Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
имени А. А. Скочинского

Р. М. ШТЕЙНЦАЙГ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

gost.e-ecolog.ru

МОСКВА
1980

Министерство угольной промышленности СССР
Академия наук СССР
Ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
Институт горного дела им. А. А. Скочинского

Лаборатория
комплексной механизации
разработки месторождений
открытым способом

УТВЕРЖДЕНА
заместителем директора
института
проф., докт. техн. наук
А. С. КУЗЬМИЧОМ
11 марта 1980 г.

Инж. Р. М. ШТЕЙНЦАЙГ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ



Москва
1980

УДК 622.271.4

Рассматриваются вопросы, связанные с обоснованием энерговесовых и линейных параметров карьерных гидравлических экскаваторов с оборудованием прямой и обратной лопаты. Приводятся сведения об эксплуатационных показателях экскаваторов. Предлагаются технологические схемы работы моделей типа ЭГ и ЭГО.

Излагаются методические основы оценки эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов при осуществлении селективной выемки маломощных и крутых пластов в конкретных горно-технических условиях.

Методика предназначена для научных исследований в области создания и эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов.

© Институт горного дела им. А. А. Скочинского
(ИГД им. А. А. Скочинского), 19

В В Е Д Е Н И Е

Рассматривая перспективы открытых горных разработок, акад. Н.В.Мельников указывал [I], что в будущем годовая добыча угля в стране может составить I,5-I,7 млрд.т, в том числе 70% - открытым способом.

Строительство крупных разрезов приведет к увеличению объемов горнокапитальных работ с применением экскаваторно-автомобильной структуры и циклично-поточной технологии. Основу этих технологических структур составляет экскавационная техника цикличного действия, причем уже в ближайшее десятилетие потребуется создание экскаваторов с ковшами вместимостью 40-50 $м^3$. При такой вместимости ковша и усилиях до 400-450 тс [2] экскаваторы, предназначенные для ведения горных работ в скальных забоях, предварительно подготовленных взрывом, должны обладать относительно небольшой рабочей массой и достаточно высокой степенью мобильности.

Решение проблемы создания экскаваторов такого класса на основе известной канатной конструкции типа ЭКГ вызовет значительные трудности, так как при вместимости ковша до 50 $м^3$ рабочая масса экскаватора достигнет 2000-2500 т. Стоимость таких экскаваторов и уровень капитальных затрат сильно возрастут, а достижение их мобильности - проблематично. В этих условиях становится очевидной необходимость изыскания принципиально новых конструктивных решений, одним из которых является создание карьерных экскаваторов типа ЭГ большой единичной мощности с гидроприводом рабочего обо-

рудования [2]. Экскаваторы этого типа перспективны и при вместимости ковша, значительно меньшей, чем прогнозируемая на отдаленную перспективу. Так, в ближайшие годы устаревшие маломощные модели экскаваторов типа ЭКГ должны быть заменены новыми с ковшами вместимостью 12 и 20 м^3.

В настоящее время накоплен большой опыт создания строительных полноповоротных гидравлических экскаваторов. В 1978 г. на Уралмашзаводе им.С.Орджоникидзе изготовлен первый опытно-промышленный образец карьерного гидравлического экскаватора ЭГ-12 с ковшом вместимостью 12 м^3.

АНАЛИЗ ОПЫТА СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

В мировой практике экскаваторостроения прослеживается тенденция к созданию мощных карьерных выемочно-погрузочных машин с ковшами вместимостью до 20 м^3 [2, 3]. При этом отдается предпочтение гидрофицированным и полностью гидравлическим экскаваторам [4, 5] как наиболее перспективным по конструкции и открывающим новые технологические возможности в силу своих кинематических особенностей. Так, например, в ФРГ более 70% создаваемых моделей карьерных экскаваторов оснащаются гидрофицированными системами привода и их количество неуклонно возрастает [6]. В целом в мировой практике экскаваторостроения выпуск машин типа ЭГ с 1968 г. возрос более чем на 62% [7]. Ведущими зарубежными фирмами-изготовителями карьерных гидравлических экскаваторов типа прямой лопаты являются: "Поклэйн" (Франция), "Демаг", "Орienштейн Кошель", "Либхерр" (ФРГ), "Хитачи" (Япония). Показательным является то, что фирмой "Харнишфегер" (США), многие годы специализирующейся на выпуске традиционных механических лопат, заявлено о создании мощной модели гидравлического экскаватора РН-1200 с ковшом вместимостью до 15 м^3 [4].

Широкое производство и использование экскаваторов с гидроприводом на открытых горных работах обусловлено рядом их конструктивных и технологических преимуществ перед традиционной канатной конструкцией типа ЭКГ. Применение гидравлического привода позволяет [2, 6, 8, 9]:

наиболее простым и эффективным способом осуществлять передачу энергии от источника к исполнительному механизму, значительно упростив при этом кинематику рабочего оборудования, почти пол-

ностью исключив канатные передачи, муфты, элементы фрикционной трансмиссии, подверженные интенсивному износу;

простыми способами преобразовывать вращательное движение в поступательное и наоборот; реализовать реверсирование движений механизмов;

при помощи гибких элементов соединять системы гидропривода, находящиеся на взаимно перемещающихся частях конструкции машины;

посредством несложных устройств выполнять бесступенчатое регулирование скорости рабочих движений в достаточно широком диапазоне;

обеспечивать демпфирование возникающих в рабочем процессе пиковых нагрузок путем установки предохранительных клапанов;

располагать рабочие механизмы независимо от силовой установки, что позволяет обеспечивать их наилучшую компоновку, повышая тем самым устойчивость экскаватора;

унифицировать конструкцию узлов системы гидропривода и при условии ограничения их номенклатуры обеспечивать возможность централизованного специализированного производства.

В табл. I представлены параметры отечественных моделей машин: Э0-6I22, выпускаемой Воронежским экскаваторостроительным заводом им. Коминтерна, и ЭГ-I2 производства Уралмашзавода им. С. Орджоникидзе, а также технические характеристики серийно выпускаемых за рубежом выемочно-погрузочных машин типа ЭГ. Экскаватор Э0-6I22 относится к классу строительных машин [8], однако существует определенный опыт его эксплуатации при погрузке взорванных скальных пород [I0]. По своим энерговесовым показателям эта машина близка к карьерным гидравлическим экскаваторам и может быть использована при прогнозировании параметров перспективных моделей типа ЭГ.

Анализ параметров карьерных гидравлических экскаваторов позволяет выявить основные направления, наметившиеся при создании машин типа ЭГ:

увеличение вместимости ковша, развиваемых усилий и рабочей массы машины при частичном снижении линейных параметров (например, модели *RH*-300; I000CK; *R*-99I);

повышение вместимости ковша и линейных параметров за счет снижения развиваемых усилий копания (например, модели *H*-24I; *RH*-75; Э0-6I22).

Таблица I

Технические характеристики мощных карьерных гидравлических экскаваторов

Параметры	Модели экскаваторов														
	ЭО-6I2I; ЭГ-I2 СССР		ЭН-30; ЭН-80[x] Япония		600СК; I000СК; 3000СК[x] Франция			H-I0I; H-III; H-24I; RH-60; RH-75, RH-300; R-99I ФРГ							РН-I200 США
Вместимость ковша при разработке пород, м³:															
I-II категории	-	I5,0	-	-	-	-	-	6,5	I0,5	20,8	-	I0,0	30,0	7,6	**I3,8**
III-IУ категории	3,6	I2,0	4,0	9,0	5,0	8,3	20,0	5,2	7,5	I3,8	6,5	7,2	2I,8	6,0	**II,2**
свыше IУ категории (крепость по ЕНВ)	-	-	-	-	-	6,8	-	4,0	4,5	I0,0	-	4,5	I7,5	-	**8,3**
Рабочая масса, т	56,3	260,0	73,0	I55,0	98,7	I67,0	467,0	98,0	I09,0	238,0	95,0	I32,0	420,0	I35,0	**I60,0**
Усилие копания наибольшее, тс	25,0	II0,0	43,8	8,0	55,0	92,0	I80,0	46,0	49,0	90,0	50,0	50,0	200,0	59,0	**85,0**
Высота копания эффективная, м	I0,6	I2,5	II,3	I0,5	II,8	I0,8	I4,6	I3,0	I2,8	I3,I	I2,0	I0,0	I3,5	9,6	**II,0**
Радиус копания на горизонте установки экскаватора наибольший, м	I0,2	I5,4	I0,7	I2,4	II,9	I2,2	I5,8	II,8	I2,0	I4,5	8,5	II,5	I6,2	I2,8	**I2,0**
Среднее удельное давление на грунт, кгс/см²	I,03	I,7	I,05	I,63	I,56	I,75	2,2	I,42	2,I	2,4	I,07	I,I3	I,72	I,7	**2,0**
Скорость передвижения на горизонтальном участке, км/ч	4,3	I,0	2,0	-	2,8	I,4	-	2,4	2,2	I,95	2,2	2,0	2,75	2,3	**I,85**
Удельная металлоемкость, т/м³	I8,0	2I,7	I8,3	I7,3	2I,0	20,6	20,4	I8,0	I6,7	I6,4	I6,9	I7,0	20,6	2I,5	**I9,2**
Удельная энерговооруженность, кВт/м³	92,5	73,0	73,5	63,8	9I,I	83,I	79,8	80,0	82,I	86,5	74,0	77,0	75,5	85,0	**8I,9**

x) Параметры ориентировочные.

Выбор того или иного генерального направления при создании нового образца гидравлического экскаватора обосновывается с точки зрения наиболее эффективного сочетания его технологических параметров с горнотехническими и геологическими условиями месторождений. Расширение возможной области применения создаваемых в зарубежной практике гидравлических экскаваторов достигается путем оснащения базовой модели комплектом сменных ковшей, а зачастую и рабочего оборудования (стрела, рукоять) [II]. Так, например, модели *RH*-75; *RH* -300 и некоторые другие имеют по три модификации базового образца, что позволяет увеличить эффективность их эксплуатации в широком диапазоне физико-механических свойств экскавируемых пород и горнотехнических условий разработки.

В практике зарубежного машиностроения для гидравлических экскаваторов, кроме погрузчика, стандартным является оборудование обратной лопаты и грейфера [II]. При этом на стадии проектирования широко применяется метод агрегатирования из унифицированных узлов. Отдельные элементы конструкции могут применяться в зависимости от обстоятельств и производственной необходимости для различных видов рабочего оборудования. Благодаря этому ограничиваются расходы на переоборудование экскаватора и создаются благоприятные условия для обеспечения эксплуатируемых образцов унифицированными элементами в числе запасных частей.

Решающее преимущество гидравлического экскаватора – поворотность ковша относительно рукояти, – объясняемое кинематическими особенностями гидрофицированного рабочего оборудования, значительно расширяет технологические возможности машин типа ЭГ. Здесь одинаково эффективно могут быть осуществлены как совмещенное копание, так и послойная выемка в зависимости от физико-механических свойств разрабатываемых пород. Возможность выполнения таких вспомогательных операций, как зачистка подошвы, разборка забоя и уборка негабаритных фракций, иллюстрируется на рис. I. Таким образом, технологическая гибкость рабочего оборудования экскаваторов типа ЭГ значительно выше, чем механической лопаты, что позволяет существенно интенсифицировать процесс копания горной массы, повышая тем самым производительность гидравлического экскаватора.

В мировой практике ведения открытых горных работ накоплен значительный опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов в качестве выемочно-погрузочного оборудования. В период

1975-1978 гг. за рубежом введено в эксплуатацию более 150 машин типа ЭГ с ковшами вместимостью от 5,0 до 15,5 м^3 [4], которые в самых разнообразных горнотехнических и климатических условиях показывают высокие эксплуатационные качества, подтверждающие прогрессивность конструкции и их значительные технологические преимущества по сравнению с карьерными механическими лопатами [6].

