



УДК 622.23

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

С.Н.ЖАРИКОВ

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Рассмотрены вопросы, связанные с расчетом рабочего времени карьерного экскаватора при погрузке горной массы в автосамосвалы. Проанализирована методика расчета годовой производительности. Отражены расходы при учете рабочего времени горной машины по разным источникам. Предложено учитывать время ремонтного цикла при определении годовой производительности экскаватора. Представлены результаты анализа цикличности различных видов ремонтов в промежутке между капитальными в зависимости от отработанного времени. Изложены методические рекомендации для расчета рабочих дней экскаватора в году с учетом ремонтного цикла и уточненного коэффициента использования в течение смены. Показано, что при снижении коэффициента использования экскаватора в течение смены, при более точном учете рабочего времени за год, расчетная производительность периода снижается медленнее, чем при расчете по справочной литературе. При этом при снижении сменного коэффициента использования экскаватора расчетная производительность убывает менее значительно (на 23 % выше), чем результат, получаемый согласно справочной литературе.

Ключевые слова: выемка горной массы, одноковшовый экскаватор, механическая лопата, ремонты горной машины, производительность горной техники

Как цитировать эту статью: Жариков С.Н. Совершенствование расчета производительности карьерного экскаватора // Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 56-61. DOI: 10.25515/PMI.2018.1.56

Введение. В настоящее время работа карьерных экскаваторов типа механическая лопата достаточно широко освещена в научно-технической литературе. Однако до сих пор производительность экскаватора по имеющимся методическим рекомендациям сложно определить для конкретных условий эксплуатации, и на разных предприятиях в схожих условиях она может отличаться от средней в 2,0-2,5 раза. Причины этому разные: природные, технологические, организационные, уровень квалификации персонала и т.д. [10, 11].

Постановка проблемы. Согласно [2] фактическая производительность экскаватора отстает от технологически возможной ввиду организационных недостатков, исправить которые можно путем более рационального использования рабочего времени, а в работах [1, 4] показано, что эффективность выемочных работ растет при их интенсификации. Получается, что существует резерв повышения производительности выемочной техники и этот резерв уменьшается при повышении интенсивности работ. Тогда целесообразно иметь представление, насколько закладываемый резерв времени соответствует принципу достаточного минимума и насколько эффективно применение машины в конкретных условиях. Содержание горной техники связано со значительными издержками, которые несет предприятие, и если техника эффективно не эксплуатируется, то эти средства для предприятия являются убытком. Данный вопрос заслуживает внимания, и в первую очередь следует рассмотреть методику расчета производительности, которая представлена в справочной литературе [7]. Назовем ее первой методикой.

Методология и обсуждение результатов. Согласно [7], эксплуатационная производительность одноковшового экскаватора определяется следующим образом:

$$Q_3 = \frac{3600 E}{t_{\text{ц}}} \frac{t_p}{t_p + t_n} \frac{k_n}{k_p} k_{\text{ис}} T_{\text{см}}, \quad (1)$$

где E – емкость ковша экскаватора, м³; $t_{\text{ц}}$ – время цикла, с; t_p – время работы на одном месте, мин; t_n – время передвижки, мин; k_n – коэффициент наполнения ковша; k_p – коэффициент разрыхления горной массы в ковше; $k_{\text{ис}}$ – коэффициент использования сменного времени; $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч.

Согласно [7], коэффициент использования сменного времени экскаватора при погрузке в автосамосвалы составляет 0,8-0,9. С этого диапазона значений и начинается комплекс противоречий при дальнейшем расчете годовой производительности горной машины.

