

УДК 622.013.3; 622.276.6

## **Исследование влияния мощности оборудования на формирование рабочей зоны карьера и на возможную интенсивность горных работ при разработке крутопадающих месторождений**

**А.И. Косолапов\***, **А.И. Пташник**

*Сибирский федеральный университет  
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79<sup>1</sup>*

Received 13.08.2012, received in revised form 20.08.2012, accepted 27.08.2012

---

*В статье рассмотрены вопросы управления развитием рабочей зоны карьера и дана оценка возможной интенсивности ведения горных работ при использовании оборудования различной единичной мощности для условий разработки крутопадающих месторождений.*

*Ключевые слова: интенсификация производственной мощности, режим горных работ, этапная разработка месторождений.*

---

### **Введение**

Вопросам регулирования режима горных работ и установления производственной мощности на глубоких карьерах посвящены исследования [1, 2, 3, 4], в которых доказано, что эффективность разработки месторождений достигает максимума при постоянном значении производственной мощности за оцениваемый период работы карьера. Однако эти исследования были выполнены в 70-80-е годы прошлого столетия, когда развитие горных работ жестко увязывали с количеством горно-транспортного оборудования при максимальном коэффициенте его использования. Опыт последних 10-15 лет убеждает в необходимости пересмотра подходов к обоснованию режима работы карьеров по причине отсутствия у субъекта хозяйствования стабильного объёма заказов. Реформирование экономики привело к резкому падению внутреннего спроса практически на все виды минерального сырья и способствовало [5] увеличению доли экспорта производимой продукции (рис. 1).

Расходы карьеров, связанные с хранением нереализованной готовой продукции на складах в период падения спроса, огромны вследствие консервации на неопределённый срок оборотных средств. При этом предприятия не используют возможности покрытия потребности рынка за счёт оперативной интенсификации производства – в период роста спроса ввиду отсутствия чёткого представления о потенциальных возможностях и рациональных механизмах оперативного регулирования режима горных работ.

---

\* Corresponding author E-mail address: Kosolapov1953@mail.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