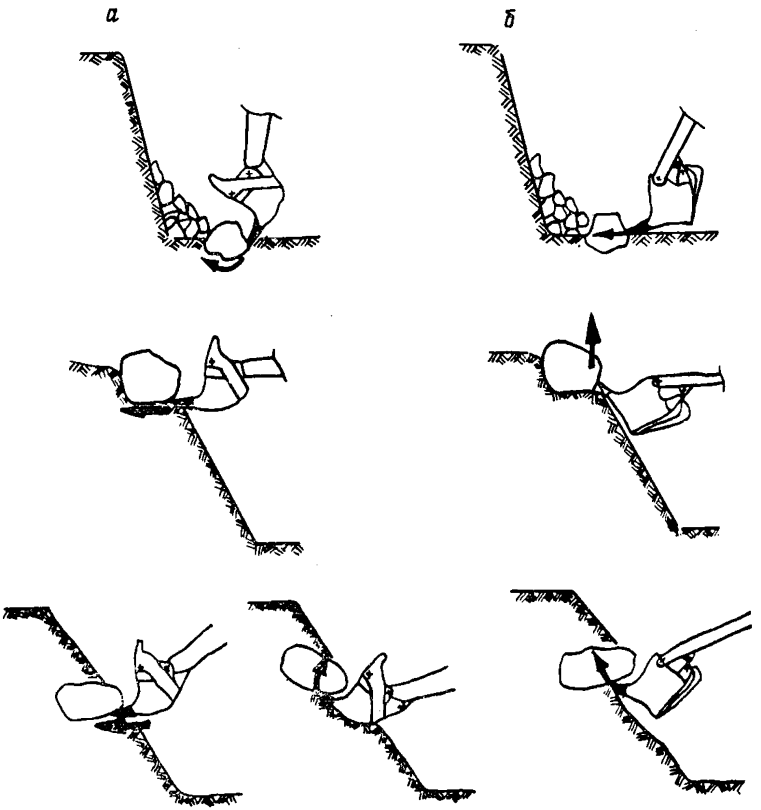


Рис. I. Сопоставление технологических возможностей гидравлического экскаватора (а) и механической лопаты (б)

Ведущими машиностроительными фирмами, на долю которых приходится до 40% выпускаемых в мире экскаваторов [7], являются "Оренштейн Коппель" и "Поклэйн". Создаваемые ими экскаваторы мар-

Таблица 2

Эксплуатационные показатели экскаватора RH-75

Вместимость ковша, $м^3$	Породы	Объемный вес пород, $т/м^3$	Грузоподъемность транспортного средства, т	Угол поворота экскаватора на разгрузку, град	Продолжительность единичного цикла экскавации, с	Коэффициент наполнения ковша $K_н$	Время обмена автосамосвалов под погрузкой, с	Достигнутая часовая производительность, $м^3/ч$
I0,0	Бокситы	I,26	45	90	27,0	I,0	38,0	I340
7,6	Песчаник	I,8	45	90	26,0	I,02	55,0	640
7,6	Известняк	I,6	40	90	22,0	0,83	45,0	700
7,6	Песчаник	I,7	50	60-90	27,5	0,94	94,8	545
6,0	Сланец	I,6	55	60-90	30,5	I,2	60,0	595
6,0	Гранодиорит	I,8	55	45	27,6	I,0	52,2	665
6,0	Аргиллит	2,0	55	30-60	29,5	I,I2	55,5	675

Таблица 3

Эксплуатационные показатели экскаватора 1000СК

Горнодобывающее предприятие	Породы	Рабочее оборудование	Вместимость ковша, м³	Производительность		Время наработки экспериментального периода, ч
				техническая, м³/ч	эксплуатационная, м³/ч	
La Noubleau (Франция)	Гранодиорит	Прямая лопата	6,7 7,1 8,7	– 750 910	400 565 670	7800
„Razel" (Франция)	Известняки	То же	7,0	600	475	2500
Угольные разрезы компании "Миллер" (Англия)	Сланец Угольные сланцы	" "	7,0 8,7	710 820	500 610	5500 7200
Ex. Muller (Франция)	Аргиллит	"	7,0	–	330	1800
Угольные разрезы NSM (Англия)	Аргиллит, алевролит	"	8,7	760	610	2300
CM Paliel (Франция)	Известняк	"	8,3	740	560	1900
PSM SHARD (Англия)	Сланец	"	8,3	770	595	2500
„Rozel" (Франция)	Известняк	Обратная лопата	5,0	660	500	2500
CM Paliel (Франция)	Аргиллит	То же	7,6	430	340	2100
Угольные разрезы компании "Миллер" (Англия)	Сланец	"	5,0	580	400	2000
PSM SHARD (Англия)	Сланец		7,6	790	545	1450

ки RH и СК наиболее совершенны, поэтому опыт применения именно этих моделей весьма показателен. Данные, полученные в результате более чем пятилетней эксплуатации в самых разнообразных горно-технических условиях серийно выпускаемых моделей RH-75 и 1000СК, приведены в табл. 2 и 3.

В отдельных случаях экскавация горной массы производится без предварительного рыхления взрывом. Данные о подобного рода режиме эксплуатации представлены в табл. 4. Экскавация даже весьма

Таблица 4

Эксплуатационные показатели ведения горных работ
без предварительной подготовки буровзрывными работами

Месторождение	Объемный вес экскавируемых пород, т/м^3	Модель экскаватора	Вместимость ковша, м^3	Средняя производительность погрузочного оборудования, м^3/ч	Коэффициент использования экскаватора	Грузоподъемность автотранспорта, т
NSM Англия	2,2-2,4	RH-60	6,5	255,0	0,82	50
		RH-75	7,6	315,0	0,9	
Разрезы компании "Миллер" (Англия)	2,0-2,2	RH-75	8,1	325,0	0,84	50
"Акрефей" (Сев. Уэльс)	1,8-2,0	RH-60	6,5	360,0	0,94	50
Бокситовые месторождения (Австралия)	1,2-1,4	RH-75	10,0	750,0	0,95	75

крепких пород без предварительной взрывной подготовки становится возможной лишь благодаря высоким энергосиловым показателям экскаваторов типа ЭГ. При этом режиме работы тектоническая структура массива не нарушается, что позволяет увеличивать углы откоса уступа и снижать текущий коэффициент вскрыши. Кроме того, отсутствие взрывных работ при подготовке массива к экскавации позволяет производить горные работы в непосредственной близости от комплекса промышленных сооружений по переработке добываемого

сырья, сокращая технологические расстояния его доставки из забоя и уменьшая площадь земель, отчуждаемых под горнодобычные работы.

Накопленный мировой практикой опыт эксплуатации мощных карьерных экскаваторов традиционной конструкции (типа ЭКГ) и с гидравлическим приводом рабочего оборудования (типа ЭГ) позволяет произвести сравнительный анализ их основных технологических параметров и эксплуатационных показателей. Такого рода попытка предпринята в работе [6], по данным которой составлена табл. 5.

Таблица 5

Сопоставление эксплуатационных показателей гидравлических экскаваторов и механических лопат

Вместимость ковша, м³	Экскаватор типа ЭГ			Экскаватор типа ЭКГ		
	Рабочая масса, т	Продолжительность цикла, с	Техническая производительность, м³/ч	Рабочая масса, т	Продолжительность цикла, с	Техническая производительность, м³/ч
2,5-3,0	50	23	335	75	29	235
3,5-4,0	70	24	430	II0	3I	335
7,5	II0	26,5	735	I90	32,5	600
9,0	I30	27	925	280	33	780
I6,0	I80	27,2	I665	-	-	-

Продолжая сравнительный анализ конструктивных и эксплуатационных особенностей карьерных механических лопат и гидравлических экскаваторов, обратимся к рис. 2, где представлены габаритные размеры двух серийно выпускаемых фирмами "Харнишфегер" и "Ориенштейн Коппель" моделей *PH* 2800 и *RH*-300, оснащенных ковшами соизмеримой вместимости (20 м³). Эффективная высота копания экскаватора *RH*-300 на 23% ниже, а наибольший радиус копания на 36,5% меньше аналогичных параметров модели *PH* 2800. Однако при этом кинематика рабочего оборудования гидравлического экскаватора обеспечивает на уровне стояния горизонтальное перемещение режущей кромки ковша на 32% больше, чем у механической лопаты. Удельная металлоемкость последней в I,9 раза выше, а энерговооруженность на 49,3% ниже, чем у *RH*-300. Продолжительность единичного цикла *PH* 2800 в I,I раза больше, чем *RH*-300 [7], что объясняет разницу в забойной производительности на 9,7%. С учетом разницы в рабочей массе сопоставляемых моделей экскаваторов капитальные затраты и эксплуатационные издержки по содержанию механи-

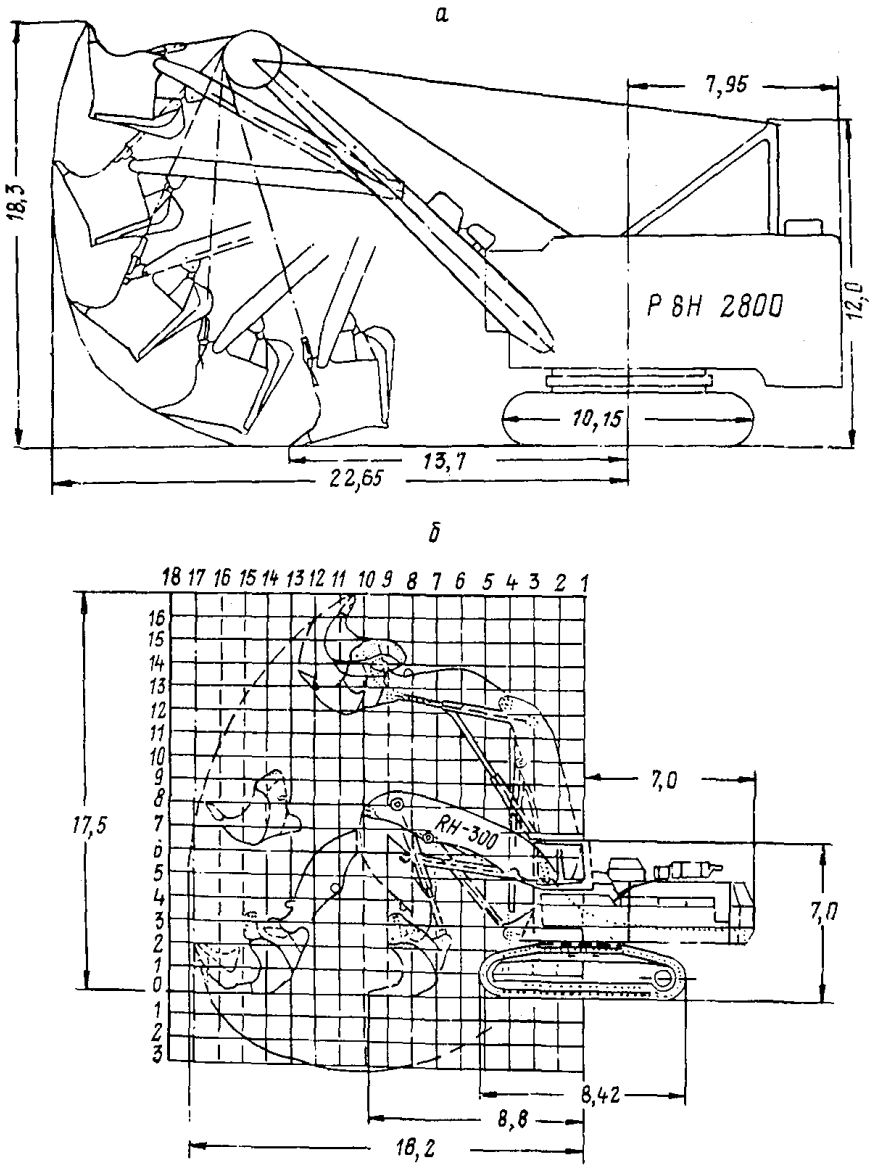


Рис. 2. Сопоставление линейных параметров механической лопаты (*а*) и гидравлического экскаватора (*б*) с соизмеримой вместимостью ковша

ческой лопаты ориентировочно в 2,5 раза выше, чем у гидравлического экскаватора. Следует, кроме того, принять во внимание мобильность выемочно-погрузочного оборудования: скорость передвижения на горизонтальном участке для RH-300 в I,92 раза больше, чем у RH2800.

Анализ параметров механических лопат и гидравлических экскаваторов с соизмеримой вместимостью ковша показывает, что в среднем удельная металлоемкость машин типа ЭКГ в 2,4 раза, а энерговооруженность на 56,7% хуже аналогичных величин экскаваторов типа ЭГ. В то же время развиваемые усилия, приходящиеся на единицу рабочей массы, для гидравлического экскаватора на 86% выше, чем у механической лопаты.

С использованием данных о величине эксплуатационной производительности механических лопат и гидравлических экскаваторов становится возможным сравнение таких параметров, как удельное время цикла, приходящееся на единицу рабочей массы, и удельная производительность, отнесенная к единице емкости ковша $Q_э/q$. При этом устанавливается, что первый показатель на 3I,2% ниже, а второй на I9,4% выше для экскаваторов типа ЭГ по сравнению с ЭКГ. В отдельных случаях эта разница еще более возрастает. Так, по данным фирмы "Ориенштейн Коппель" [II], при отработке угольных месторождений компанией "Миллер" (Великобритания) в идентичных условиях удельная производительность $Q_э/G$, приходящаяся на единицу рабочей массы, для механической лопаты составляет 0,85 м^3/т, а для гидравлического экскаватора 2,5 м^3/т, т.е. в 2,94 раза ниже.