Следует рассмотреть сменную работу экскаватора подробнее на примере экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-10. Специфические особенности работы данных машин приведены в нормативных документах [2, 3]. В течение смены нормативы времени следующие: подготовительно-заключительные работы и обслуживание рабочего места $t_{\text{пз}} = 31$ мин; время на личные надобно-



сти $t_{\text{лн}} = 10$ мин; регламентированные перерывы, ожидания при подчистке подъездов к экскаватору бульдозером $t_{\text{рег}} = 10$ мин; обеденный перерыв $t_o = 30$ мин; время ожидания автосамосвала 0,4 мин; время установки автосамосвала под погрузку 0,5-0,7 мин. В целом на один загружаемый автосамосвал ко времени, которое тратится на погрузку, дополнительно требуется около 1 мин. Если принять, что взорванная горная масса грузится экскаватором ЭКГ-10 в автосамосвал грузоподъемностью 130 т, то время загрузки одной машины составит 4,0-5,0 мин, то есть дополнительное время равно около 20 % времени погрузки.

При условии бесперебойной подачи автосамосвалов к экскаватору время погрузки

$$t_{\text{пог}} = T_{\text{см}} - (t_{\text{пз}} + t_{\text{лн}} + t_{\text{рег}} + t_o + 0,20t_{\text{пог}})$$

или

$$t_{\text{пог}} = T_{\text{см}} - t_{\text{пз}} - t_{\text{лн}} - t_{\text{рег}} - t_o - 0,20t_{\text{пог}},$$

откуда

$$t_{\text{пог}} + 0,2t_{\text{пог}} = T_{\text{см}} - t_{\text{пз}} - t_{\text{лн}} - t_{\text{рег}} - t_o,$$

тогда

$$t_{\text{пог}} = \frac{T_{\text{см}} - (t_{\text{пз}} + t_{\text{лн}} + t_{\text{рег}} + t_o)}{1,2}. \quad (2)$$

При 8-часовой смене время погрузки составит 5, 6 ч, при 12-часовой – 8, 9 ч. При этом коэффициент использования сменного времени $k_{\text{ис}}$ в первом случае не превысит 0,7, а во втором случае 0,74. Таким образом, коэффициент использования сменного времени экскаватора на погрузку горной массы в автотранспорт технологически не может быть выше указанных значений. Следовательно, в первой методике либо изначально существенно завышена годовая производительность, либо количество закладываемых простоев машины в году компенсирует разницу, приводя значения к некоторому среднему показателю.

Вторым недостаточно ясным значением при расчете производительности экскаватора является число рабочих дней в году (в среднем 245 дней), что составляет 68,5 % годового времени. Получается, что почти треть времени в году экскаватор не производит погрузку. В первую очередь это связано с различными видами ремонтов (предупредительных, текущих, капитальных, аварийных). Однако периодичность ремонтов разная, промежуток времени между некоторыми из них более года, и учет времени на ремонт, который не осуществлен в данный период, в конечном итоге ведет к ошибочному расчету производительности машины, поэтому данный вопрос также требует подробного рассмотрения.

Ниже представлен анализ периодичности ремонтов экскаватора типа ЭКГ-8И, ЭКГ-10 на основе данных по ремонтному обслуживанию [5, 6, 8, 9]. На основе данных табл.1 построена зависимость времени ремонтов машины нарастающим итогом от наработанных машино-часов в промежутке между капитальными ремонтами механической лопаты с ковшом вместимостью 10 м³ (рис.1). Ее можно представить в следующем виде:

$$t_{\text{рем}} \approx 0,2 t_{\text{к-к}}^{\text{м}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{рем}}$ – время, затраченное на ремонты машины после капитального ремонта; $t_{\text{к-к}}^{\text{м}}$ – выработанные машино-часы после капитального ремонта.

Выражение (3) не учитывает время на капитальный ремонт, но принимает в расчет время в промежутке между капитальными ремонтами в ремонтном цикле. Получается, что время, затраченное на ремонты машины, прямо пропорционально наработанным машино-часам между капитальными ремонтами в рамках полного ремонтного цикла. При этом следует отметить, что на многих предприятиях применяется импортная техника, система ремонтов у которой отличается. В крупных компаниях количество зарубежных машин может превышать количество ЭКГ. В этом случае, как правило, систему ремонтов отечественных экскаваторов оптимизируют под схемы ремонтов иностранной техники. Таким образом немного сокращаются затраты времени, и, следовательно, выражение (3) может иметь другой вид либо другую степень достоверности, однако принципиального изменения в подходе к расчетам пока нет.