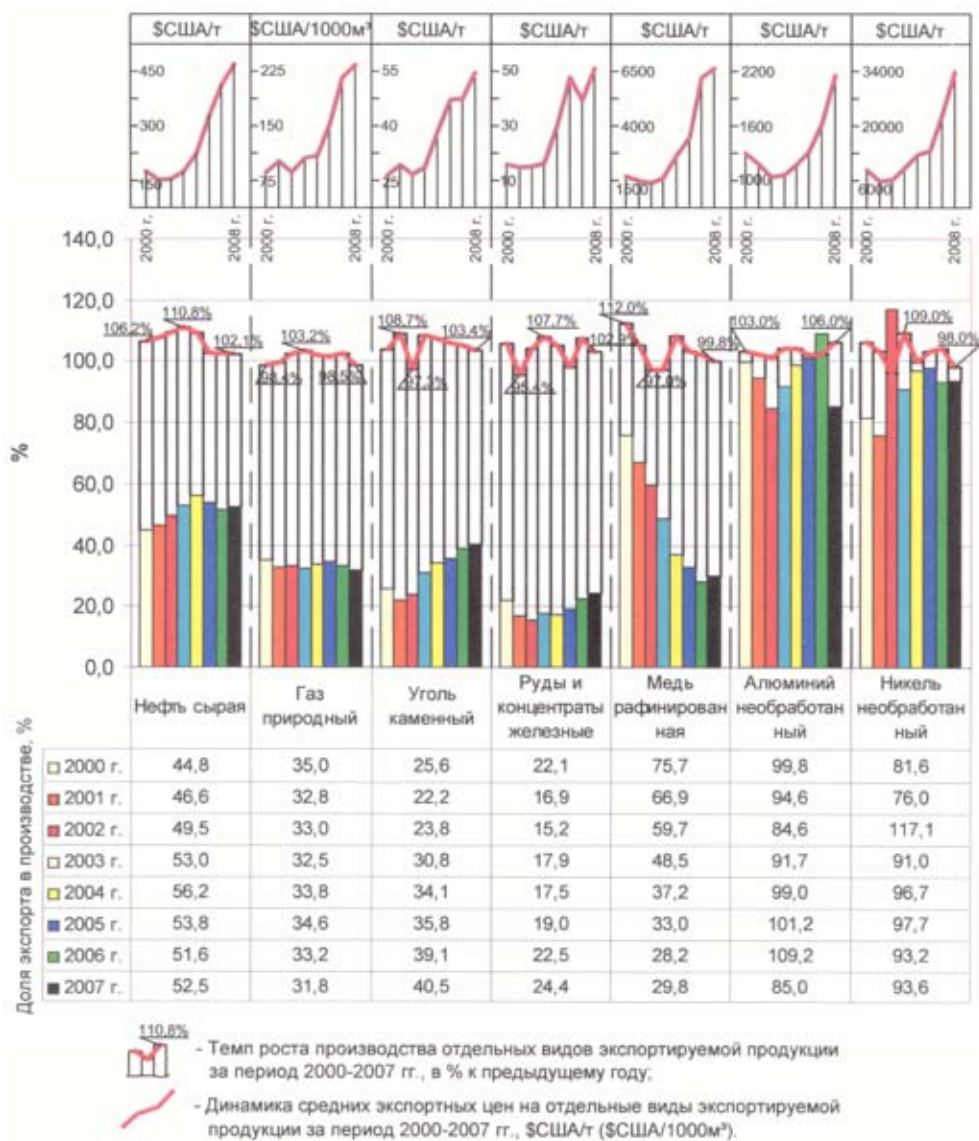


Рис. 1. Темп роста производства, доля экспорта в производстве и динамика средних экспортных цен на отдельные виды экспортируемой продукции в период 2000-2007 гг.

Анализ опыта работы зарубежных карьеров, на протяжении многих лет функционирующих в условиях рынка позволяет сделать следующие выводы:

- для достижения максимальной эффективности при вариации производственной мощности с учётом особенностей внешней среды (динамики спроса, конъюнктуры на рынке) целесообразно прогнозировать эти изменения и заблаговременно перестраивать производство, учитывая его инерционность;
- при значительных колебаниях потребности рынка в продукции горных предприятий некоторые из них работают с резервом производственной мощности до 50 % как на карьере, так и на обогатительной фабрике при высокой экономической эффективности;

- необходимо активно использовать координирование комплексов оборудования, занятых на добычных работах по забоям с различным качественным составом руды, ведение работ зонами концентрации, а также изменение параметров системы разработки, позволяющих управлять развитием рабочей зоны карьера и регулировать режим горных работ;
- целесообразно внедрять программные продукты профильного назначения по оперативному планированию, прогнозированию и организации производства.

В настоящее время управление и регулирование режима горных работ в большинстве своём нацелено на уменьшение эксплуатационного коэффициента вскрыши на начальных этапах развития горных работ либо на поддержание производственной мощности карьера при неизбежном её выбытии с глубиной. Подход к проблеме с позиции обеспечения соответствия производственной мощности спросу на продукцию затронут лишь в некоторых исследованиях [6-8]. Поэтому в настоящей работе рассмотрены особенности управления развитием рабочей зоны карьера и дана оценка возможной интенсивности ведения горных работ при использовании оборудования различной единичной мощности в условиях разработки крутопадающих месторождений.

### Результаты исследования формирования рабочей зоны карьера и интенсивности горных работ

Основываясь на классических представлениях об этапной разработке крутопадающих месторождений, на условном поперечном разрезе графически смоделирована схема развития рабочей зоны на стадии эксплуатации карьера (рис. 2). При глубине карьера  $H_1$  верхний уступ рабочих бортов  $GD$  и  $EF$ , сформированных под углом  $\alpha$ , достигает контура первого этапа  $ABCD - 1$ , при этом длина проекции линии откоса рабочего борта по вскрышным породам равна величине  $V$ . Если отработку вести в пределах этого этапа, а уступы, достигшие контура этапа, погашать под углом  $\beta$ , то при достижении горными работами глубины, соответствующей глубине первого этапа  $H_{1\text{этапа}}$ , добычные работы необходимо остановить из-за отсутствия подготовленных запасов. Поэтому по достижении рабочей зоной определённой глубины, равной  $H_k$ , одновременно с отработкой в границах первого этапа необходимо начать ускоренный разнос временно нерабочих бортов  $AK$  и  $DN$  в пределах последующей очереди  $A'B'C'D' - 2$ . К моменту достижения карьером глубины  $H_{1\text{этапа}}$  рабочая зона займет положение  $A'PBCQD'$ . Исследованиями [9] установлено, что величина  $H_k$  зависит от угла рабочего борта карьера, величины его горизонтальной проекции и определяется исходя из необходимой скорости углубки в границах рабочей зоны предыдущего этапа  $h_n$  и максимально возможной скорости углубки при расконсервации временно нерабочего борта в границах последующей очереди  $h_p$ . Очевидно, что в случае отработки в контуре первого этапа при достижении карьера глубины  $H_1$ , текущий коэффициент вскрыши достигнет своего максимума, а затем начнет падать. При этом постепенно сокращается протяжённость вскрышного фронта работ, особенно это характерно для округлых в плане месторождений, а при постоянной скорости углубки и величине угла откоса рабочего борта постепенно уменьшается производственная мощность по горной массе. Так, при понижении горных работ от глубины  $H_1$  до  $H_k$  горизонтальная проекция линии откоса рабочего борта по вскрышным породам