В диапазоне 50-260 т рабочей массы емкость ковша гидравлического экскаватора может быть увеличена в 5,8 раза, в то время как механической лопаты всего в 2,85 раза. При этом увеличение технической производительности гидравлического экскаватора произойдет на 47,5%, а механической лопаты только на 29,5%.

В целом для класса карьерных экскаваторов с ковшом вместимостью ≥ 20 м^3 удельная производительность, приходящаяся на единицу емкости ковша, снижается для механической лопаты на 20%, а для гидравлического экскаватора на I4%. Уменьшение $Q_э/q$, весьма благоприятно сказывающееся на эксплуатационных показателях экскавационной машины, более интенсивно выражено у гидравлических экскаваторов. При увеличении емкости ковша до I2 м^3 $Q_э/q$ для

гидравлических экскаваторов снижается в 4,I раза, а для механической лопаты всего в 3,2 раза. Дальнейшее увеличение единичной мощности экскаваторов типа ЭГ сопровождается еще бо́льшим снижением названного показателя.

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Перспективность конструкции и целесообразность создания мощных карьерных экскаваторов с гидроприводом рабочего оборудования подтверждается анализом накопленного в зарубежной практике опыта их эксплуатации, а также сопоставлением технических параметров и технологических возможностей машин типа ЭГ с механическими лопатами традиционной конструкции.

В выборе тенденции создания модификаций карьерных гидравлических экскаваторов возможны два направления [8]:

оснащение новых образцов ЭГ ковшами той же вместимости, что и у существующих экскаваторов типоразмерного ряда механических лопат;

создание машин типа ЭГ с рабочей массой, близкой к аналогичному параметру ранее созданного образца канатного экскаватора.

В первом случае имеет место существенная экономия металла, однако производительность новых моделей будет соизмерима с производительностью механической лопаты, оснащенной ковшом той же емкости, и снижение стоимости экскаватора будет незначительным, так как элементы и узлы системы гидропривода являются более дорогостоящими.

Во втором случае, очевидно, происходит увеличение единичной мощности, линейных параметров и соответственно возрастает производительность погрузочного оборудования. Последнее, в свою очередь, позволяет сократить затраты труда горнорабочих, уменьшить парк машин, а в конечном итоге – относительный расход металла и себестоимость единицы объема экскавируемого грунта.

Таким образом, представляется целесообразным отказ от формальной экономии металла и создание мощных карьерных гидравлических экскаваторов с увеличенными линейными параметрами и вместимостью ковша.

Далее предлагается методика обоснования рациональных технологических параметров перспективных моделей карьерных гидравлических экскаваторов типа ЭГ.

Вместимость ковша базовых моделей параметрического ряда ЭГ определяется методом предпочтительных чисел [I2]. При этом учитывается как множество горнотехнических и геологических условий ведения открытых разработок, так и тенденция развития смежных с экскавационным типов оборудования: транспортного и бурового. В известной степени при применении метода предпочтительных чисел (выбор знаменателя ряда) используется накопленный мировой практикой опыт экскаваторостроения.

Определенная названным методом вместимость ковша базовых моделей карьерных гидравлических экскаваторов приведена в табл.6.

Таблица 6

Параметрический ряд отечественных карьерных гидравлических экскаваторов

Вместимость ковша, м³		Модель экскаватора	Категория крепости экскавируемых пород по ЕНВ	Объемный вес в целике экскавируемой горной массы, т/м³
базовой модели	модификаций на основе базовой модели			
8,0	-	ЭГ-8	Свыше Ш	Более 2,2
	9,0-I0,0		П-Ш	I,7-2,I
	II,3		I-П	I,2-I,6
I2,5	-	ЭГ-I2	Свыше Ш	Более 2,2
	I4,0-I6,0		П-Ш	I,7-2,I
	I7,8		I-П	I,2-I,6
20,0	-	ЭГ-20	Свыше Ш	Более 2,2
	22,3-25,0		П-Ш	I,7-2,I
	28,0-3I,0		I-П	I,2-I,6
40,0	-	ЭГ-40	Свыше Ш	Более 2,2
	44,0		П-Ш	I,7-2,I
	49,5		I-П	I,2-I,6

Здесь же представлены возможные величины вместимости ковша для модификаций, создаваемых на основе базовой модели. Эти величины назначаются с учетом возможного диапазона изменения физико-механических свойств экскавируемых пород, обобщающим признаком которых является объемный вес. Разновидности пород в табл. 6 записаны согласно категориям крепости по ЕНВ [I3].

Полученные в результате проведенного исследования значения вместимости ковшей базовых моделей полностью корреспондируются с аналогичными данными, определенными независимым методом ранее [2]. Кроме того, правильность выбора исходных величин в примененном методе предпочтительных чисел, а следовательно, и достоверность полученных результатов подтверждаются высокой степенью сходимости их с аналогичными параметрами известных в зарубежной практике карьерных гидравлических экскаваторов (см. табл. I).

Таким образом, в символической форме записи параметрический ряд перспективных отечественных гидравлических экскаваторов может быть представлен как

ЭГ-8; ЭГ-I2; ЭГ-20; ЭГ-40.

После определения вместимости ковша базовой модели типа ЭГ (см. табл. 6) необходимо обосновать рациональные диапазоны изменения его линейных и энерговесовых параметров. К первым относятся: наибольшая эффективная высота копания $H_{коп}$ и наибольший радиус копания на горизонте установки $R_{копу}$, к вторым - рабочая масса G, гидравлическая мощность привода $N_{экс}$ и наибольшее развиваемое усилие $P_{коп}$.

Решение вопросов, связанных с определением названных параметров, может быть достигнуто путем применения целого ряда математических методов прогнозирования, из которых особого внимания заслуживает так называемый экспресс-метод прогнозирования новых образцов техники [I4]. При безусловной простоте и универсальности названный метод позволяет производить качественно-структурную оценку некоторого исследуемого образца и выявлять ресурсы возможного совершенствования машины при наличии необходимой начальной информации. Достоверность получаемых результатов определяется правильностью выбора критериев сравнения [I5]. Обеспечиваемая точность расчетов - не ниже 5-8% и вполне удовлетворительна [I6].

Критериями приемлемости метода являются:

конструктивно-кинематическое подобие исследуемых и существующих моделей экскаваторов;

подобие условий эксплуатации и рабочих процессов;

достаточный, с точки зрения возможности применения методов математической статистики, объем исходной информации, т.е. достаточное количество принятых к исследованию существующих моделей экскаваторов;

использование в качестве упомянутых моделей только лучших образцов мировой практики;

подобие соотношений основных размеров и узлов исследуемых машин.

В соответствии с данными требованиями становится правомерным использование в дальнейших расчетах параметров существующих моделей карьерных гидравлических экскаваторов (см. табл. I), позволяющих установить эмпирическую зависимость вместимости ковша от рабочей массы экскаватора типа ЭГ (рис.3[x]):

$$q = 25{,}2G - 36{,}7 \quad \text{т.} \tag{I}$$

Аналогичным образом устанавливаются зависимости линейных параметров (рис. 4):

$$H_{коп} = 0{,}5I\,G + 8{,}65 \text{ м;} \tag{2}$$

$$R_{копу} = 0{,}58\,G + 7{,}I5 \text{ м.} \tag{3}$$

Однако исчерпывающая качественная оценка прогнозируемой модели экскаватора не может быть дана без учета влияния его параметров на основные технологические процессы открытой разработки месторождения: буровзрывные, транспортные и горнокапитальные работы. В связи с этим критерием оценки параметров прогнозируемого образца экскаватора целесообразно считать минимум удельных приведенных затрат на I м^3 вскрышных работ [I4, I5] (руб):

$$C^{\Sigma}_{пр} \rightarrow min. \tag{4}$$

Выражение (4) для экскаваторо-автомобильной структуры работ во вскрышных породах, требующих подготовки взрывом, в развернутом виде запишется как

$$C^{\Sigma}_{пр} = C^{э}_{пр} + C^{бвр}_{пр} + C^{а/тр}_{пр} + C^{гкр}_{пр}, \tag{5}$$

где $C^{э}_{пр}$; $C^{бвр}_{пр}$; $C^{а/тр}_{пр}$ и $C^{гкр}_{пр}$ – соответственно удельные приведенные затраты на экскавацию, буровзрывные, транспортные и горнокапитальные работы, руб/м^3.

Одним из исходных параметров при определении годовых объемов вскрышных работ является продолжительность единичного рабочего цикла экскаватора $t_ц$, которая, в свою очередь, определяется

---

x) Те же обозначения моделей экскаваторов приняты на рис. 4, 5, 7, 8.

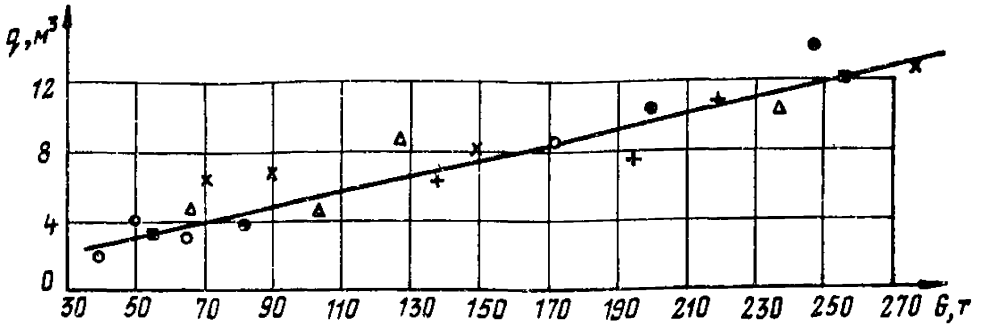


Рис. 3. График взаимосвязи вместимости ковша и рабочей массы карьерных гидравлических экскаваторов:

■ – отечественных; ● – фирмы "Поклэйн" (Франция); ○ – фирмы "Демаг" (ФРГ); × – фирмы "Орienштейн Коппель" (ФРГ); + – фирмы "Либхерр" (ФРГ)

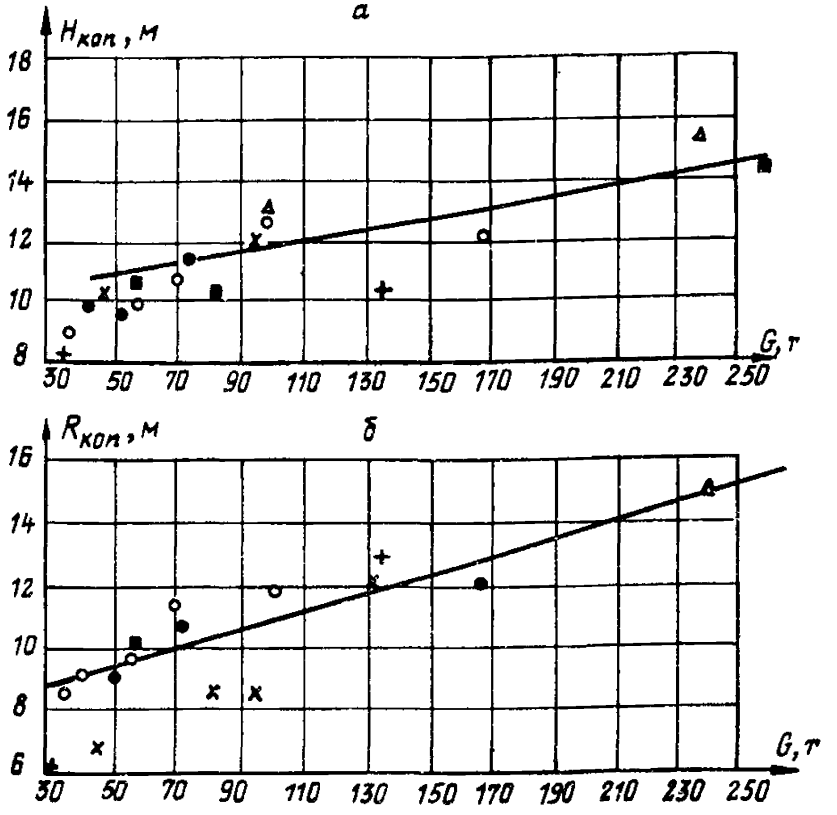


Рис. 4. Графики зависимости линейных параметров от рабочей массы карьерных гидравлических экскаваторов