Таблица 1

Время ремонтных циклов между капитальными ремонтами механической лопаты с вместимостью ковша 10 м³ [6]

Вид ремонта	Межремонтный период, машино-час	Время на ремонт, ч	Машино-часы работы экскаватора в промежутке между капитальными ремонтами	Время ремонта нарастающим итогом в рамках ремонтного цикла, ч
PO	466	60	466	60
PO	466	60	932	120
PO	466	60	1398	180
PO	466	60	1864	240
PO	466	60	2330	300
PO	466	60	2796	360
T1	2800	120	2800	480
PO	466	60	3266	540
PO	466	60	3732	600
PO	466	60	4198	660
PO	466	60	4664	720
PO	466	60	5130	780
PO	466	60	5596	840
T2	5600	240	5600	1080
PO	466	60	6066	1140
PO	466	60	6532	1200
PO	466	60	6998	1260
PO	466	60	7464	1320
PO	466	60	7930	1380
PO	466	60	8396	1440
T1	8400	120	8400	1560
PO	466	60	8866	1620
PO	466	60	9332	1680
PO	466	60	9798	1740
PO	466	60	10264	1800
PO	466	60	10730	1860
PO	466	60	11196	1920
T3	11200	336	11200	2256
PO	466	60	11666	2316
PO	466	60	12132	2376
PO	466	60	12598	2436
PO	466	60	13064	2496
PO	466	60	13530	2556
PO	466	60	13996	2616
T1	14000	120	14000	2736
PO	466	60	14466	2796
PO	466	60	14932	2856
PO	466	60	15398	2916
PO	466	60	15864	2976
PO	466	60	16330	3036
PO	466	60	16796	3096
T2	16800	240	16800	3336
PO	466	60	17266	3396
PO	466	60	17732	3456
PO	466	60	18198	3516
PO	466	60	18664	3576
PO	466	60	19130	3636
PO	466	60	19596	3696
T3	19600	336	19600	4032
PO	466	60	20066	4092
PO	466	60	20532	4152
PO	466	60	20998	4212
PO	466	60	21464	4272
PO	466	60	21930	4332
PO	466	60	22396	4392
K	22400	2160	22400	6552

Примечание. PO – ремонтные осмотры; T1, T2, T3 – текущие ремонты; K – капитальный ремонт.

По предлагаемой (второй) методике годовое время ремонтов $t_{\text{рем}}^{\Gamma}$ можно определить как время ремонтов в соответствии с отработанными машино-часами за вычетом суммы времени ремонтов прошедших периодов:

$$t_{\text{рем}}^{\Gamma} = t_{\text{рем}} - \sum t_{\text{рем}}^{i\Pi}, \quad (4)$$

где $t_{\text{рем}}^{\Gamma}$ – время на ремонты в расчетном году; $\sum t_{\text{рем}}^{i\Pi}$ – сумма времени уже проведенных ремонтов в предыдущих периодах.

Таким образом, запланировав работу экскаватора в машино-часах в году и зная выработку за предыдущие периоды, можно достаточно точно определить время ремонтов и соответствующим образом уточнить количество рабочих дней экскаватора в году.

Если в расчетном году предполагается капитальный ремонт, то время на него прибавляется к сумме времени, рассчитанного до и после капитального ремонта. Записать это можно так:

$$t_{\text{рем}}^{\Gamma} = t_{\text{рем}}^{\Gamma-\text{К}} + t_{\text{рем}}^{\text{К}} + t_{\text{рем}}^{\text{К}-\Gamma}, \quad (5)$$

где $t_{\text{рем}}^{\Gamma-\text{К}}$ – часть годового ремонтного времени до капитального ремонта; $t_{\text{рем}}^{\text{К}}$ – время капитального ремонта; $t_{\text{рем}}^{\text{К}-\Gamma}$ – часть годового ремонтного времени после капитального ремонта до конца года.