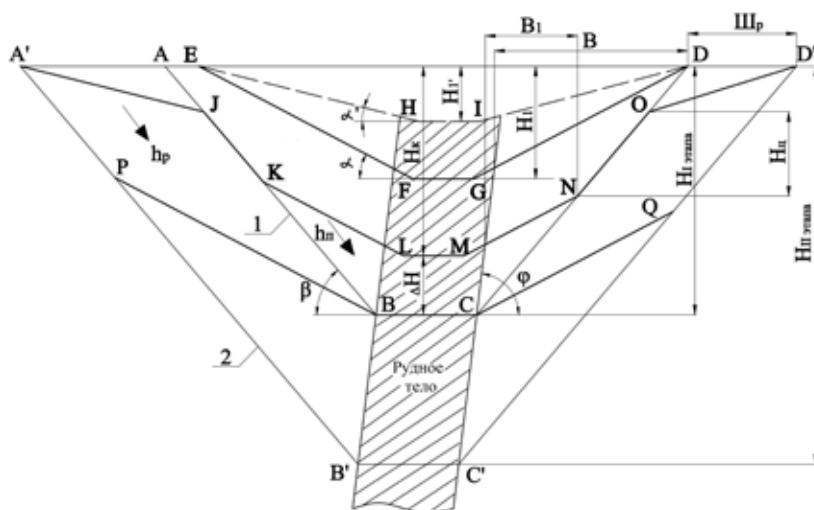


Рис. 2. Принципиальная схема развития рабочей зоны карьера при этапной разработке

уменьшится до величины  $B_1$ . Для поддержания и увеличения интенсивности разработки в период понижения горных работ с глубины  $H_1$  до  $H_k$  необходимо увеличивать угол откоса рабочего борта за счёт изменения высоты уступа и ширины рабочих площадок. В этом случае показатели, определяющие интенсивность разработки, а именно максимальное количество рабочих уступов, длина активного вскрышного и добычного фронта, площадь рабочей зоны карьера обеспечивают заданный режим горных работ.

Для проверки вышеизложенного утверждения исследуем динамику развития рабочей зоны карьера для следующих исходных данных:

- высота уступа 15 м;
- горизонтальная мощность рудного тела 200 м;
- угол падения залежи 75 град;
- угол откоса борта карьера в предельном положении 45 град;
- ширина разрезной траншеи по дну 40 м;
- угол направления углубки 75 град (по центру залежи);
- глубина карьера 350 м.

Для упрощения процесса моделирования рабочую зону карьера представим ступенчатой формой, описываемой поверхностью вращения. Рассмотрим два варианта развития рабочей зоны:

- угол откоса рабочего борта карьера  $\alpha_{pb} = 12^\circ = \text{const}$  – для всех значений (90, 135, 180, 225, 270, 315 м) глубины дна рабочей зоны карьера;
- угол откоса рабочего борта карьера последовательно изменяется с шагом в 3 град ( $\alpha_{pb} = 9 - 24$  град), при каждом последующем понижении дна рабочей зоны на 45 м.

