

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НА СЛОЖНО-СТРУКТУРНЫХ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ



**Мислибоев И.Т.**  
декан «Горного»  
факультета,  
НГГИ, доктор  
технических наук  
Misliboyev I.T.  
Dean of the  
Faculty of Mining  
NSMI,  
Doctor of  
Technical  
Sciences



**Махмудов А.М.**  
заведующий  
кафедрой «Горная  
электромеханика»,  
НГГИ, кандидат  
технических наук,  
доцент  
Head of the  
Department  
«Mining  
Electromechanics»  
NSMI, Candidate of  
Technical Sciences



**Махмудов Ш.А.**  
докторант НГГИ  
Doctoral student  
NSMI

E-mail. [maxmudov-azamat@inbox.ru](mailto:maxmudov-azamat@inbox.ru), [1yy2@mail.ru](mailto:1yy2@mail.ru).

*Maqolada qiyin strukturali chuqur kar'arlarda qo'llaniladigan uzlukli harkat qiluvchi bir cho'michli ekskavatorlarning ekspluatatsion ko'rsatkichlariga va unumdorligiga ta'sir etuvchi omillar ko'rib chiqilgan. Kon massasini qazib olish va qo'llaniladigan ekskavatorning turini tanlashda ta'sir etadigan omillar quruhlariga bo'lib chiqilgan: tabiiy omillar; konstruktiv-ekspluatatsion omillar; kontexnik omillar; kon texnologik omillar; tashkiliy va iqtisodiy omillar. Ishda mexanik va gidravlik ekskavatorlarning qo'llanilishini aniqlash, hamda turli shart-sharoitlarda cho'mich sig'imini pog'ona balandligiga mos ravishda tog' jinslari qattiqligi, portlatib maydalangan tog' jinsi bo'lakligi va maydaanish koeffitsientiga mos keladigan olchamlarini belgilash bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari keltirilgan.*

*Tayanch iboralar: Kar'yer, tog' jinsi, massiv, kovjoy, maydalanganlik, iqlim sharoiti, ekskavatsiyaga qarshilik koeffitsienti, qattiqlik, bo'laklik, maydalanish koeffitsienti, unumdorlik, ekskavator.*

*В настоящей работе рассматриваются вопросы влияния различных условий работы на производительность и на эксплуатационные показатели одноковшовых карьерных экскаваторов циклического действия на сложно-структурных глубоких карьерах, а также выемка горной массы и вида применяемого карьерного экскаватора с учетом, разделения факторов влияющих на работу его на следующие группы с условиями: -определяемые природными факторами; -определяемые конструктивно-эксплуатационными факторами карьерных экскаваторов; - определяемые горнотехнические, горно-технологическими, организационными, экономическими факторами карьеров. Приведены результаты исследований по определению преимущественной области применения механических и гидравлических экскаваторов, а также по установлению рекомендуемой вместимости ковшей экскаваторов для различных условий работы: от коэффициента крепости породы, от кусковатости разрыхленных взрывом скальных горных пород и от коэффициента разрыхления породы при различной высоте уступа.*

*Ключевые слова: Карьер, порода, массив, забой, кусковатость, разрыхленность, климатические условия, коэффициент сопротивления экскавации, крепость, коэффициент разрыхления, производительность, экскаватор.*

*In the present work are viewed the questions about influencing the different conditions of working to the productiveness and operational index of mono bucket excavators periodic action in dead lift-structural deep mines, also hollowing of mining tons, and types of using mining excavators inclusive of factors parting, which influence to their work, dividing to the next groups with conditions: - identified with natural factors; -identified with constructive-operational factors of mining excavators; - identified with mining-technical, mining-technological, organizational and economical factors of mines. The results of studies to determine the preferred area of application of mechanical and hydraulic excavators, as well as to establish the recommended capacity of excavator buckets for various working conditions, are presented.*

*Key words: Mine, solid, jamb, firsts, pickaxe, climate conditions, the index of excavation resistance, productiveness, excavator.*

Большое разнообразие горнотехнических условий разработки рудных месторождений Узбекистана определяет необходимость применения различного по типу и назначению выемочно-погрузочного оборудования, так-как все месторождения характеризуются значительным разнообразием по генетике, вещественному и минералогическому составу, текстурно-структурным характеристикам, структурно-прочностным показателям пород[1]. На рудниках Навоийского горно-металлургического комбината в настоящее время находится в эксплуатации более 100 карьерных экскаваторов типа ЭКГ-5А; ЭКГ-8И; ЭКГ-10; ЭКГ-12,5; ЭКГ-15Т; ЭКГ-20К, HitachiEX-1200, EX-3600, O'KRH-40E, RH-200и др.