Рассмотрим предлагаемый вариант расчета времени работы экскаватора в году. Планируется, что экскаватор проработает 5000 машино-часов за год, в предыдущие периоды он наработал 10000 машино-часов, в связи с чем суммарное время ремонтов в прошлых периодах составило 2000 ч. В этом случае годовое время ремонтов составит 1000 часов. При 12-часовой смене и круглосуточной работе предприятия экскаватор простоит около 42 суток. К простоям следует также добавить запас времени на форс-мажорные обстоятельства, аварийные ремонты и перегон не более 20 суток. Тогда работа экскаватора в году продолжалась в течение $365 - 62 = 303$ суток.

При этом следует отметить, что время переездов может быть существенно сокращено, если экскаватор при перегоне подключить к дизель-генератору, установленному на грузовом автомобиле, следующем параллельным курсом. Это позволит добиться скорости передвижения машины более 1 км/ч, что существенно сэкономит время и увеличит эффективную область перемещения экскаватора.

Также следует обратить внимание на определение рабочего парка экскаваторов, который зависит от коэффициента резерва экскаваторов

$$k_{\text{рез}} = \frac{T_{\Gamma}}{n_{\text{год}}}, \quad (6)$$

где T_{Γ} – число рабочих дней карьера в году; $n_{\text{год}}$ – количество рабочих дней экскаватора в году.

Допустим, что в карьере списочный парк экскаваторов составляет 10 шт. Согласно первой методике коэффициент резерва $k_{\text{рез}} = 365/245 \approx 1,49$; а согласно второй методике $365/303 \approx 1,20$. Тогда в первом случае рабочий парк экскаваторов равен $10/1,49 \approx 6,71 \approx 7$ ед.; во втором – $10/1,20 \approx 8,33 \approx 9$ ед. Получается, что при максимальной производительности машины и соответствующей высокой интенсивности горных работ недоучет рабочих дней в году ведет к занижению требуемого рабочего парка экскаваторов. Это может привести к неправильному планированию ресурсов ремонтной службы, когда в соответствии с условиями горных работ внезапно потребуется обеспечивать работу дополнительных единиц техники.

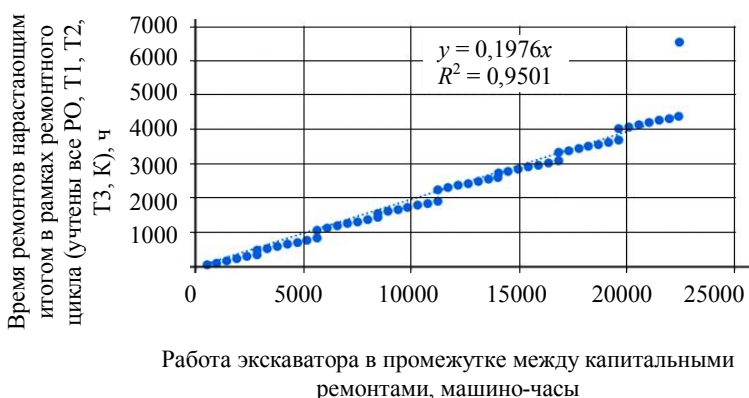


Рис.1. Зависимость времени ремонтов машины нарастающим итогом от наработанных машино-часов в промежутке между капитальными ремонтами механической лопаты с вместимостью ковша 10 м³



Таблица 2

Анализ произведения $k_{ис}n_{год}$ по двум методикам расчета производительности экскаватора при снижении $k_{ис}$