в функции ряда технических параметров экскаватора, обобщающими для которых могут быть вместимость ковша и наибольшая эффективная высота копания. Зарубежный опыт эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов позволяет установить эмпирическую зависимость между $t_ц$, $H_{коп}$ и q, представленную в виде

$$t_ц = 0{,}18\,H_{коп} + 0{,}72\,q + 20{,}8 \text{ с}. \qquad (6)$$

В соответствии с существующими нормативными документами [13, 17, 18], результатами ранее проведенных исследований [3, 14, 19] и зависимостями (1)-(3) и (6) составляется экономико-математическая модель для определения суммарных удельных приведенных затрат на 1 м^3 вскрышных работ при подготовке к эксплуатации угольного разреза:

$$C^{\Sigma}_{пр} = k_1\left(H_{коп} + k_2\right) + \frac{k_6\left(H_{коп} + k_5\right)}{k_7 + H_{коп}} + k_8 + k_3 H_{коп}\left(H_{коп} - 2{,}36\right) + k_4 \cdot$$

$$\cdot \frac{H_{коп} + k_2}{k_{21}}\left[1 + \frac{k_9}{H_{коп}}\left(H^2_{коп}\,k_{10} + H_{коп}\,k_{11} + k_{12}\right)\right] \times \left[\frac{k_3}{H_{коп}} + k_{19} H_{коп} + \right.$$

$$\left. + \frac{k_{15}\left(H_{коп} + k_7\right)}{k_{16}\left(H_{коп} + k_5\right) + k_{17}} + k_{20}\right] \text{ руб/м}^3; \qquad (7)$$

где $k_1 = \dfrac{q\,Ц_1 + q^{1{,}09}Ц_2 + 0{,}47\left(Ц_1 + Ц_3\right)}{0{,}001\,q\,Ц_4}$; $k_2 = 4q + 115{,}4$;

$k_3 = \dfrac{C_{доп}}{1{,}25\,L_{гр} \cdot m \cdot n}$; $k_4 = \dfrac{\left(1{,}1\,Ц_а + G_а \cdot a'\right)E + C_{тр}}{Ц_5}$; $k_5 = \dfrac{l_п \cos\rho}{n}$;

$k_6 = Ц_6\left[\dfrac{Ц_7\left(K_{бс}\,E + C_{бс}\right)}{Ц_8} + C_ш\right]$; $k_7 = k_5 - \dfrac{20d\cos\rho}{n}$; $k_8 = \dfrac{C_{дш} \cdot n_{дш}}{1000} +$

$+ C_{вв} \cdot q_{вв}$; $k_9 = 0{,}25\,H_{вскр}$; $k_{10} = 1{,}25m + 2n$; $k_{11} = C_1 + C_2 + E_0 + П_1 + Ш_5 - 2{,}95m$;

$k_{12} = \dfrac{H_{вскр}}{n}\left[2\,k_9\left(ctg\,\alpha + ctg\,\beta\right) + \dfrac{Ш_{пв}}{2}\right]$; $k_{13} = \dfrac{(22{,}45q + 10{,}52)\,Ц_1 + Ц_3}{k_{21}}$;

$k_{14} = \dfrac{C_ш \cdot n}{Ц_6 \cdot \cos\rho}$; $k_{15} = Ц_6\,Ц_8\,Э_6$; $k_{16} = Ц_7 \cdot n$; $k_{17} = t_{пер} \cdot v \cdot \cos\rho$;

$$k_{18} = k_c + \frac{C_1}{U_5} \quad k_{19} = k_{13} - k_{14}\ ;\ k_{20} = k_2 \cdot k_{13} + k_7 \cdot k_{14} + k_{18}\ ;$$

$$k_{21} = 160{,}2\, q\, U_4\ ,\ U_1 = 1{,}082\,(0{,}96\,в + c)\,E + a\,[в(1+\rho) + 1{,}05\,a'] + O_{кр}\,O_{тр}\,в +$$

$$+ \gamma_{эн} \times \frac{k_{дв}\ k_{дм}\ k_{ном}\ s\ T_{год}\ \cos\varphi + z}{\cos\varphi \cdot \eta}\ ;\ U_2 = 68{,}2\,E\ ;\ U_3 = З_п + З_{охр}\ ;$$

$$U_4 = k_э \cdot k_з \cdot k_в \cdot k_{упр} \cdot T_{год}\ ;\ U_5 = V_э \cdot \gamma_п \cdot q_a \mu \cdot f\ ;\ U_6 = \frac{q}{\Delta \frac{\pi a^2}{4}}\ ;$$

$$U_7 = 60 + v \cdot t'_в\ ;\quad U_8 = N_{см} \cdot T_{см} \cdot k_н \cdot v\ ;$$

E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений для угольной промышленности;

$T_{год}$ – годовой фонд рабочего времени, ч;

q – вместимость ковша экскаватора, м^3;

m, n – соответственно коэффициенты приведения наибольших радиусов копания на горизонте установки и эффективной высоты копания экскаватора к ширине заходки и высоте уступа; регламентированы правилами техники безопасности при ведении открытых горных работ;

$k_э$ – коэффициент экскавации;

$k_з$ – коэффициент отработки забоя;

$k_в$ – коэффициент, учитывающий совместную работу экскаватора с автомобильным транспортом;

$K_{упр}$ – коэффициент уровня квалификации оператора-машиниста экскаватора;

$\gamma_{эн}$ – удельная энерговооруженность экскаватора, кВт/м^3;

$k_{дв}$ – коэффициент использования привода экскаватора во времени;

$k_{дм}$ – коэффициент использования привода экскаватора по мощности;

$k_{ном}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети и на вспомогательные нужды;

η – коэффициент полезного действия привода экскаватора;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности;

z – плата за установленную мощность, руб/кВт;

s – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб;

$O_{кр}, O_{тр}$ – соответственно отчисления на капитальный ремонт и текущий ремонт и техническое обслуживание экскаватора, руб;

$З_п$ – заработная плата экипажа экскаватора, руб;

$З_{охр}$ – затраты на мероприятия по охране труда обслуживающего экскаватор персонала, руб;

a – норма амортизации;

b – стоимость I т рабочей массы экскаватора, руб;

c – стоимость I т общей массы экскаватора, руб;

p – коэффициент рентабельности для предприятия-изготовителя;

a' – стоимость транспортировки I т конструкций, руб;

$k_{б.с}$ – капитальные затраты на приобретение бурового оборудования, руб;

$C_{б.с}$ – эксплуатационные затраты на содержание бурового оборудования, руб;

$C_{вв}$ – стоимость взрывчатых веществ, руб;

$C_{д.ш}$ – стоимость I м детонирующего шнура, руб;

$C_{ш}$ – стоимость шашки, руб;

$Э_{б}$ – стоимость машино-смены бурового оборудования, руб;

$q_{вв}$ – удельный расход ВВ, кг/м^3;

$n_{дш}$ – расход детонирующего шнура на I000 м^3 взорванной горной массы;

Δ – плотность заряжания, кг/м^3;

d – диаметр скважины, м;

v – скорость бурения горных пород, м/ч;

$N_{см}$ – количество рабочих смен бурового оборудования в году;

$T_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$k_{и}$ – коэффициент использования бурового станка;

ρ – угол наклона скважины к вертикали, град;

$\ell_{п}$ – длина перебура, м;

$t_{пер}$ – время переезда бурового станка к месту бурения последующей скважины, ч;

$t'_{в}$ – время на выполнение вспомогательных операций, приведенное к бурению I м скважины, ч;

$Ц_{а}$ – стоимость одного автосамосвала, руб;

$G_{а}$ – рабочая масса автосамосвала, т;

$q_{а}$ – емкость кузова автосамосвала, м^3;

$C_{тр}$ – эксплуатационные затраты на содержание одного автосамосвала, руб;

$V_{э}$ – среднесуточная эксплуатационная скорость движения автосамосвала, м/ч;

f – коэффициент использования пробега;

μ – коэффициент использования грузоподъемности;

$\gamma_{п}$ – коэффициент использования парка автосамосвалов;

$C_{дор}$ – затраты на строительство и содержание карьерных дорог, руб;

$L_{ф}$ – длина фронта горных работ, м;

$H_{вскр}$ – мощность вскрышных пород, м;

$Ш_{п.в}$ – ширина вскрываемой по углю полосы, м;

α, β – соответственно углы откоса рабочего и нерабочего бортов, град;

$Ш_{б}$ – ширина бермы безопасности, м;

E_{0} – расстояние между автосамосвалами при передвижении, м;

$П_{1}$ – ширина полосы для размещения вспомогательного оборудования, м;

C_{1} – расстояние от кромки уступа до полосы размещения вспомогательного оборудования, м;

C_{2} – безопасное расстояние от нижней бровки уступа до оси автомобильной дороги, м.

Представленная экономико-математическая модель (7) позволяет производить количественную и качественную оценку влияния технологических параметров прогнозируемой модели на технико-экономические показатели комплекса открытых горных работ.

Очевидно, что суммарные приведенные затраты $C^{\Sigma}_{пр}$ будут иметь минимальное значение при некотором значении $H_{коп}$, соответствующем определенным величинам вместимости ковша q и рабочей массы G экскаватора. Это подтверждается исследованием функции $C^{\Sigma}_{пр} = f(H_{коп}, q, G)$ на экстремум. Первая производная $\frac{dC^{\Sigma}_{пр}}{dH_{коп}}$ запишется в виде

$$\frac{dC^{\Sigma}_{пр}}{dH_{коп}} = \frac{H^{5}_{коп} w_1 + H^{4}_{коп} w_2 + H^{3}_{коп} w_3 + H^{2}_{коп} w_4 - H_{коп} w_5 - w_8}{H^{3}_{коп}} +$$

$$+ \frac{H^{3}_{коп} w_7 + H^{2}_{коп} w_8 + H_{коп} w_9 - w_{10}}{H^{2}_{коп}\left[k_{16}(H_{коп}+1) + k_7\right]} + \frac{H_{коп} w_{11} + w_{12}}{(H_{коп}+k_5)\left[k_{16}(H_{коп}+k_5)+2k_{17}\right]+k^{2}_{17}} +$$

$$+ \frac{H^{3}_{коп} w_{13} + H^{2}_{коп} w_{14} + H_{коп} w_{15} + w_{16}}{(H_{коп} + k_7)^2}, \qquad (8)$$

где $w_1 = \frac{2 k_9 \cdot k_{10} \cdot k_{19}}{k_{21}}$; $w_2 = \frac{k_{19}}{k_{21}}\left[3 + k_9 k_{10}\left(\frac{k_{11}}{k_{10}} + \frac{k_{20}}{k_{19}} + k_2 + k_{21}\right)\right]$;

$$w_3 = \frac{1}{k_{21}}\left\{k_2(1+k_{19}) - k_3 + k_9\left[k_{11}(k_{20} + k_{19} k_{21}) + k_{10} k_{21}(k_{20} - k_3)\right\}\right.;$$

$$w_4 = \frac{1}{k_{21}}\left\{k_3\left[k_9 k_{11}\left(1 - k_{21} + \frac{k_2 k_{10}}{k_{11}}\right) + 1 - k_2\right] + k_9 k_{12}(k_{20} - k_2 k_{19})\right\};$$

$$w_5 = \frac{k_9 k_{12}(k_{21}+k_3)}{k_{21}};\quad w_6 = \frac{k_2 k_3 k_9 k_{12}}{k_{21}};\ w_7 = \frac{k_{15}}{k_{21}}\left[1+k_9 k_{10}\left(1+\frac{k_{11}}{k_{10}}+k_{21}\right)\right];$$

$$w_8 = \frac{k_9 k_{15}}{k_{21}}\left\{k_7\left[\frac{1}{k_9}+k_{11}+k_{10}(1+k_{21})\right]+k_{12}\right\};\ w_9 = \frac{k_7 k_9 k_{12} k_{15}}{k_{21}};$$

$$w_{10} = k_9 k_{12} k_{15}(1+k_7);\ w_{11} = k_{15}\left(k_5+\frac{k_{17}}{k_{16}}-k_7\right);\ w_{12} = k_2 w_{11};$$

$$w_{13} = 2k_3;\ w_{14} = k_1 - 2,36\,k_3;\ w_{15} = 2k_7\left[k_3(k_7-0,36k_3)+k_1\right];$$

$$w_{16} = k_{17}^2\left(k_1-2,36k_3\right)+k_5(k_7-k_5).$$

Путем анализа устанавливается, что вторая производная выражения (7) при определенном интервале изменения аргумента $H_{коп}$ - положительное число. Этот интервал назначается, исходя из условий соблюдения правил безопасной эксплуатации внемочно-погрузочного оборудования [20], и для высоты уступа H_y по отношению к наибольшей эффективной высоте копания составляет $H_y \leq 1,5H_{коп}$, т.е. с учетом выражения (2)

$$H_y \leq 0,69\,q_y + 13,17 \text{ м}. \qquad (9)$$

Таким образом, в назначенном диапазоне изменения высоты отрабатываемого уступа (9) для конкретных значений q и G прогнозируемой модели карьерного гидравлического экскаватора $\frac{d^2 C^{\Sigma}_{пр}}{d H^2_{коп}} > 0$; следовательно, функция (7) имеет минимум. Рациональное значение параметра $H_{коп}$ для каждой модели параметрического ряда машин типа ЭГ (см. табл. 6) может быть определено из уравнения (8) при условии

$$\frac{d C^{\Sigma}_{пр}}{d H_{коп}} = 0.$$

Определяемое значение $H_{коп}$ является рациональным, но не оптимальным, как это следует из формального математического толкования операции приравнивания первой производной к нулю. Это объясняется тем, что физико-механические свойства экскавируемых пород имеют, в известной степени, характер случайных величин, учет которых в аналитической форме не представляется возможным.