В Узбекистане исходя из причинно-следственной связи между горно-геологическими, производственными, климатическими условиями выемки горной массы, и видом применяемого карьерного экскаватора, факторы, установление значений которых является актуальной научно-практической задачей и их можно разделить на следующие группы с условиями: -определяемые природными факторами; -определяемые конструктивно-эксплуатационными факторами карьерных экскаваторов; - определяемые горнотехнические, горно-технологическими, организационными, экономическими факторами карьеров.

Целью настоящей работы является исследование вопросов влияния различных условий работы на производительность и на эксплуатационные показатели одноковшовых карьерных экскаваторов циклического действия на сложно-структурных глубоких карьерах. Объектом исследования рассмотрены одноковшовые экскаваторы, эксплуатируемые на участках со сложным строением массива и при этом в качестве предмета исследований принимались производительность, длительность черпания (Тч), коэффициент наполнения ковша (Кн) и увеличение безопасной высоты разрабатываемого забоя (Ну).

Исследованиями установлено, что с увеличением глубины отработки карьера увеличивается доля крепких трудно разрабатываемых горных пород от 10%-22% при глубины карьера 100-150м и до 48%-53% при глубины 600-650м[5,6].

Горно-технологические оборудования карьеров в Узбекистане эксплуатируются в различных сухих резко континентальных климатических условиях, как в экстремально-холодных климатических условиях, так и экстремально-высоких. Из климатических условий следует назвать влияние жаркого климата и резких изменений температуры - зимой  $-20^{\circ}\text{C}$ , летом  $+42^{\circ}\text{C}$ , днем  $+40^{\circ}\text{C}$ , ночью  $+8+10^{\circ}\text{C}$ . Эксплуатация карьерной техники в этих различных температурных условиях влечет частый выход из строя оборудования и, вызванные необходимостью его восстановления, дополнительные финансовые затраты. Это существенно влияет на рентабельность добычи полезного ископаемого и является весомой проблемой для горнодобывающих предприятий, так как в среднем каждый день незапланированный простой техники, связанный с аварийным отказом, обходится горнодобывающему предприятию в больших размерах в денежном выражении.

При этом установлено что, климатические условия Кызылкумского региона играют существенную роль при ведении горных работ, так производительность экскаваторов при эксплуатации в температурных режимах от минус  $20^{\circ}\text{C}$  до плюс  $50^{\circ}\text{C}$  отличается в 1,6-2,0 раза.

Произведенной нами анализ научных работ по определению влияния конструктивно-эксплуатационными факторов на эффективность использования карьерных экскаваторов, а также опыта крупнейших горных предприятий Узбекистана при разработке месторождений различных полезных ископаемых позволили определить преимущественные области применения механических и гидравлических экскаваторов. Механические лопаты вместимостью ковша до  $10\text{ м}^3$  и гидравлические экскаваторы эффективно применяются при разработке малых месторождений производственной мощностью до 5 млн.  $\text{м}^3$  в год при высоте уступа до 10м., гидравлические, а также, если затруднено или отсутствует электроснабжение. На крупных месторождениях при ведении вскрышных работ и валовой выемке полезного ископаемого при высоте уступа более 10м. применяются механические лопаты вместимостью ковша более  $10\text{ м}^3$ . При селективной выемке полезных ископаемых предпочтение отдано гидравлическим экскаваторам. Разработка средних месторождений характеризуется использованием обоих типов экскаваторов вместимостью ковша до  $10\text{ м}^3$ . В установленных областях применения нашли свое отражение главные преимущества экскаваторов: механических - работа в тяжелом режиме, низкие эксплуатационные затраты, высокая надежность, работа на более высоких уступах, работа с меньшим текущим коэффициентом вскрыши за счет формирования рабочего борта с повышенным углом откоса; гидравлических - автономность, маневренность, мобильность, низкие капитальные затраты с более коротким сроком окупаемости, наличие у рабочего органа дополнительной степени свободы, оказание сервисных услуг фирмами и др.

