184
ПР-24Л	32-36	-10.331	680.72	41.04	0.169
ПР-24Л	45	-11.267	824.62	51.2	0.13
ПР-30Л	32-36	-8.517	555.13	38.855	0.246
ПР-30Л	45	-8.422	580.52	44.82	0.164
ПР-20, ПР-35	32-36	-8.27	579.28	44.363	0.167
ПР-20, ПР-35	45	-9	580	44.953	0.148

Результаты сопоставления расчетных и фактических значений производительности перфораторов в зависимости от крепости породы по М.М. Протодяконову приведены в табл. 8. Там же приведены значения конечного результата функционирования и некоторые статистические характеристики.

Анализ данных, приведенных в табл. 8, показывает, что наблюдается достаточно хорошая сходимость расчетных и фактических значений производительности перфораторов. И в этом случае, максимальная ошибка не превышает 7%.

Таблица 8

**Сопоставление фактических и расчетных значений производительности перфораторов в зависимости от коэффициента крепости породы по Протодяконву М.М.**

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Крепость породы по Протодяконву, $f$					
			1.75	2.5	5.5	8	12.5	18
Перфоратор ПР-27В D=45 мм	$V = 111239 + \frac{17607200}{-178.9 + f}$ $S_{ocm} = 211.23$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	-	11360	9940	7952	5484	-
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	11841	11418	9691	8206	5419	1802
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	20721	28546	53302	65646	67730	32431
Перфоратор ПР-24Л	$V = 111239 + \frac{17607200}{-178.9 + f}$ $S_{ocm} = 211.23$ D=36 мм	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	5988	5089	4426	3635	2424	-
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	5754	5434	4328	3570	2476	1466
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	10069	13587	23806	28563	30951	26385
	$V = 111239 + \frac{17607200}{-178.9 + f}$ $S_{ocm} = 211.23$ D=45 мм	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	6915	6362	5484	3976	2742	-
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	6754	6469	5319	4348	2569	340
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	11820	16174	29256	34785	32116	6123
Перфораторы ПР-20, ПР-35 D=36 мм	$V = 15252.2 + \frac{5263196}{-50.156 + f}$ $S_{ocm} = 138.15$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	4426	4072	3635	2679	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	4379	4208	3466	2767	1275	-
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	7664	10520	19064	22139	15942	-

Продолжение табл. 8

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Крепость породы по Протоdjяконову, $f$					
			1.75	2.5	5.5	8	12.5	18
Перфоратор ПР-20, ПР-35 D=45 мм	$V = -2265 + \frac{107065.4}{12.018 + f}$ $S_{ocm} = 240.1$	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	5680	4819	4078	3001	-	-
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	5511	5109	3846	3083	2102	1301
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	9645	12773	21156	24667	26271	23429
Перфоратор ПР-30Л	$V = -3891 + \frac{201471.5}{20.039 + f}$ $S_{ocm} = 307.5$ D=36 мм	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	5655	4627	4072	3393	2262	1394
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	5356	5048	3998	3294	2301	1406
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	9373	12620	21989	26357	28762	25303
	$V = -4383.2 + \frac{208012}{17.135 + f}$ $S_{ocm} = 238.7$ D=45 мм	Производительность, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	6627	6117	5130	3699	2524	1623
		Производительность расчетная, $V$ , см <sup>3</sup> /мин	6633	6212	4808	3893	2636	1538
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	11607	15530	26442	31147	32955	27675

## Подземные контактные и аккумуляторные электровозы

Для определения параметров  $a, b$  и  $c$  для подземных электровозов использовались нормы времени и расценки на 10 вагонеток, приведенные в [9]. Производительность электровозов при заданном расстоянии откатки рассчитывалась по формуле:

$$Q = \frac{n_B G_B}{t},$$

где  $n$  - количество вагонеток в составе, шт. ( $n = 10$ );

$G_B$  - грузоподъемность одной вагонетки, т;

$t$  - норма времени на транспортирование 10 вагонеток при заданной длине транспортирования  $L$ .

В табл. 9 приведены нормы времени на 10 вагонеток [9]

Значения параметров  $a, b$  и  $c$  модели, вычисленные по программе "NELREG.BAS" для электровозов, приведены в табл. 10. Результаты сопоставления расчетных и фактических значений производительности подземных электровозов в зависимости от грузоподъемности вагонетки и длины транспортирования приведены в табл. 1.5. Там же приведены значения конечного результата функционирования и некоторые статистические характеристики.