Имеющийся опыт экскаваторостроения позволяет получить зависимости $P_{коп} = f(q)$ и $P_{коп} = f(G)$, представленные на рис. 5. При

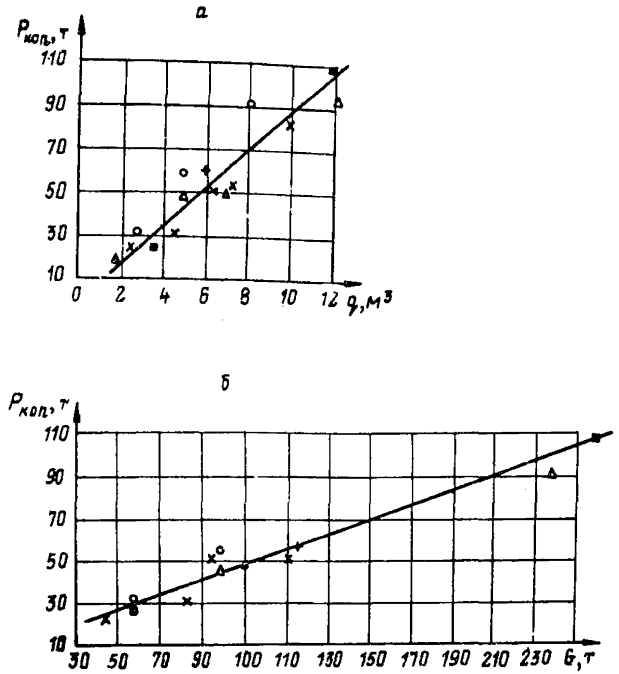


Рис. 5. Графики зависимости наибольших развиваемых усилий копания от вместимости ковша (а) и рабочей массы (б) карьерного гидравлического экскаватора

этом усилие, необходимое для реализации рабочего процесса экскаватора и внедрения ковша в забой на требуемую глубину, определится выражением

$$P_{коп} = 8{,}65q + 9{,}4 \text{ тс}. \qquad (10)$$

Получаемые в выражении (10) значения лимитируются рабочей массой экскаватора типа ЭГ. Для неподвижно стоящей в процессе копания выемочно-погрузочной машины, исходя из условий обеспечения устойчивости к опрокидывающему моменту, наибольшие развиваемые усилия не должны превышать величины

$$P_{коп}^{max} \leq 0{,}36G + 13{,}9 \text{ тс}; \qquad (11)$$

в противном случае, если величина наибольшего развиваемого усилия на режущей кромке ковша, определяемая по формуле (I0), превосходит аналогичный параметр, получаемый по формуле (II), реализация копания горной массы становится невозможной: экскаватор типа ЭГ отталкивается от забоя и скользит по подошве уступа.

Для обеспечения работоспособности машины типа ЭГ в целом и требуемых усилий в частности необходима установленная гидравлическая мощность $N_{экс}$, которая с учетом данных табл. I может быть определена по формуле

$$N_{экс} = \gamma_{эн} \cdot q, \qquad (I2)$$

где $\gamma_{эн}$ – удельная энерговооруженность, отнесенная к единице вместимости ковша, тс.

Необходимая мощность приводного двигателя гидросистемы зависит, с одной стороны, от принципиальной схемы и алгоритма работы последней, с другой – от типа привода. С учетом перегрузочной способности электрического привода, а также опыта экскаваторостроения требуемая мощность приводного дизельного или электрического двигателей составляет соответственно 0,7I $N_{экс}$ и 0,56 $N_{экс}$.

Ранее отмечалось, что создаваемые модели карьерных гидравлических экскаваторов должны обладать определенной мобильностью, обеспечиваемой приводом хода. Требуемую скорость перемещения экскаватора на горизонтальном участке $v_{экс}$ целесообразно принимать такой, как у лучших зарубежных моделей (табл. I), с учетом уравнения

$$v_{экс} = I,28 - 0,45 \cdot I0^{-3} G \text{ км/ч}. \qquad (I3)$$

В табл. 7 представлены определенные в соответствии с изложенной методикой технологические параметры отечественного ряда мощных карьерных экскаваторов типа ЭГ.

Для параметров, перечисленных в табл. 7, пользуясь составленной экономико-математической моделью (7), можно провести анализ относительного снижения суммарных приведенных затрат на I м^3 вскрыши при экскавации горной массы с одинаковыми физико-механическими свойствами в идентичных горнотехнических условиях различными экскаваторами ряда машин типа ЭГ.

Как показано на рис. 6, увеличение вместимости ковша базовой модели экскаватора от 8 до 40 м^3 приводит к снижению суммарных удельных приведенных затрат на 20%. Дальнейшее увеличение вместимости позволяет снизить $C^{\Sigma}_{пр}$ на 0,002% на I м^3 емкости ковша,

Таблица 7

Технологические параметры ряда карьерных гидравлических экскаваторов

Параметры	ЭГ-8	ЭГ-12	ЭГ-20	ЭГ-40
Вместимость ковша базовой модели, $м^3$	8,0	12,5	20,0	40,0
Рабочая масса, т	180	280	460	900
Усилие копания наибольшее, тс	80	110	200	410
Продолжительность рабочего цикла при углах поворота рабочего оборудования на 90^0	30,0	32,0	33,0	35,0
Высота копания эффективная наибольшая, м	12,7	14,5	18,2	25,3
Радиус копания на горизонте установки наибольший, м	13,0	15,5	18,0	31,4
Гидравлическая мощность установленная, кВт	500	750	1250	2500
Скорость перемещения на горизонтальном участке, км/ч	1,2	1,0	1,0	0,9

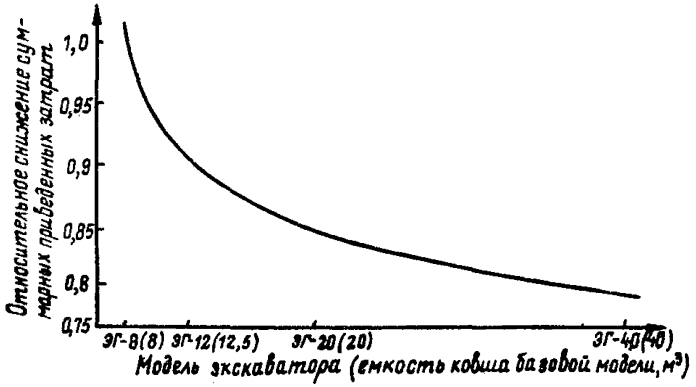


Рис. 6. График зависимости суммарных приведенных затрат от вместимости ковша перспективных моделей карьерных гидравлических экскаваторов

но это нецелесообразно ввиду резкого возрастания начальных капитальных затрат на создание новых моделей экскаваторов.

Следует отметить, что, пользуясь экономико-математической моделью (7) для определения удельных приведенных затрат, связанных с выбором технологических параметров экскавационной техники и элементов систем разработки с применением автомобильного транспорта, можно выявлять закономерности экономического характера, факториальным признаком которых является взаимосвязь с параметрами горного предприятия.

Условия эффективной передачи энергии рабочей жидкости от источника к исполнительному механизму позволяют оснащать экскаваторы типа ЭГ комплектами сменного рабочего оборудования: обратной лопаты, грейфера, крана, бутобоя и т.п. [II]. При этом в мировой практике экскаваторостроения широко используются методы агрегатирования и унификации отдельных узлов. Применительно к рассматриваемому классу мощных карьерных экскаваторов особого внимания заслуживают гидравлические со сменным оборудованием обратной лопаты (ЭГО). Серийный выпуск названных моделей освоен некоторыми зарубежными фирмами: "Хитачи" – *UH*; "Орienштейн Коппель"– *RH*; "Поклэйн"– *CK*; "Либхерр"– *R*; "Кохеринг" Д (США) и др.

В соответствии с приведенными выше основными методическими положениями по обоснованию технологических параметров перспективных моделей выемочно-погрузочного оборудования для экскаваторов, технические характеристики которых представлены в табл. 8, устанавливаются зависимости между вместимостью ковша, линейными параметрами и развиваемыми усилиями копания обратных лопат, а также параметрами базовых моделей экскаваторов.

Вместимость ковша q_o обратной лопаты типа ЭГО с учетом прочностных характеристик несущих металлоконструкций и энерговесовых показателей базовой модели определится по формуле

$$q_o = 12{,}5 \cdot 10^{-3}(G + 24q + 29{,}6)\ м^3, \qquad (14)$$

где G, q – соответственно рабочая масса и вместимость базовой модели типа ЭГ, т и м^3.

При получении зависимости (14) использованы функция $q_o = f(G)$ (рис. 7) и соотношение k_q между вместимостью ковшей обратной лопаты и базовой модели экскаватора. Для принятых к исследованию экскаваторов (см. табл. 8) величина k_q практически неизменна и составляет $k_q = 0{,}6 \pm 8\%$.

Таблица 8

Техническая характеристика карьерных гидравлических экскаваторов со сменным рабочим оборудованием

Модель экскаватора	Технологические параметры							
	Вместимость ковша, м³		Радиус копания на горизонте установки наибольший, м	Глубина копания наибольшая, м	Усилие копания наибольшее, тс	Рабочая масса, т	Удельные значения	
	прямой лопаты	обратной лопаты					металлоемкости, т/м³	энерговооруженности, кВт/м³
UH-20	2,6-3,8	I,4-2,4	I5,3	I0,I	30,6	5I,0	26,80	II6,I
UH-30	3,7-4,4	2,2-3,0	I6,6	I0,8	43,2	72,0	27,70	II3,I
RH-25	2,2-2,5	0,9-2,2	9,5	6,I	22,0	54,0	33,75	I0I,2
RH-40	3,0-6,2	2,2-3,8	I0,3	8,6	30,0	82,0	30,37	III,7
RH-75	4,5-I0,0	2,2-6,5	I5,I	8,6	50,0	I29,0	29,66	I2I,9
RH 300	I7,5-30,0	I5,0	22,0	I4,0	I00,0	420,0	22,30	II5,4
220 СК	2,0-2,4	I,0-I,5	7,7	6,9	Н.д.	32,0	24,62	I23,2
300 СК	2,5-3,2	I,0-2,5	8,5	8,8	32,0	47,0	26,85	II8,9
I000СК	8,5	3,0-5,0	I2,5	I0,4	68,0	I67,0	38,75	II5,7
R-96I	I,5-2,2	0,8-I,2	8,I	6,I	I8,0	33,I	30,I0	II3,4
I066-Д	-	2,3-7,0	Н.д.	II,0	33,0	85,0	32,69	I2I,5
I266-Д	-	3,6-9,7	Н.д.	I2,I	II3,0	I30	32,50	II2,3

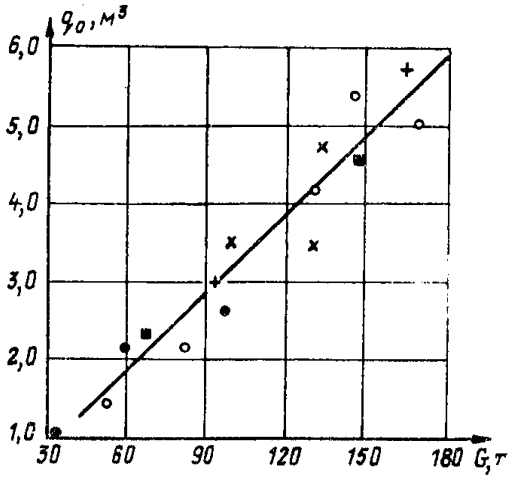


Рис. 7. График зависимости вместимости ковша обратной гидравлической лопаты от рабочей массы базовой модели типа ЭГ

Линейные параметры – наибольшие глубина копания $H_{0\,коп}$ и радиус копания на горизонте установки $R_{0\,копу}$ – определяются по формулам, базирующимся на законах подобия [I4]:

$$H_{0\,коп} = \frac{G - 20{,}8}{2{,}52\, q_0} \quad м; \tag{I5}$$

$$R_{0\,копу} = \frac{G - 2I{,}6}{I{,}6\, q_0} \quad м. \tag{I6}$$

Путем анализа параметров, приведенных в табл. 8, устанавливается также конструктивный коэффициент $\lambda = 0{,}68 \div 0{,}72$, характеризующий соотношение минимально возможного радиуса копания, при котором обеспечивается наибольшая глубина копания, и наибольшего кинематически возможного радиуса копания на горизонте установки, т.е.

$$\lambda = \frac{R^{max}_{0\,коп}}{R_{0\,копу}}. \tag{I7}$$

Для удлиненного рабочего оборудования величина λ составляет 0,79–0,85. В обоих случаях большие значения конструктивного коэффициента соответствуют моделям типа ЭГО меньшей единичной мощности.