Оценку определяемые горнотехническими и горно-технологическими факторами на производительность можно характеризовать совокупным влиянием физико-механических характеристик горных пород и характеристики массива на работу экскаваторов и обоснование выбора их академик В. В. Ржевский рекомендует определить с помощью относительного показателя трудности экскавации породы  $\Pi$ , по эмпирической зависимости[8]

$$P_3 = 0,3\lambda(0,2\sigma_{сж} + \sigma_{сдв} + \sigma_{раст}) + 0,3\gamma \quad (1.)$$

где  $\lambda$ -коэффициент структурного ослабления пород в массиве направлений копания;  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_{сдв}$ ,  $\sigma_{раст}$  – соответственных пределы прочности горных пород на сжатие, сдвиг, растяжение, МПа;  $\gamma$ -плотность насыпной массы, т/м<sup>3</sup>.

При выборе типа экскаватора, его модели, параметры забоя должны соответствовать физико-техническим характеристикам разрабатываемой породы, ее экскавируемости, определяемой величиной удельного сопротивления копанию [3]

$$K_F = \frac{P_K}{F_\Phi} < \frac{P_K}{bt_p} \quad (2)$$

где  $P_K$ -касательная сила сопротивления породы копания;  $F_\Phi$ -фактическая площадь поперечного сечения стружки;  $b$  – ширина стружки;  $t_p$ -расчетная толщина стружки (глубина внедрения экскавирующего органа).

Относительный показатель трудности экскавации разрушенных пород зависит в основном от их степеней кусковатости и связности, характеризуемых коэффициентом разрыхления, и определяется по эмпирической формуле [4]

$$P_{э,р} = \left[ A + \frac{10A}{(K_p)^9} \right], \quad (3)$$

Где  $A$ -показатель кусковатости разрыхленной горной массы,

$$A = \gamma d_{ср} + 0,1b_{сдв},$$

$d_{ср}$ - средний размер кусков разрушенной породы в развале;

$K_p$  – коэффициент разрыхления разрушенной породы в развале.

В исследованиях за критерий оценки кусков горной массы может быть принят средний диаметр куска, величина которого вычисляется по формуле:

$$d_{ср} = \sum_{i=1}^n X_i \gamma_i \quad (4)$$

где  $d_{ср}$  - диаметр среднего куска;

$X_i$  - среднее арифметическое границ  $i$ -ой фракции;

$n$  - число фракций;

$\gamma_i$  - содержание  $i$ -ой фракции.

Выше указанными факторами и по степени кусковатости и разрыхленности горных пород определяются технико-экономические показатели последующих технологических процессов: экскавации, транспортирования, складирования, обогащения и т.д.

Для обеспечения высокоэффективной работы карьерного экскаватора необходимо, чтобы взорванная пород была не только интенсивно раздроблена, но и хорошо разрыхлена. С ростом коэффициента разрыхления породы ( $K_p$ ) в развале сокращается длительность черпания ( $Tч$ ), повышается коэффициент наполнения ковша ( $Kн$ ), создаются условия для увеличения безопасной высоты разрабатываемого забоя ( $Hу$ ) [9,10].

Влияние размерности куска горной породы в разрыхленном состоянии взрывом рассматривались в работах Л.И. Барона, П.А. Касьянова и определялись режимы нагружения рабочего оборудования, в частности подъемных механизмов[2,3,4]. Относительно к экскаваторам установлено, что нагрузки на рабочие механизмы при экскавации взорванной горной массы напрямую зависят от качества подготовки забоя. Повышение качества подготовки горной массы оказывает более эффективным технико-технологическим решением для повышения надежности и работоспособности горных машин, чем модернизация и внесение изменений в их конструкцию для увеличения несущей способности узлов и агрегатов.

В работах современных авторов влияние качества подготовки горной массы на техническое состояние карьерных экскаваторов цикличного действия подробно рассмотрено учёными Н.Г. Домбровским и Ю.И.Беляковым были экспериментально установлены коэффициенты сопротивления копания для основных видов экскавационного оборудования для категории пород по трудности разработки и без предварительного разрыхления грунтов I-VI категории по СНиП [3,5,6]. Ими определены влияние крепости горных пород на выбор типа экскаваторов, а также на выбор емкости ковша в зависимости от условий работы.

В экспериментальных исследованиях гранулометрический состав взорванной массы определяется путем непосредственных измерений кусков в развале или с помощью фотограмметрического метода и предлагается состояние забоя и рабочей площадки оценивать по трехбалльной шкале: хорошее; удовлетворительное и неудовлетворительное[9,10].

В свою очередь, каждое из этих состояний характеризуется соответствующими технологическими критериями:

Хорошее - отсутствие «негабаритов»; средняя кусковатость породы 150-300мм; время разборки забоя и разрушения негабаритов, выраженное в % от продолжительности смены,  $T_{P3}$  и  $T_{PH} = 0\%$ ; продольно-поперечный наклон рабочей площадки менее  $3^\circ$ ; ширина рабочей площадки 60-70 м; 2 подъезда.