В этом случае параметры рабочей зоны можно рассчитать по формулам:

- длина фронта работ уступа

$$L_{\phi.y_i} = 2\pi \cdot R, \text{ м};$$

- длина фронта работ карьера

$$L_{\phi.k} = \sum_{i=1}^n L_{\phi.y.i}, \text{ м};$$

- площадь рабочей зоны

$$S_{p.z} = \pi \cdot r^2, \text{ м}^2;$$

- максимальное количество рабочих уступов

$$N_y^{\max} = \frac{A_d(A_b)}{h_y}, \text{ ед.},$$

где R – расстояние по горизонтали от оси направления углубки до середины заходки на рабочей площадке соответствующего горизонта, м;

r – расстояние по горизонтали от оси направления углубки до точки, образуемой пересечением линией откоса рабочего борта и линией откоса борта в конечном положении, м;

$A_d(A_b)$  – величина проекции рабочего борта на вертикальную плоскость со стороны лежащего (висячего) бока залежи, м;

$h_y$  – высота уступа, м.

Результаты расчетов по приведенным формулам с учетом вышеизложенных исходных данных представлены в виде графиков на рис. 3.

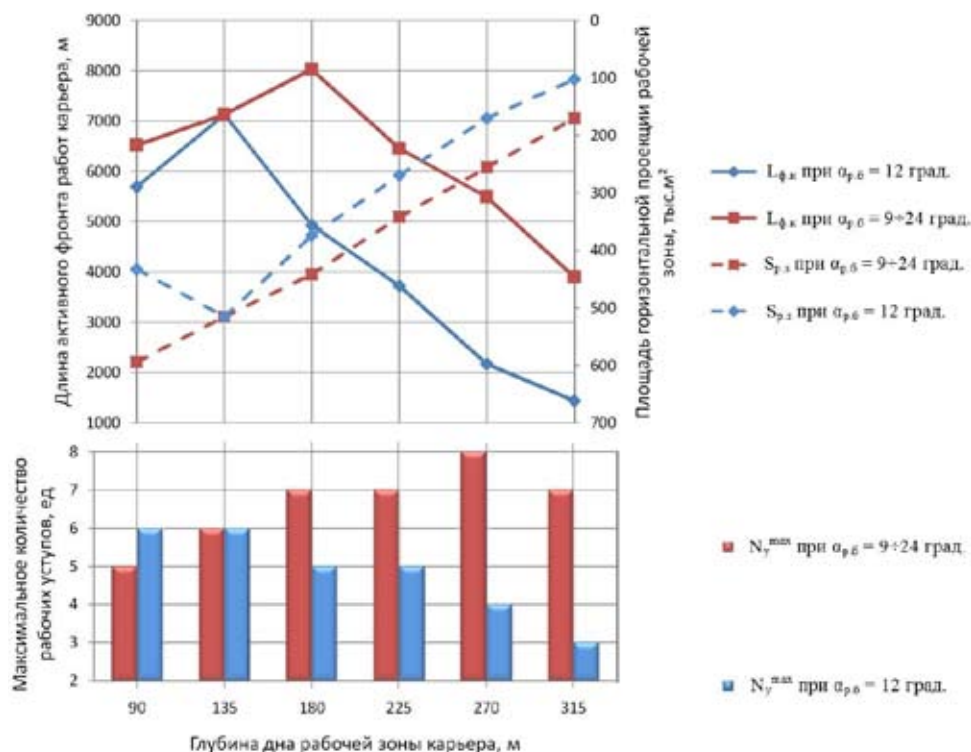


Рис. 3. Влияние глубины дна рабочей зоны и угла откоса рабочего борта на показатели, определяющие интенсивность ведения горных работ

Кроме того, угол откоса рабочего борта оказывает влияние на возможную продолжительность интенсификации (наращивания мощности карьера). Чем меньше угол, тем больше продолжительность за счет его увеличения до предельного значения. Это хорошо иллюстрирует схема на рис. 2, где показано положение рабочей зоны  $ЕНПД$ , соответствующее глубине  $H_1'$ , с минимальным углом рабочего борта до значения  $\alpha'$ . В этом случае в начале разработки объёмы добычи минимальны. Причем достижение конечных контуров этапа происходит на меньшей глубине, что впоследствии позволит увеличивать возможную продолжительность интенсификации горных работ при понижении горных работ до глубины  $H_k$ . Высвобождающееся выемочно-погрузочное оборудование со вскрышных работ по мере снижения текущего коэффициента вскрыши может быть использовано в качестве добычного, повышая производственную мощность.

Однако для более полной оценки возможности интенсификации горных работ на карьерах необходимо также оценить эффективность использования имеющейся активной рабочей площади оборудованием различной мощности. Причем при рассмотрении комплексов горнотранспортного оборудования различной единичной мощности необходимо обязательно учитывать годовую выработку экскаваторов, т.к. угол откоса рабочего борта для различных моделей изменяется незначительно (в пределах 1-1,5 град) ввиду соразмерного увеличения высоты уступа и ширины рабочей площадки и не может существенно повлиять на интенсивность разработки.