Усилие копания $P_{0\,коп}$ лимитируется рабочей массой экскаватора, что объясняется необходимостью обеспечения заданного коэффициента трения между траками ходовой части и подошвой уступа, а также условием устойчивости машины к опрокидыванию в процессе экскавации горной массы. Получаемая по данным табл. 8 зависимость (рис. 8), носящая экспоненциальный характер, в диапазоне $G \geqslant$ $\geqslant$ I50 т (класс мощных карьерных экскаваторов) с достаточной степенью точности аппроксимируется прямой с уравнением

$$P_{0\,коп} = 0{,}I5\, G + 32{,}48 \text{ тс}. \tag{I8}$$

Исходя из условия обеспечения требуемого момента устойчивости в наиболее тяжелом технологическом режиме (экскавация горной массы при наибольшей глубине копания), наибольшее развиваемое усилие $P^{max}_{0\,коп}$, определяемое по формуле (I8), не должно превышать значения

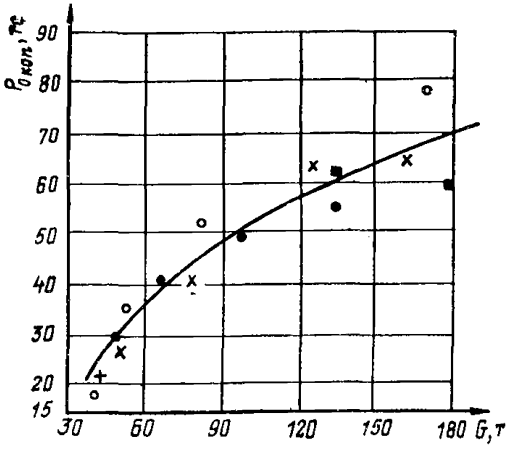


Рис. 8. График зависимости наибольших развиваемых усилий копания от рабочей массы обратной гидравлической лопаты

Таблица 9

Технологические параметры карьерных гидравлических экскаваторов типа ЭГО

Параметры	Модели			
	ЭГО-5 (ЭГ-8)	ЭГО-8 (ЭГ-12)	ЭГО-12 (ЭГ-20)	ЭГО-20 (ЭГ-40)
Вместимость ковша, $м^3$	4,7-5,0	7,5-8,0	12,0-12,5	20,8-22,0
Наибольшая глубина копания, м	8,6	12,3	14,5	16,4
Радиус копания при наибольшей глубине копания, м	11,5	13,5	14,3	14,1
Наибольший радиус копания на горизонте установки, м	17,0	19,6	21,8	22,7
Наибольшее усилие копания, тс	58,0	75,0	110,0	170,0
Удельная металлоемкость, $т/м^3$	36,0	35,2	36,4	39,8

$$P_{окоп}^{max} \leq k_{ус}\frac{G\ell_x}{2H_{окоп}} \text{ тс}, \qquad (19)$$

где $k_{ус} = 1{,}52$ – коэффициент, учитывающий энергетические затраты на перемещение конструктивной массы рабочего оборудования;

ℓ_x – длина ходовой части базовой модели экскаватора, м.

По формулам (14)-(19) можно определить технологические параметры карьерных гидравлических экскаваторов со сменным оборудованием обратной лопаты, представленные в табл. 9. В качестве базовых моделей здесь приняты экскаваторы типа ЭГ с параметрами, определенными ранее (см. табл. 7).

Специальным исследованием [9, 11] установлено влияние формы и ширины режущей кромки ковша экскаватора типа ЭГО на энергосиловые показатели процесса экскавации. Рациональной является форма ковша с небольшой глубиной, значительной шириной и с V – образной режущей кромкой. В результате анализа определен удельный коэффициент пропорциональности $k_{ков} = 0{,}23 \div 0{,}28$ м/м^3, с учетом которого ширину ковша экскаватора типа ЭГО (м) можно определить как

$$B_0 = k_{ков} \cdot q . \qquad (20)$$

В выражении (20) меньшим значениям емкости ковша соответствуют большие величины удельного коэффициента пропорциональности. Получаемая по этой формуле ширина ковша перспективной модели экскаватора типа ЭГО оценивается с точки зрения условий разгрузки горной массы в средства транспорта и должна согласовываться с геометрическими размерами транспортного сосуда.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Показателями, характеризующими рабочий процесс копания и погрузки горной массы в средства транспорта, являются продолжительность единичного цикла $t_ц$ и коэффициенты наполнения ковша $k_н$, отработки забоя $k_з$, уровня квалификации оператора-машиниста экскаватора $k_{упр}$ и $k_в$, учитывающий влияние транспорта на работу экскаватора. Эти показатели для различных технологических режимов определены на основе результатов экспериментальных исследований рабочего процесса экскаватора ЭГ-12 в условиях разреза "Кедровский" производственного объединения "Кемеровоуголь", про-

веденных в 1978–1979 гг., и с учетом опыта эксплуатации машин типа ЭГ за рубежом при разработке пород с различными физико-механическими свойствами.

Экскавация скальных пород крепостью свыше II категории по ЕНВ

Забой экскаватора типа ЭГ формируется в результате проведения буровзрывных работ, имеет высоту H_y, угол откоса α_y и отрабатывается по ширине заходки А. Экскавируемая горная масса характеризуется коэффициентом разрыхления k_p и диаметром среднего условного куска $d_{ср}$.

Высота отрабатываемого забоя принимается в соответствии с правилами технической эксплуатации [20] и определяется по формуле (9). Ширина экскаваторной заходки выбирается исходя из условий максимального выхода горной массы с 1 м фронта работ, обеспечения минимальных углов поворота рабочего оборудования экскаватора на разгрузку, уменьшения числа передвижек экскаватора:

$$A \leq R_{кон_y} \left(1 + \frac{R^{max}_{кон} - S}{R_{кон_y}}\right) - \frac{H_y}{2} tg\alpha_y \quad м, \qquad (21)$$

где S – глубина внедрения ковша в забой, обеспечивающая требуемую степень его наполнения, м.

Гранулометрический состав экскавируемой горной массы во многом определяет наполнение ковша и коэффициент разрыхления породы в нем, т.е. от качества проведения предварительной взрывной подготовки породного массива зависит коэффициент экскавации выемочно-погрузочного оборудования. С учетом энергосиловых возможностей экскаваторов типа ЭГ, качественных особенностей реализуемого ими рабочего процесса и конструкции ковша (относительно большая ширина режущей кромки и незначительная глубина ковша) экспериментально установлена зависимость (22), по которой можно определить рациональные значения диаметра среднего условного куска горной массы для конкретной модели гидравлического экскаватора:

$$d_{ср} = (0{,}171 \div 0{,}183) \sqrt[3]{q} \quad м. \qquad (22)$$

При этом коэффициент разрыхления породы k_p составляет 1,4–1,45; в выражении (22) меньшие значения коэффициента пропорциональности соответствует большей величине k_p.

Требуемая глубина внедрения ковша в забой при совмещенном копании скальных пород определяется в соответствии с методикой [21] или по данным экспериментальных исследований:

$$S = \frac{5,98}{1 + 8,76\, e^{-0,15 H_y}} \quad \text{м.} \qquad (23)$$

Показатели рабочего процесса экскаватора типа ЭГ при разработке качественно подготовленных буровзрывными работами скальных пород представлены в табл. 10.

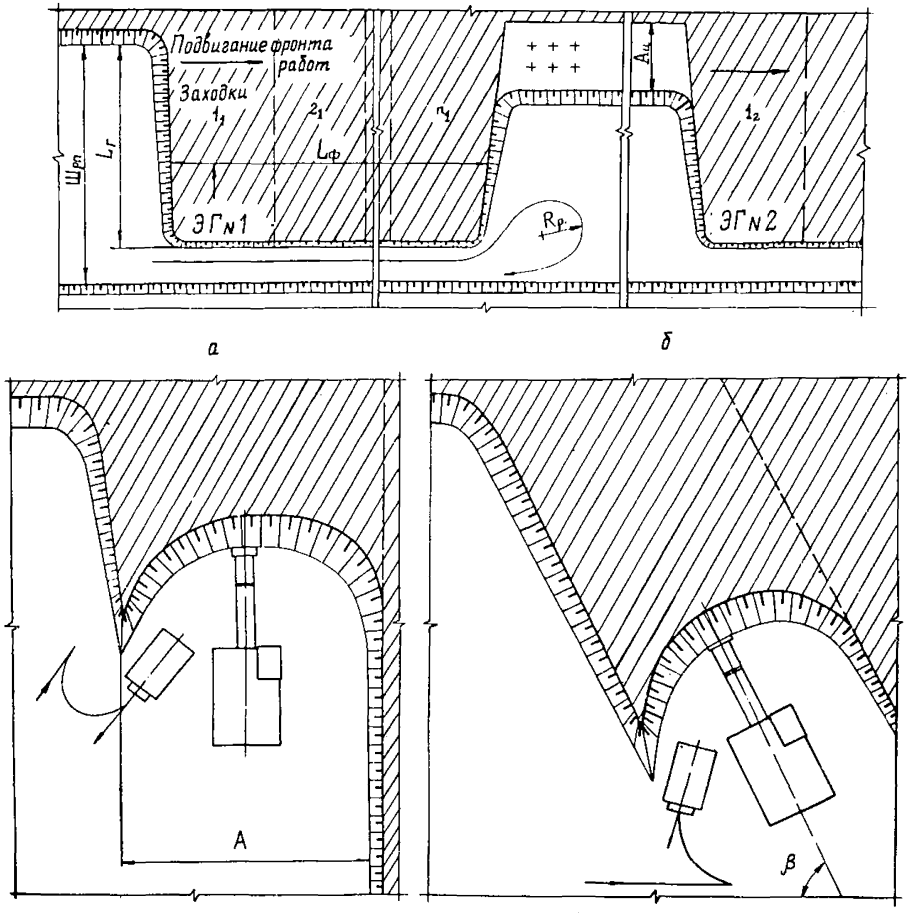
Таблица 10

Эксплуатационные показатели экскаваторов типа ЭГ при разработке скальных пород

Диаметр среднего условного куска $d_{ср}$, м	Продолжительность единичного цикла $t_ц$, с	Коэффициенты			
		наполнения ковша $K_н$	экскавации $K_э$	отработки забоя $K_з$	управления $K_{упр}$
До 0,35	33,0	1,20	0,89	0,91	0,90
0,35–0,45	33,5	1,15	0,86	0,90	0,90
0,45–0,55	34,5	1,00	0,72	0,89	0,88
Более 0,55	36,0	0,98	0,69	0,86	0,86

Характерным для работы карьерного гидравлического экскаватора типа ЭГ является то, что коэффициент разрыхления породы в ковше меньше или равен аналогичному параметру горной массы в забое. Это объясняется качественными особенностями процесса копания экскаватора типа ЭГ по сравнению с традиционными механическими лопатами типа ЭКГ: при преимущественно горизонтальном внедрении ковша гидравлического экскаватора в забой происходит качественная "упаковка" отдельных кусков горной массы и интенсивное уплотнение пород, находящихся в зажатой среде между породным массивом и задней стенкой ковша.

Расширенный диапазон кинематических возможностей экскаваторов типа ЭГ (см. рис. 1) позволяет практически все вспомогательные операции осуществлять непосредственно в основном рабочем цикле экскавации (зачистка подошвы, разборка забоя, уборка негабарита и т.п.). В связи с этим коэффициент отработки забоя значительно выше аналогичного параметра механической лопаты, экс-



$$A \leq R_{копц}\left(1+\frac{R_{коп}^{max}-S}{R_{копц}}\right)-\frac{H_у}{2}\,tg\alpha_у;\quad \beta=arcsin\frac{L_г\,H_у\,A\,t_ц}{3600q\,K_э K_з K_{упр} K_в T_{см}\eta_{см}}$$

Рис. 9. Схемы блочной отработки уступа поперечными ходами (*а*) и диагональными заходками (*б*)

плуатируемой в идентичных горнотехнических условиях. Все это обеспечивает увеличение эксплуатационной производительности карьерных гидравлических машин по сравнению с механическими лопатами на 30-35%.