Удовлетворительное - наличие «негабаритов»; средняя кусковатость породы 300-400 мм; время  $T_{P3}$  и  $T_{PH} = 10\%$ ; продольно-поперечный наклон рабочей площадки  $\sim 3^\circ$ ; ширина рабочей площадки 40-60 м.

Неудовлетворительное-наличие «негабаритов»; средняя кусковатость породы более 400 мм; время  $T_{P3}$  и  $T_{PH}$  более 20%; продольно-поперечный наклон рабочей площадки более  $3^\circ$ ; ширина менее 40 м; наличие «козырька» в забое и ям на рабочей площадке.

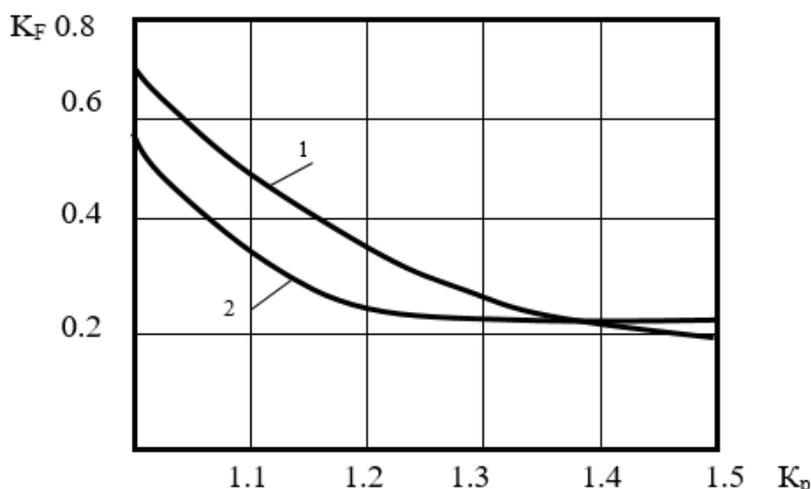


Рис. 1. Влияние коэффициента разрыхления породы в развале  $K_p$  на величину удельного сопротивления копанию  $K_F$ ; 1-известняки, 2-доломиты.

Из графика установлено зависимость величины удельного сопротивления копанию ( $K_F=0,28-0,7$ ) от коэффициента разрыхления породы в развале, которое показывает, что этот коэффициент должен находится в пределах  $K_p=1,25 - 1,5$ . Рекомендуемая емкость ковшей экскаваторов для разработки разрыхленных взрывом скальных горных пород в зависимости от условий работы приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Рекомендуемая емкость ковшей экскаваторов для разработки разрыхленных взрывом скальных горных пород в зависимости от условий работы

Условия работы	Рекомендуемая емкость ковша, $E, м^3$ , при высоты уступа $H_y, м$			Коэффициент крепости породы, $f$	Кусковатость, $d_{cp}$	Коэффициент разрыхления, $K_p$
	5	10	15			
Легкие состояние хорошее [ $K_F < 0,2$ ]	5,2	10	16-20	$f > 6$ ; $\gamma = 2,5-2,8$	0,15-0,3 0,3-0,4	1,15-1,3 1,3-1,5
Средние состояние удовлетворительное [ $K_F = 0,2-0,4$ ]	5	8	12,5-20	$f = 8 - 12$ $\gamma = 2,5 - 3,0$	0,15-0,3 0,3-0,4	1,15-1,3 1,3-1,5
Тяжелые состояние неудовлетворительное [ $K_F > 0,4$ ]	5	6,3	10-15	$f > 6$ ; $\gamma = 2,5-3,2$	Более 0,4	1,2-1,5

В процессе исследований нами было произведено хронометражные работы по определению производительности одноковшовых карьерных экскаваторов циклического действия на сложно-структурных глубоких карьерах. При валовой выемки на вскрышных уступах при различных условиях работы и расчётами определены их фактические значения производительности экскаваторов во времени, которое приведено на рис.2.