Первая методика			Вторая методика		
$k_{ис}$	$n_{год}$	$k_{ис}n_{год}$	$k_{ис}$	$n_{год}$	$k_{ис}n_{год}$
0,90	245	220,5	0,74	303	224,2
0,88	245	215,6	0,73	303	220,1
0,86	245	210,7	0,71	303	216,0
0,84	245	205,8	0,70	303	211,9
0,82	245	200,9	0,69	303	207,7
0,80	245	196,0	0,67	303	203,6
0,78	245	191,1	0,66	303	199,5
0,76	245	186,2	0,64	303	195,4
0,74	245	181,3	0,63	303	191,3
0,72	245	176,4	0,62	303	187,1
0,70	245	171,5	0,60	303	183,0
0,68	245	166,6	0,59	303	178,9
0,66	245	161,7	0,58	303	174,8
0,64	245	156,8	0,56	303	170,6
0,62	245	151,9	0,55	303	166,5
0,60	245	147,0	0,54	303	162,4
0,58	245	142,1	0,52	303	158,3
0,56	245	137,2	0,51	303	154,2
0,54	245	132,3	0,50	303	150,0
0,52	245	127,4	0,48	303	145,9
0,50	245	122,5	0,47	303	141,8
0,48	245	117,6	0,45	303	137,7
0,46	245	112,7	0,44	303	133,6
0,44	245	107,8	0,43	303	129,4
0,42	245	102,9	0,41	303	125,3
0,40	245	98,0	0,40	303	121,2

Следует сравнить рассмотренные методики расчета, потому что в первом случае принят завышенный коэффициент использования сменного времени и меньшее количество дней работы в году, а во второй – меньший коэффициент, но большее число рабочих дней. Удобнее данное сравнение провести следующим образом. Допустим, что часть Q_3 в выражении (1) является постоянной:

$$\frac{3600 E}{t_{ц}} \frac{t_p}{t_p + t_{п}} \frac{k_{н}}{k_p} T_{см} = \text{const.} \quad (7)$$

Тогда на изменение производительности будет влиять произведение коэффициента использования экскаватора в течение смены и количества рабочих дней в году ($k_{ис}n_{год}$). При максимальном $k_{ис}$ результаты по обеим методикам расчета следующие: по первой методике

$k_{ис}n_{год} = 0,9 \cdot 245 = 220,50$; по второй $k_{ис}n_{год} = 0,74 \cdot 303 = 224,22$.

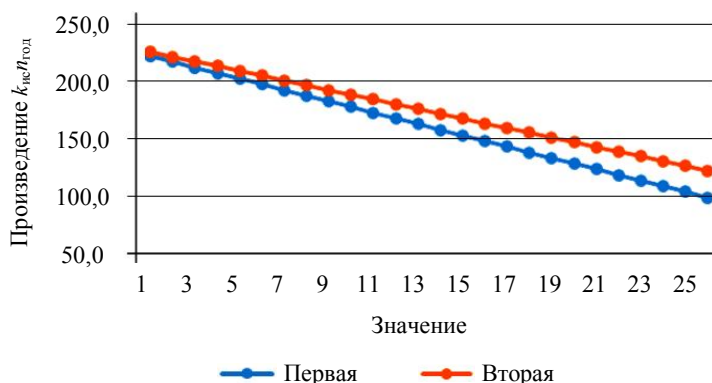


Рис.2. Графики изменения произведений $k_{ис}n_{год}$, рассчитанные по двум методикам, при снижении $k_{ис}$ до 0,4

Разница составляет около 1,7 % от первой величины, что в принципе находится в пределах погрешности расчетов. Однако это максимальные значения $k_{ис}$ и являются в большей мере идеальными величинами, поэтому следует рассмотреть динамику изменения $k_{ис}n_{год}$ при снижении $k_{ис}$ до 0,4. Результаты представлены в табл.2 и на рис.2. Промежуточные значения между граничными получены интерполяцией, всего выбрано по 26 значений.



Согласно графикам, по первой методике падение расчетной производительности от начального значения больше (55,56 %), чем по второй (45,95 %), при этом разница в производительности при $k_{ис} = 0,4$ составляет 23,67 % от значения по первой методике.