Эффективная эксплуатация выемочно-погрузочного оборудования типа ЭГ возможна лишь при условии четкой организации подачи под погрузку транспортных средств. При этом вместимость последних должна быть в 4-5 раз больше геометрической емкости ковша экскаватора.

С учетом кинематических особенностей гидрофицированного рабочего оборудования предпочтительной оказывается работа экскаватора по схеме блочной отработки уступа поперечными ходами (рис. 9,*а*), а не традиционными продольными заходками [22]. В этом случае наиболее полно используются технологические возможности экскаваторов типа ЭГ и эффект управляемого обрушения горной массы в забое. Объем горной массы, экскавируемой при одном проходе экскаватора, равен его сменной производительности. Переезд экскаватора на новую заходку осуществляется в технологическую паузу, возникающую при смене обслуживающего персонала транспортных средств. Если схема горных работ и принятая ширина рабочих площадок не позволяют обеспечить требуемый объем горной массы в заходке, применение схемы возможно в ее подварианте - с диагональными заходками (рис. 9,*б*).

Экскавация пород I-II категории крепости по ЕНВ

С точки зрения обеспечения максимальной интенсивности процесса копания и снижения величины удельной энергоемкости, наиболее предпочтительным является режим послойной выемки мягких пород. При этом предполагается проведение предварительного рыхления горной массы взрывом на встряхивание. В отдельных случаях высокие энергосиловые возможности экскаваторов типа ЭГ позволяют производить отработку забоя без предварительной буровзрывной подготовки.

Высота забоя, отрабатываемого в режиме послойной выемки, не должна превосходить максимальной конструктивно возможной эффективной высоты копания экскаватора типа ЭГ (см. табл. 7). Ширина заходки определяется по формуле (21). Отработка забоя осуществляется путем поочередной реализации единичных копаний веером по ширине заходки и сверху вниз по высоте забоя.

Толщина слоя, вынимаемого в единичном копании $h_{сл}$, принимается, исходя из условия обеспечения требуемого наполнения ковша, но не превышает значений, определяемых условиями минимизации удельных сопротивлений копанию [23]. С учетом регламентированной [21] для конкретной разновидности экскавируемых пород глубины внедрения ковша S величина $h_{сл}$ определится следующим образом:

$$\frac{q}{S\, b_k\, k_p} \leqslant h_{сл} \leqslant 0{,}83\, h_к \quad \text{м}, \tag{24}$$

где b_k, h_k – соответственно ширина режущей кромки и высота ковша экскаватора, м.

Следовательно, количество слоев при послойной отработке забоя, сложенного породами I – II категории крепости по ЕНВ, составляет

$$n_{сл} = \frac{H_y}{h_{сл}} \cdot \tag{25}$$

Режим послойной выемки становится возможным лишь благодаря кинематическим особенностям гидрофицированного рабочего оборудования. Реализация названного режима на практике открывает перспективы селективной выемки маломощных крутых пластов угля. При этом отработка пластов мощностью M при углах падения α возможна как со стороны лежачего (ЛБ), так и висячего (ВБ) боков. На рис. 10 представлены расчетные схемы к определению объема добычи угля при селективной отработке забоев. Здесь же условно отмечена рекомендуемая очередность реализации единичных копаний. Таким образом, формулы для определения объемов добычи D и потерь $П$ полезного ископаемого при селективной отработке забоя будут следующими:

$$D_{ЛБ} = H_y A \left[\frac{M}{\sin\alpha} - h_{сл}\left(ctg\,\alpha_y + ctg\,\alpha\right)\right];$$

$$D_{ВБ} = \frac{H_y A}{\sin\alpha}\left[M - \frac{h_{сл}\sin\left(\alpha_y - \alpha\right)}{2\sin\alpha_y}\right]; \tag{26}$$

$$П_{ЛБ} = H_y A\, h_{сл}\left(ctg\,\alpha_y + ctg\,\alpha\right);$$

$$П_{ВБ} = \frac{H_y A\, h_{сл}\sin\left(\alpha_y - \alpha\right)}{2\sin\alpha \cdot \sin\alpha_y}. \tag{27}$$

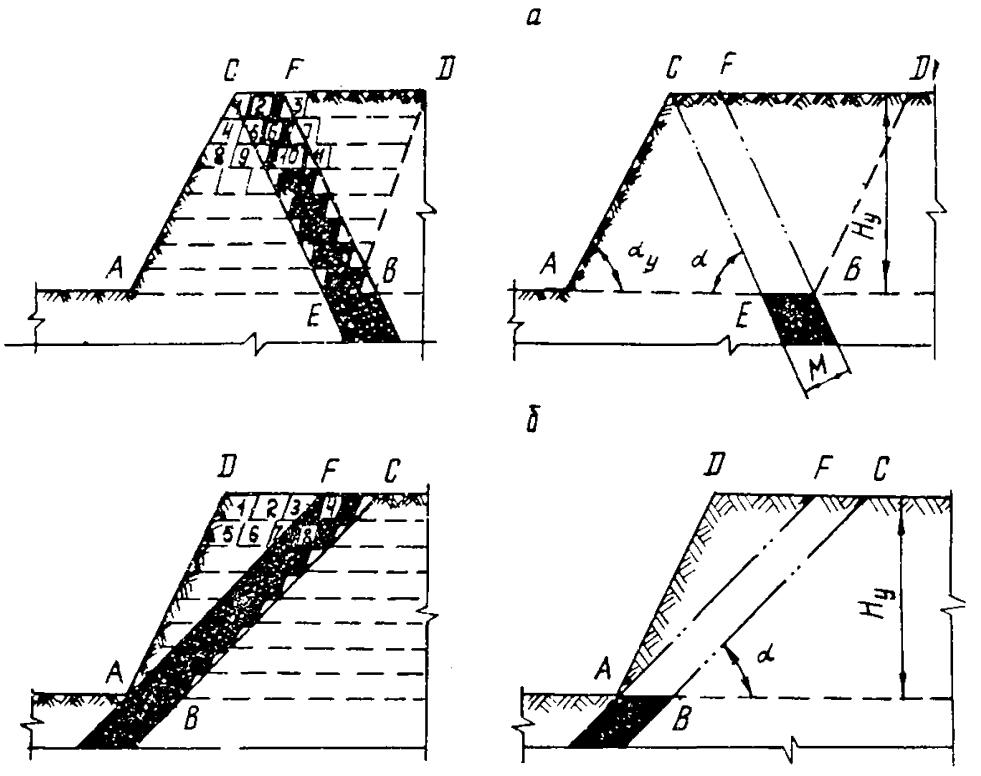


Рис. 10. Схемы проведения селективной выемки маломощных крутых пластов со стороны лежачего (а) и висячего (б) боков

Сопоставление величины потерь при отработке пластов со стороны *ЛБ* и *ВБ* показывает, что в последнем случае $П_{ВБ}$ в m раз меньше:

$$m = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha_y + \sin(\alpha_y + \alpha). \qquad (28)$$

При этом разница в значениях $П_{ЛБ}$ и $П_{ВБ}$ тем больше, чем больше угол падения отрабатываемого пласта.

Параметры, входящие в формулы (26) и (27), являются расчетными. В действительности при селективной выемке маломощных пластов неизбежны потери на породно-угольном контакте, что снижает абсолютные объемы добычи. Поправочные коэффициенты k_{Π} определяются на основании экспериментальных исследований рабочего процесса экскаватора ЭГ-12; для режимов *ЛБ* и *ВБ* они практически одинаковы и составляют 0,94-0,97.

В табл. II приведены эксплуатационные показатели экскаваторов типа ЭГ для режима послойной выемки мягких пород. При этом предполагается, что коэффициент разрыхления породы в забое составляет 1,05. Если значения k_p отличны от принятых при составлении табл. II, величина коэффициента экскавации $k_э$ должна быть соответствующим образом уменьшена с учетом того, что $k_p^к \approx k_p$.

Таблица II

Эксплуатационные показатели экскаваторов типа ЭГ при разработке мягких пород

Режим	Продолжительность единичного цикла $t_ц$, с	Коэффициенты			
		наполнения ковша $K_н$	экскавации $K_э$	отработки забоя $K_з$	управления $K_{упр}$
Послойная выемка (валовая)	31,0	1,0	0,95	0,92	0,85
Селективная отработка (*ЛБ*)	33,0	0,85	0,81	0,92	0,75
То же (*ВБ*)	32,0	0,9	0,86	0,92	0,80

Разница в значениях параметров, приведенных в табл. II, объясняется различной степенью сложности технологических режимов валовой выемки и селективной отработки со стороны *ЛБ* и *ВБ*. По отношению к сплошной выемке мягких пород эксплуатационная производительность при селективной отработке снижается соответственно для *ЛБ* и *ВБ* в среднем в 1,4 и 1,2 раза. В связи с этим разница

во времени, затрачиваемом на отработку забоя в том или ином технологическом режиме, составляет

$$T_{c(лб)} - T_{п} = \frac{H_y A \left[\frac{M}{\sin\alpha} + H_y(ctg\,\alpha_y + ctg\,\alpha)\right]}{3600\,q \cdot k_в \cdot k_з} \times$$

$$\times \left(\frac{t^{c}_{ц(лб)}}{k^{c}_{э(лб)} \cdot k^{c}_{упр(лб)}} - \frac{t^{п}_{ц}}{k^{п}_{э} \cdot k^{п}_{упр}}\right);$$

$$T_{c(вб)} - T_{п} = \frac{H_y A \left[\frac{H_y \sin(\alpha_y - \alpha)}{2 \sin\alpha_y} + M\right]}{3600\,q\,k_в\,k_з \sin\alpha} \times$$

$$\times \left(\frac{t^{c}_{ц(вб)}}{k^{c}_{э(вб)} \cdot k^{c}_{упр(вб)}} - \frac{t^{п}_{ц}}{k^{п}_{э} \cdot k^{п}_{упр}}\right) \quad с. \qquad (29)$$

В выражениях (29) принята следующая индексация: параметры, соответствующие режиму послойной выемки, имеют индекс *П*, а параметрам селективной отработки присвоен индекс *С* и соответствующее обозначение признака ведения горных работ (**ЛБ** или **ВБ**).

Изложенные выше параметры, соответствующие различным режимам экскавации пород с различными физико-механическими свойствами, на стадии проектирования перспективных горнодобывающих предприятий могут быть обобщены на весь параметрический ряд отечественных карьерных гидравлических экскаваторов типа ЭГ с прямой лопатой.

Об эксплуатационных показателях карьерных гидравлических обратных лопат ЭГО можно судить лишь косвенным образом, анализируя зарубежный опыт эксплуатации экскаваторов названного типа (см. табл. 3). Предполагается, что коэффициент наполнения ковша в среднем составляет 0,94-0,96, что подтверждается и отечественным опытом эксплуатации строительных экскаваторов типа ЭГО [8]. При этом продолжительность единичного цикла при углах поворота рабочего оборудования до 90° равна 26-28 с. Этот уровень для различных моделей экскаваторов типа ЭГО практически также не изменяется, так как увеличение вместимости ковша более мощных образцов сопровождается соответствующим повышением энергосиловых

возможностей. Коэффициент разрыхления горной массы в ковше практически равен величине k_p в забое. Коэффициент отработки забоя весьма велик и достигает 0,93–0,95. Коэффициент управления $k_{упр}$, напротив, относительно невелик (0,85) ввиду особенностей рабочего процесса, реализуемого обратной лопатой.

Создание экскаваторов типа ЭГ со сменным рабочим оборудованием обратной лопаты существенно расширит область применения и повысит эффективность использования выемочно-погрузочного оборудования. Применение в практике открытых работ экскаваторов типа ЭГО позволит реализовать перспективные технологические схемы, например совместной работы ЭГ-ЭГО [24], что будет способствовать решению проблемы увеличения высоты отрабатываемого уступа и концентрации оборудования.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Экономический эффект $Э$ от применения в конкретных горнотехнических условиях ведения открытых работ того или иного типа выемочно-погрузочного оборудования определяется в соответствии с требованиями и с учетом рекомендаций методики определения экономической эффективности [17]. При этом учитываются эксплуатационные показатели и уровень капитальных затрат по сопоставляемым конкурирующим моделям экскаваторов, а также возможность получения некоторого косвенного экономического эффекта $Э_{кос}$, сопровождающего ввод в эксплуатацию одного из типов горного оборудования.