Для анализа приняты экскаваторы серии ЭКГ типа прямая лопата и мобильные гидравлические экскаваторы типа обратная лопата, а также автосамосвалы соответствующего типоразмера (табл. 1). Методика расчёта необходимой рабочей площади, определяемой из условия эффективной работы комплекса оборудования, приведена в работе [7]. Производительность экскаваторов типа ЭКГ рассчитана на средние условия по методике, изложенной в «Нормах технологического проектирования горнорудных предприятий», а гидравлических лопат – по методике [10] с учётом конкретной технологической схемы работы на уступе. Высота уступа в расчётах принималась равной максимальной высоте черпания для экскаваторов серии ЭКГ, а для экскаваторов типа обратная лопата – равной максимальной при условии работы на подуступе с нижней погрузкой в средства транспорта. Ширина развала была принята кратной двум нормальным экскаваторным заходкам. Длина экскаваторного блока принята из расчёта обеспечения непрерывной работы экскаватора в течение одного месяца. Расчёт произведён для комплексов, оптимальных по соотношению вместимости кузова автосамосвала и ковша экскаватора. Площадь горизонтальной проекции добычной зоны определяли графически путём построения на разрезе рабочего борта по каждому комплексу на условном рудном теле горизонтальной мощностью 350 м, описываемом поверхностью вращения. Количество экскаваторов по условиям размещения есть отношение площади горизонтальной проекции добычной зоны к необходимой рабочей площади для конкретного комплекса оборудования. Производственная мощность карьера – это произведение количества экскаваторных комплексов, определённых по условию размещения и их эксплуатационной производительности, с учётом условной плотности руды 2,3 т/м<sup>3</sup>. Для оценки и сравнительного анализа эффективности использования площади добычной зоны на карьере в условиях отработки комплексами оборудования различной единичной мощности показатель производственной мощности карьера (функция) и оказывающие на него влияние (независимые переменные) высота уступа,

вместимость ковша и эксплуатационная производительность экскаватора, приведены к относительным единицам, при этом базовым для всех типов экскаваторов является комплекс минимальной единичной мощности.

Результаты моделирования для экскаваторов серии ЭКГ типа прямая лопата и для гидравлических экскаваторов типа обратная лопата приведены в табл. 1. Для оценки влияния единичной мощности горного оборудования на интенсивность разработки месторождения построены графики, увязывающие относительную вместимость ковша и производительность экскаватора, а также относительную высоту уступа с относительной производительностью карьера (рис. 4). Анализ соответствующих графиков позволяет сделать вывод о том, что оборудование различной единичной мощности при работе с рациональными параметрами системы разработки использует имеющуюся площадь рабочей зоны с разной эффективностью. Данное утверждение наглядно подтверждается тем, что при относительном увеличении вместимости ковша экскаватора типа ЭКГ в 2 раза его относительная эксплуатационная производительность возрастает всего в 1,35 раза, а относительная высота уступа только в 1,31 раза. За счет этого происходит относительное повышение производительности карьера не более чем в 1,47 раза (рис. 4). Поэтому для повышения эффективности разработки и оценки потенциальных возможностей наращивания производственной мощности необходимо анализировать приращение относительных показателей для экскаваторов различного типа и единичной мощности.