Таблица 9

**Нормы времени на 10 вагонеток, час. (При сцепном весе электровоза 6.5 кН и более.)**

Расстояние откатки, м	Контактные электровозы		Аккумуляторные электровозы	
	Грузоподъемность вагонеток, т			
	1	2-3	1	2-3
300–500	0.29	0.44	0.44	0.65
501-750	0.39	0.55	0.55	0.82
751-1000	0.44	0.67	0.67	1
1001-1250	0.51	0.78	0.78	1.1
1251-1500	0.61	0.92	0.92	1.4
1501-1750	0.71	1	1	1.6
1751-2000	0.79	1.2	1.2	1.8

Таблица 10

**Значения параметров  $a, b$  и  $c$  модели (1.33) для определения производительности подземных электровозов**

Тип электровоза	Грузоподъемность вагонетки, т	$a$	$b$	$c$	Стандартная ошибка модели
Контактные электровозы	1	0.86	28071	446.27	0.79
	2-3	-1.527	56177	565.1	0.498
Аккумуляторные электровозы	1	-0.763	22961	580.49	0.196
	2-3	-4.346	47172	708.5	0.697

Таблица 11

**Сопоставление фактических и расчетных значений производительности подземных электровозов в зависимости от вместимости вагонетки и длины транспортирования**

Модель изделия	Расчетные формулы	Наименование параметра	Расстояние откатки, $L$						
			400	875	1000	1375	1625	1875	2000
Контактные электровозы	$V = -2.507 + \frac{37455.98}{612.02 + L}$ $S_{ocm} = 0.095$	Производительность, $V$ , т/час	34.5	22.7	-	16.39	14.08	12.65	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/час	34.5	22.68	20.72	16.34	14.24	12.56	11.84
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	13803	19842	20724	22470	23136	23544	23675
	$V = -1.527 + \frac{56177}{565.1 + L}$ $S_{ocm} = 0.576$	Производительность, $V$ , т/час	56.8	37.3	-	27.17	25	20.83	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/час	56.7	37.48	34.34	27.43	24.06	21.50	20.30
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	22704	32787	34343	37644	39098	40168	40594
Аккумуляторные электровозы	$V = -0.959 + \frac{23497.6}{593.55 + L}$ $S_{ocm} = 3.121$	Производительность, $V$ , т/час	22.7	15	-	10.87	10	2.33	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/час	22.7	15.04	13.79	10.98	9.63	8.56	8.1
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	9076	13161	13786	15094	15653	16050	16202
	$V = -1.962 + \frac{38215.37}{545.23 + L}$ $S_{ocm} = 0.063$	Производительность, $V$ , т/час	38.5	25	-	17.85	15.63	13.89	-
		Производительность расчетная, $V$ , т/час	38.5	24.95	22.77	17.94	15.65	13.83	13.05
		Конечный результат Функционирования, $\lambda$	15387	21828	22769	24667	25426	25928	26105

## Список литературы

1. **Позин Е.З.** Сопrotивляемость углей разрушению режущими инструментами. М.: Наука, 1972
2. **Радкевич Я.М., Марьин В.В., Тимофеев В.Б.** Методика установления нормативных значений показателей уровня технологических процессов производства горного оборудования.- В сб.: Повышение качества горного оборудования.-М.: МГИ, 1988, с.122-133.
3. **Подэрни Р.Ю.** Горные машины и комплексы для открытых горных работ.-М.: Недра, 1985
4. **Беляков Ю.И., Владимиров В.М.** Совершенствование экскаваторных работ на карьерах.- М.: Недра, 1974.
5. **Беляков Ю.И.** Совершенствование технологии выемочно - погру-зочных работ.- М.: Недра, 1977.
6. **ЕНиР.** Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е2. Земляные работы. Вып. 3. Буровзрывные работы./Госстрой СССР.-М.: Стройиздат, 1988.
7. **Докукин А.В., Фролов А.Г., Позин Е.З.** Выбор параметров выемочных машин. Научно-методические основы. - М.: Наука, 1976
8. **Васильев В.М.** Перфораторы: Справочник. -М.: Недра, 1989.
9. **ЕНиР.** Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е36. Горнопроходческие работы. Вып. 1. Строительство угольных шахт и карьеров/Госстрой СССР.-М.: Стройиздат, 1988.