Заключение. Анализ расчета производительности одноковшового экскаватора показал, что при погрузке в автотранспорт коэффициент использования экскаватора в течение смены ниже, чем рекомендованный в справочной литературе. Максимальное значение $k_{ис} \leq 0,74$.

Предложена методика расчета рабочих дней экскаватора в году с учетом ремонтного цикла и уточненного коэффициента использования экскаватора в течение смены.

Показано, что учет ремонтного времени в рамках полного ремонтного цикла позволяет получить при расчете производительности машины существенно большее количество рабочих дней, что при соответствующей организации горных работ может увеличить годовую производительность экскаватора. Это возможно, если горные работы ведутся достаточно интенсивно, ввиду того, что постоянную отгрузку необходимо обеспечивать с достаточной для этого скоростью подготовительных работ.

Сравнение коэффициентов резерва экскаваторов на основе учета рабочих дней по методикам справочной литературы и предлагаемой автором показало, что недоучет рабочих дней в году может привести к занижению требуемого рабочего парка экскаваторов.

Установлено, что при снижении коэффициента использования экскаватора в течение смены и более точного учета рабочих дней экскаватора в году снижение расчетной производительности происходит медленнее, чем описано в справочной литературе. При этом расчетная производительность, согласно предложенной методике, при снижении $k_{ис}$ до 0,4 более чем на 23 % выше по сравнению с результатами, приведенными в справочной литературе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грязнов М.В. Ресурсы производительности экскаваторно-автомобильного комплекса / М.В.Грязнов, С.В.Колобанов // Мир транспорта. 2013. № 3. С. 96-102.
2. Единые нормы выработки и времени на экскавацию и транспортирование горной массы автосамосвалами для предприятий цветной металлургии / Минцветмет СССР. М., 1986. 92 с.
3. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Ч. IV. Экскавация и транспортирование горной массы автосамосвалами / Центральное бюро нормативов по труду. М., 1989. 81 с.
4. Жариков С.Н. Энергоемкость экскавации горной массы и взаимосвязь выемки со смежными процессами горных работ // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. Т. 4. № 1. С. 179-186.
5. Инструкция по эксплуатации 3519.00.00.000 Экскаваторы ЭКГ-8И, ЭКГ-6,3 и ЭКГ-4у / ПО «Ижорский завод» им. А.А.Жданова. Л., 1980. URL: http://www.studmed.ru/view/instruktsiya-po-ekspluatatsii-eksikatorov-ekg-8i-ekg-6zus-i-ekg-4u_6b7ab63a32d.html (дата обращения 23.01.2017).
6. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. М.: Недра, 1968. 308 с.
7. Открытые горные работы: Справочник / К.Н.Трубецкой, М.Г.Потапов, К.Е.Виницкий и др. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
8. Постановление Госкомтруда СССР, Секретариата ВЦСПС от 23.07.1985 N 235/16-21. Об утверждении типовых норм времени на ремонт экскаваторов механических лопат ЭКГ-8, ЭКГ-8И. URL: <http://bestpravo.ru> (дата обращения 19.02.2016).
9. Инструкция по эксплуатации 3536.00.00.000РЭ Экскаваторы карьерные гусеничные ЭКГ-10, ЭКГ-8ус и ЭКГ-5у / ОАО «Ижорские заводы». СПб, 2000. URL: <https://www.twirpx.com/file/615105/> (дата обращения 23.01.2017).
10. Стандартизация производственных процессов – ключевое направление развития предприятия и компании / В.П.Баскаков, Е.В.Борзых, А.М.Животыгин и др. М.: Горная книга, 2010. 46 с. (серия «Библиотека горного инженера руководителя»). Вып. 4).
11. Хохряков В.С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых: Учеб. для техникумов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1991. 336 с.

Автор С.Н.Жариков, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, 333vista@mail.ru (Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия).

Статья принята к публикации 07.07.2017.