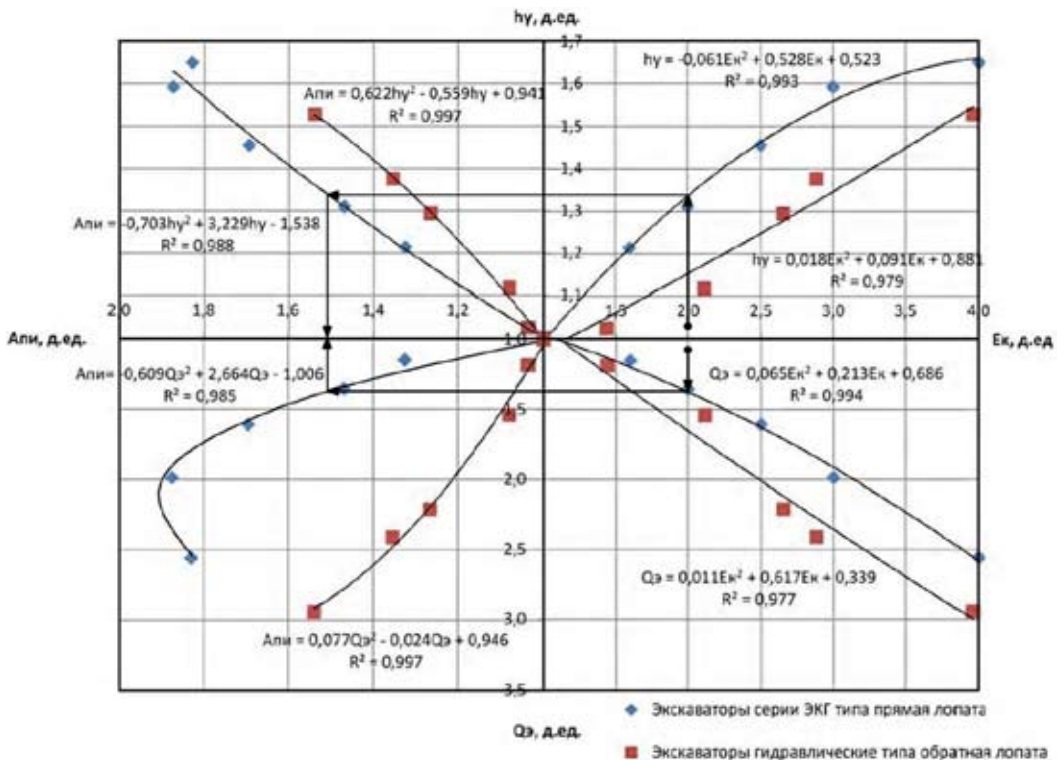


Рис. 4. Номограмма для определения относительной производственной мощности карьера ( $A_{ин}$ ) в зависимости от относительной вместимости ковша экскаватора ( $E_k$ )

Таблица 1. Оценка влияния технологических комплексов оборудования на показатели интенсивности добычных работ

Наименование показателя	Значение показателя											
	Экскаваторы типа прямая лапага						Экскаваторы типа обратная лапага					
	ЭКТ-5А BelA3-7523	ЭКТ-8И BelA3-7555	ЭКТ-10 BelA3-7509	ЭКТ-12,5 BelA3-7519	ЭКТ-15 BelA3-75131	ЭКТ-20А BelA3-7521	Liebherr R-984-C BelA3-7523	Liebherr R-984-C BelA3-7555	Liebherr R-994 BelA3-7509	Liebherr R 9350 BelA3-7519	Terex RH- 120-E BelA3-75131	Terex RH-200 BelA3-7521
1. Вместимость ковша экскаватора (кузова автосамосвала), м <sup>3</sup>	5 (26)	8 (34,2)	10 (46)	12,5 (56)	15 (71)	20 (108)	5,2 (26)	7,5 (34,2)	11 (46)	13,8 (56)	15 (71)	20,6 (108)
2. Элементы системы разработки:												
2.1 Высота уступа, м	10,3	12,5	13,5	15	16,4	17	8,5	8,7	9,5	11	11,7	13
2.2 Расчётная длина блока, м	329	233	243	227	237	318	466	512	659	737	704	710
2.3 Ширина рабочей площадки, м	76	93	96	106	115	113	68	70	69	75	81	87
2.4 Необходимая рабочая площадь, м <sup>2</sup>	25112	21706	23207	24133	27163	35963	31607	35691	45549	55480	56853	61673
2.5 Угол откоса рабочего борта, град	7,7	7,7	8,0	8,0	8,1	8,6	7,1	7,1	7,8	8,3	8,2	8,5
3. Эксплуатационная производительность экскаватора, тыс. м <sup>3</sup> /год	1 236	1 420	1 673	1 988	2 456	3 161	1 830	2 167	2 819	4 042	4 412	5 386
4. Площадь горизонтальной проекции добычной зоны, м <sup>2</sup>	103 895	103 667	104 278	105 201	106 065	106 435	103 821	102 523	104 736	104 433	104 972	105 973
5. Количество экскаваторов по условиям размещения, ед.	4,14	4,78	4,49	4,36	3,90	2,96	3,28	2,87	2,30	1,88	1,85	1,72
6. Производственная мощность карьера, тыс. т/год	11 764	15 603	17 299	19 939	22 059	21 523	13 828	14320	14913	17503	18738	21289
7. Относительная производственная мощность карьера (А <sub>пн</sub> ), д.ед.	1,00	1,33	1,47	1,69	1,88	1,83	1,00	1,04	1,08	1,27	1,36	1,54
8. Относительная высота уступа (h <sub>у</sub> ), д.ед.	1,00	1,21	1,31	1,46	1,59	1,65	1,00	1,02	1,12	1,29	1,38	1,53
9. Относительная вместимость ковша экскаватора (Е <sub>к</sub> ), д.ед.	1,00	1,60	2,00	2,50	3,00	4,00	1,00	1,44	2,12	2,65	2,88	3,96
10. Относительная эксплуатационная производительность экскаватора (Q), д.ед.	1,00	1,15	1,35	1,61	1,99	2,56	1,00	1,18	1,54	2,21	2,41	2,94