Оценка технико-экономической целесообразности замены экскаваторов традиционной конструкции карьерными гидравлическими экскаваторами типа ЭГ производится согласно следующему выражению [17]:

$$Э = Ц^{экг} \cdot \frac{Q_э^{эг}}{Q_э^{экг}} \cdot \frac{P^{экг}+E}{P^{эг}+E} + \left[\frac{\left(Э^{экг} \cdot \frac{Q_э^{эг}}{Q_э^{экг}} - Э^{эг}\right) - E\left(K^{эг} - K^{экг}\frac{Q_э^{эг}}{Q_э^{экг}}\right)}{P^{эг}+E} - Ц^{эг}\right] \cdot A^{эг} \text{ руб}, \quad (30)$$

где $Ц^{экг}$, $Ц^{эг}$ – стоимость сравниваемых моделей экскаваторов, руб;

$\frac{P^{экг}+E}{P^{эг}+E}$ – коэффициент учета изменения срока службы нового экскаватора (ЭГ) по сравнению с базовым (ЭКГ);

P – доля отчислений от балансовой стоимости на реновацию;

$Э^{экг}, Э^{эг}$ – эксплуатационные издержки экскавационного оборудования, руб;

$A^{эг}$ – количество вводимых в эксплуатацию однотипных моделей гидравлических экскаваторов.

Экономический эффект определяется по формуле (30) с учетом эксплуатации экскаватора в течение полного годового фонда рабочего времени $T_{год}$:

$$T_{год} = Ч \cdot n \cdot \eta - k_{л} \quad ч, \qquad (31)$$

где $Ч, n$ – число нормированных для данного района рабочих смен в году и часов в смене, ч;

η – коэффициент использования рабочего времени смены;

$k_{л}$ – простои экскаватора по климатическим условиям, ч.

Простои по климатическим условиям (по данным Центрогипрошахта) для механических лопат составляют 96 ч в год. Очевидно, для экскаваторов типа ЭГ эта величина будет несколько больше, что объясняется наличием систем трансформации рабочей жидкости. Так как перспективные модели карьерных экскаваторов типа ЭГ оснащаются автономными устройствами подогрева гидроаккумуляторов, простои по климатическим условиям $k_{л}$ следует принимать равным 120 ч тогда, когда, по данным метеорологической службы, в районе ведения горных работ отмечается температура окружающего воздуха менее -40°С.

Хотя линейные параметры механических лопат типа ЭКГ несколько превосходят аналогичные параметры карьерных гидравлических экскаваторов, повышенные эксплуатационные показатели и значительно меньшие весовые характеристики последних предопределяют в большинстве случаев предпочтительность применения экскаваторов типа ЭГ. Так, при высококачественной предварительной буровзрывной подготовке значения высоты уступов, отрабатываемых экскаваторами ЭКГ-12,5 и ЭГ-12; ЭКГ-20 и ЭГ-20 практически одинаковы. Это объясняется возможностью проведения управляемого обрушения посредством врезки в средней части забоя, характерной для кинематической схемы экскаваторов типа ЭГ. Рабочая масса сопоставляемых моделей механических лопат соответственно в 2,4 и 1,78 раза выше. Техническая производительность гидравлических экскаваторов типа ЭГ в среднем на 28–30% больше, чем механических лопат с ковшом равной вместимости.

Весьма убедительным является сопоставление моделей гидравлических экскаваторов и механических лопат по такому показателю, как удельная эксплуатационная производительность, приходящаяся на единицу рабочей массы. При правильном выборе схемы размещения в забое экскаватора и транспортных средств, обеспечении качественной подготовки горной массы к экскавации и при условии, что количество и грузоподъемность транспортных сосудов корреспондируются с вместимостью ковша, показатель $Q_э/q$ для экскаваторов ЭГ-12 и ЭГ-20 по сравнению с ЭКГ-12,5 и ЭКГ-20 при отработке скальных пород III-IV категории крепости по ЕНВ соответственно в 4,2 и 3,1 раза выше.

Решающим преимуществом карьерных гидравлических экскаваторов типа ЭГ является возможность реализации селективной отработки маломощных и крутых пластов. При этом некоторое снижение эксплуатационной производительности экскаватора типа ЭГ компенсируется, как правило, стоимостью добываемого полезного ископаемого. Достоинство кинематической возможности осуществления селективной выемки становится очевидным, если принять во внимание, что только в условиях Кузбасса ежегодно недодается 2 млн.т из-за невозможности отработки пластов мощностью менее 2,5-3 м экскаваторами типа ЭКГ [25].

Экономический эффект, получаемый при реализации селективной выемки, может быть определен по формуле

$$Э_c = \left[\left(c_1 - \frac{c_1 Q_э^п}{Q_э^c} \cdot \frac{k_{упр}^п}{k_{упр}^c}\right) - EK_{эг}\left(\frac{1}{T_{год} Q_э^п - T_c(Q_э^п - Q_э^c)} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{1}{T_{год} Q_э^п}\right) + Ц\right] \cdot П \cdot \gamma_{уг} \quad \text{руб}, \qquad (32)$$

где $c_1, Ц$ – соответственно себестоимость и оптовая цена добываемого угля, руб/т;

$K_{эг}$ – суммарные капитальные затраты на приобретение экскаватора типа ЭГ, руб;

$\gamma_{уг}$ – объемный вес добываемого угля, т/м^3.

Величины $Q_э$, $K_{упр}$, T_c оцениваются по данным табл. II и в соответствии с выражениями (26) и (29) для режимов отработки со стороны лежачего или висячего боков пласта.

Так как селективная выемка угля сопровождается частичным разубоживанием, значение $Ц$ в выражении (32) должно быть уменьшено на величину $\Delta Ц$, учитывающую снижение сортности добываемого угля.

Селективная выемка маломощных пластов со стороны лежачего бока возможна лишь экскаваторами типа ЭГ. Если при организации селективной выемки применяется выемочно-погрузочное оборудование типа ЭКГ, то при подходе фронта работ к пласту осуществляется перевод механической лопаты на сторону висячего бока пласта путем устройства специальных выработок. Таким образом, экономический эффект $Э_c$ от применения экскаватора типа ЭГ при селективной выемке пласта со стороны лежачего бока должен быть увеличен на $Э_{кос}$ (Л5), получаемый в результате исключения устройства вспомогательных выработок.

Анализ выражения (32) показывает, что величина T_c, как правило, несоизмеримо мала по сравнению с $T_{год}$, поэтому при $T_c \leq \leq (0,1 \div 0,15) T_{год}$ выражение (30) может быть записано в виде

$$Э_c = \left[c_1 \left(1 - \frac{Q_э^п}{Q_э^c} \cdot \frac{k_{упр}^п}{k_{упр}^c} \right) + Ц \right] \cdot П \cdot \gamma_{уг} \quad \text{руб.} \quad (33)$$

Погрешность результатов вычислений, выполненных по формуле (33), по сравнению с результатами, полученными по формуле (32), пренебрежимо мала и находится в пределах, допустимых для инженерных расчетов [16], если мощность отрабатываемого пласта не превышает 3,5 м и сохраняется необходимое соотношение времени, затрачиваемого на селективную выемку, к годовому фонду рабочего времени.

ВЫВОДЫ

1. Кинематические и энергосиловые возможности экскаваторов типа ЭГ обеспечивают сокращение продолжительности единичного цикла до 8-10% по сравнению с аналогичным показателем рабочего процесса для механических лопат типа ЭКГ, оснащенных ковшами соизмеримой вместимости.

2. Коэффициент экскавации карьерного гидравлического экскаватора достигает 0,92-0,94 и в среднем превышает аналогичный показатель рабочего процесса для механических лопат в 1,2-1,25 раза при экскавации скальных пород.

3. Коэффициент отработки забоя для рабочего процесса, реализуемого карьерным гидравлическим экскаватором, достигает 0,92-0,95, что объясняется выполнением практически всего комплекса

вспомогательных операций в основном эксплуатационном цикле экскавации горной массы.

4. Кинематические особенности гидрофицированного рабочего оборудования позволяют производить селективную выемку маломощных крутых пластов как со стороны висячего, так и лежачего боков.

5. Оснащение базовых моделей карьерных гидравлических экскаваторов сменным рабочим оборудованием обратной лопаты расширяет область их эффективного применения. При этом продолжительность единичного цикла экскаваторов типа ЭГО составляет в среднем 26-28 с при вместимости ковша 8-I2 $м^3$; обеспечиваемый коэффициент наполнения ковша равен 0,96-0,98.

6. Внедрение в практику открытых горных работ экскаваторов типа ЭГ предопределяет необходимость корректировки соответствующих нормированных в ЕНВ показателей.

ЛИТЕРАТУРА

I. Мельников Н. В. Проблемы горной науки на карьерах будущего. М., "Недра", I972.

2. Сатовский Б. И., Мельников Н. Н., Скобелев Л. С., Штейнцайг В. М. О создании карьерных гидравлических экскаваторов. - "Горный журнал", I977, № 5.

3. Мельников Н. В. Теория и практика открытых разработок. М., "Недра", I979.

4. *Giants of the industry.* — *"Excav. Contract"*, I979, 73, № 2.

5. Мельников Н. Н., Сатовский Б. И., Скобелев Л. С., Штейнцайг В. М. Опыт и перспективы внедрения мощных карьерных гидравлических экскаваторов. - "Горный журнал", I979, № 6.

6. *Albert Thelen. Hydraulikbagger im Tagebau-das optimale Lagerät? —"Baumaxis"*, I977, № I0.

7. *Heusler Helmut, Westermann Rudiger. New technology brings ascendency of front loading excavators. "Can. M. J,"* I976, № I0.

8. Проблемы совершенствования одноковшовых гидравлических экскаваторов. Ред. П.В.Панкрашкин. Сб. трудов ВНИИстройдормаш, 73. М., I976.

9. Проспект фирмы *"Hitachi CM Co Ltd"*, № 27-I5(4), I978.

I0. Изаксон А. А., Болтыхалов В. П., Карон А.Г. Одноковшовый универсальный гидравлический экскаватор ЭО-6I2I. - "Строительные и дорожные машины", I976, № I0.

II. *Losen Hydraulikbagger auch Große Seilbagger ab?— "Baumaschine + Bautechnik"*, I976, № 5.

I2. ГОСТ 8032-56. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. Режущий инструмент, вып. I. М., Стандартгиз, I960.

I3. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. М., "Недра", I978.

14. Виницкий К. Е. Оптимизация технологических процессов на открытых разработках. М., "Недра", 1976.

15. Мельников Н. Н. Отвалообразование шагающими драглайнами на карьерах. М., "Недра", 1967.

16. [illegible] И., Логунцов Б. М., Позин Е. З. Определение свойств горных пород. М., Госгорнаучтехиздат, 1962.

17. Методика определения экономической эффективности использования в угольной промышленности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М., ЦНИЭИуголь, 1979.

18. Укрупненные показатели для расчета капитальных затрат, численности трудящихся и себестоимости по шахтам, разрезам и ОФ. Угольные разрезы, т. 1, 2. М., Центрогипрошахт, 1972.

19. Новые решения в технике и технологии добычи угля открытым способом. Под ред. акад. Н.В.Мельникова. М., "Недра", 1976.

20. Правила технической эксплуатации при разработке угольных и сланцевых месторождений открытым способом. М., "Недра", 1972.

21. Штейнцайг Р. М. Методика выбора рациональной технологии отработки забоя карьерным гидравлическим экскаватором. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1979.

22. Ржевский В. В. Процессы открытых горных работ. М.,"Недра", 1978.

23. Домбровский Н. Г. Экскаваторы. М., "Машиностроение", 1969.

24. Штейнцайг Р. М. К вопросу обоснования параметров карьерных гидравлических экскаваторов с обратной лопатой. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1979.

25. Беляков Ю. И., Владимиров В. М. Совершенствование экскаваторных работ на карьерах. М., "Недра", 1974.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Введение	3
Анализ опыта создания и эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов	4
Обоснование рациональных параметров карьерных гидравлических экскаваторов	I5
Эксплуатационные показатели карьерных гидравлических экскаваторов	32
Экскавация скальных пород крепостью свыше II категории по ЕНВ	33
Экскавация пород I–II категории крепости по ЕНВ	36
Оценка эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов	4I
Выводы	44
Литература	45

Роман Михайлович Штейнцайг

МЕТОДИКА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Редактор И.А.Дружкова

Т-12616 Тираж 500 Цена 24 коп. Изд. № 8493 Заказ № 1506

Типография Института горного дела им. А.А.Скочинского
3,1 уч.-изд.л. Подписано к печати 17/VI 1980 г.

gost.e-ecolog.ru