Рис. 2. Изменение производительности во времени

Из графика видно фактическая месячная производительность экскаватора ЭКГ-20К находится в пределах 350-450 тыс.м3 в год (год ввода в эксплуатацию 2014 г.); экскаватора ЭКГ-15 находится в пределах 280-400 тыс.м3 в год (год ввода в эксплуатацию 2013 г.); экскаватора EX-3600 находится в пределах 230-350 тыс.м3 в год (год ввода в эксплуатацию 2017 г.);

Из вышеприведенных результатов исследований установлено:

- рекомендуемая вместимость ковшей экскаваторов для различных условий работы: от коэффициента крепости породы, от кусковатости разрыхленных взрывом скальных горных пород и от коэффициента разрыхления породы при различной высоте уступа;
- изменение фактической месячной производительности экскаватора по месяцам в течение года и при этом снижение их в мае - июне, а также с ноября по январь;

В сложных условиях разработки для каждого технологического состояния рабочей площадки (забоя) экспериментально определено время производительной работы экскаватора равное, при оценке «хорошее» - «более 5 тыс. машино-часов в год», при оценке «удовлетворительное» - «2,5-3,5 тыс. машино-часов в год» и при оценки «неудовлетворительное» - «менее 2,5 тыс. машино-часов в год» работы экскаватора.

Таким образом, установлено, что природные условия и технологическое состояние забоя, в котором эксплуатируется машина, предопределяет интенсивность выработки ресурса карьерным экскаватором и, соответственно, величину его наработки, выраженной в виде коэффициента, определяемого как отношение приведенных показателей работоспособности. При этом за нормальные условия следует принимать хорошее качество подготовки забоя и горной массы по месяцам года.

#### Библиографический список

1. Анистратов Ю.И. Справочник по открытым горным работам / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов, М.И. Щадов – М.: НТЦ «Горное дело», 2010. – 700 с.
2. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения. – М.: Изд-во АН СССР, Беляков Ю.И. Проектирование экскаваторных работ. — М.: Недра, 1983. — 349 с.
3. Домбровский Н.Г. Экскаваторы. М., «Машиновосторение», 1969. – 318 с.
4. Касьянов П.А. Исследование влияния кусковатости взорванной горной массы на режимы нагружения подъемных механизмов карьерных экскаваторов: дис. канд. тех. наук: 05.05.06 / П.А. Касьянов; – Свердловск, 1970.
5. Махно Д.Е. Эксплуатация и ремонт механических лопат в условиях Севера: Справочное пособие. / Д.Е. Махно, А.И. Шадрин. – М.: Недра, 1992. – 127 с.
6. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров / Р.Ю. Подэрни. – М.: МГГУ, 2007. – 680 с.
7. Репин Н.Я., Репин Л.Н. Выемочно-погрузочные работы. М.: Горная книга, 2012. – 272 с.
8. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. I. Производственные процессы. — М.: Недра, 1985. — 507 с.
9. Шибанов Д.А. Влияние факторов эксплуатации карьерных экскаваторов на их техническое состояние / Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, И.Е. Звонарев// Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов 9-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т. 1 / под общ. ред. А.Б. Копылов, И.А. Басалай. – Минск: БНТУ, 2013. - С. 430-433.
10. Peak performance excavator selection. Practices. Harnischfeger Corporation, 2003. – 76 pp.

*Bibliographic list*

1. Anistratov Yu.I. *Open Mining Handbook /Yu.I.Anistratov, K.Yu.Anistratov, M.I.Shadov – M.: NTS "Mining Engineering", 2010. – 700p.*
2. Baron L.I. *Lumpiness and its measurements., Belyakov Yu.I. Excavation design. – M.: Nedra, 1983. – 349p.*
3. Dombrovskiy N.G. *Excavators. M.: Machine Engineering. 1969. – 318p.*
4. Kasyanov P.A. *Study of the effect of lumpiness of blasted rock mass on loading modes of hoisting mechanisms of excavators. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Sverdlovsk, 1970.*
5. Maxno D.E. *Operation and repair of mechanical shovels in the North: Reference manual/ D.E.Maxno, A.I.Shadrin. – M.: Nedra, 1992. – 127p.*
6. Poderni R.Yu. *Mechanical quarry equipment. – M.: MSMU, 2007. – 680p.*
7. Repin N. Ya., Repin L.N. *Excavation. – M.: Mining Book, 2012. – 272p.*
8. Rjevskiy V.V. *Open cast mining. Part 1. Production process. – M.: Nedra, 1985. – 507p.*
9. Shibanov D.A. *The influence of mining excavators operation factors on their technical condition./ D.A.Shibanov, S.L.Ivanov, I.E.Zvonorev// Socio-economic and environmental problems of mining, construction and energy: collection of scientific papers of the 9th International Conference on Mining, Construction and Energy. – Basalay, Minsk, 2013. – p. 430-433.*
10. *Peak performance excavator selection. Practices. Harnischfeger Corporation, 2003. – 76 pp.*