### Заключение

В результате моделирования развития рабочей зоны карьера установлено влияние показателей, характеризующих типоразмер и единичную мощность комплексов горно-транспортного оборудования на показатели интенсивности добычных работ. Построенная номограмма увязывает между собой отдельные относительные показатели, оказывающие влияние на интенсивность разработки, и даёт возможность оценить степень их влияния. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что величина приращения относительной производственной мощности карьера при использовании экскаваторов типа ЭЖГ с увеличением их единичной мощности больше, чем гидравлических экскаваторов типа обратная лопата. Также установлено, что между этими показателями нет пропорциональной зависимости; приращение относительной вместимости ковша экскаватора в четыре раза обеспечивает увеличение производственной мощности карьера в 1,83 и 1,54 раза соответственно при использовании механических и гидравлических лопат. Причем величина этого приращения изменяется неравномерно и зависит от вместимости ковша и типа экскаватора. При этом для механических лопат соответствующая функция имеет экстремум в области 15 м<sup>3</sup> и при дальнейшем увеличении наблюдается относительное снижение приращения производственной мощности. Для гидравлических лопат при увеличении вместимости ковша относительная производственная мощность карьера нарастает менее значительно, чем при использовании механических лопат. Однако при этом абсолютная её величина соответствует достигаемой механическими лопатами. Последнее обусловлено высокой эксплуатационной производительностью гидравлических лопат. Таким образом, выполненные исследования показали, что при рациональном использовании оборудования, обеспечивающем его полную загрузку, увеличение его мощности не обеспечивает необходимую динамику увеличения производственной мощности карьера.

### Список литературы

- [1] *Арсентьев А.И.* Определение производительности и границ карьеров. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1970. С 319.
- [2] *Мельников Н.В., Винницкий К.Е., Меньшов В.С., Реентович Э.И.* Вопросы выбора производственной мощности карьера. М.: Наука, 1971. С 166.
- [3] *Новожилов М.Г. и др.* Технологические параметры глубоких карьеров. М.: Недра, 1982. С 175.
- [4] *Ржевский В.В.* Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. М.: Недра, 1985. С 549.
- [5] Российский статистический ежегодник.: Стат.сб./Росстат. Р76 М., 2007. С 825.
- [6] *Черепанов Е.В.* Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2008. 20 с.
- [7] *Галкин В.А., Сидоренко В.Н., Гавришев С.Е., Носов А.Н.* Проектирование горных работ при формировании карьерного пространства зонами концентрации. Магнитогорск: МГМИ, 1991. С 57.
- [8] *Бурмистров К.В.* Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2005. 19 с.
- [9] *Андросов А.Д.* Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1984. 21 с.
- [10] *Колесников В. Ф., Корякин А. И., Воронков В. Ф.* Транспортная технология ведения вскрышных и добычных работ на разрезах Кузбасса. Кемерово: КузГТУ, 2009. С 94.

## **Research of Influence of Power of the Equipment on Formation of a Working Zone of Opencast and on Possible Intensity of Mining Operations at Mining of Steeply Dipping Deposits**

**Alexander I. Kosolapov and Alexander I. Ptashnik**  
*Siberian Federal University,  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

---

*In article questions of management are considered by development of a working zone of opencast and the estimation of possible intensity of conducting mining operations is given at use of the equipment of various individual power, for conditions of mining of steeply dipping deposits.*

*Keywords: productive capacity intensification, mode of mining operations, stage exploitation of open pit.*

---