

УДК 622.271.32:622.23.05

Четверик М.С., докт. техн. наук, проф.,
Бабий Е.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Бубнова Е.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ МАШИН, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧЕ РУД

Четверик М.С., докт. техн. наук, проф.,
Бабій К.В., канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,
Бубнова О.А., канд. техн. наук, ст. наук. співроб.
(ІГТМ НАН України)

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ ГІРНИЧИХ МАШИН, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРОЦЕСІВ ПРИ ВІДКРИТОМУ ВИДОБУТКУ РУД

Chetverik M.S., D.Sc. (Tech.), Professor,
Babiy Ye.V., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Bubnova Ye.A., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

INTERDEPENDENCE BETWEEN MINING MACHINE PARAMETERS, TECHNOLOGY AND PROCESSES AT THE ORE OPENCAST MINING

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме несоответствия параметров технологий, процессов и горнотранспортного оборудования, приводящему к неэффективному использованию машин, их износу, а также экономической нецелесообразности выемке руд с глубоких горизонтов карьеров.

В статье проанализированы параметры таких технологических процессов как буровзрывные работы, экскавация, механическое дробление, транспортирование горной массы с учетом последовательности их выполнения и комплексов применяемого оборудования. Установлены основные зависимости между последовательными процессами и необходимость их взаимной адаптации.

Показано, что параметры применяемого горнотранспортного оборудования ограничивают развитие горных работ в глубину без дополнительного разноса бортов карьера, в связи с чем рекомендуется совершенствовать оборудование для обеспечения возможности его работать в стесненных условиях.

Ключевые слова: карьер, технология, технологические процессы, горное оборудование, параметры, гранулометрический состав.

Введение. Наибольшей эффективности добыча полезных ископаемых достигает при соответствии и взаимной адаптации параметров горных машин, параметров систем открытой разработки месторождений и параметров технологических процессов при переработке руды. Это особенно актуально для условий добычи железных руд и выемки скальных пород из глубоких карьеров.

Вопросы соответствия горных машин и технологий открытой разработки месторождений рассматривались с двух противоположных сторон.

Академик НАН Украины Потураев В.Н. считал, что первичным является создание новых горных машин, для которых технологи найдут применение путем обоснования параметров и разработки технологий и технологических схем, соответствующих техническим и эксплуатационным характеристикам таких машин.

В то же время докт. техн. наук, проф. Тартаковский Б.Н. полагал, что наиболее важным и основным является разработка технологий выемки вскрышных пород и полезного ископаемого, для обеспечения которых необходимо создавать горные машины.

В ИГТМ НАН Украины, как и в ряде других профильных институтов, параллельно разрабатывались и продолжают разрабатываться технологии выемки, переработки и транспортировки горной массы и конструкции горных машин.

В области открытых горных работ в ИГТМ НАН Украины за последние 50 лет были разработаны технологии: выемки вскрышных пород с управляемым обрушением вскрышных уступов, технология отработки месторождений с мягкими покрывающими породами наклонными слоями, поточная и циклично-поточная технологии и др., которые были внедрены в производство и с несколько измененными параметрами применяются и сегодня.

В тоже время были разработаны конструкции экскаваторов, дробилок, грохотов, сепараторов, погрузочных машин и др., которые также нашли применение в производственных процессах добычи и обогащения полезных ископаемых.

Примечательным является то, что в большей мере новые технологии и горные машины разрабатываются независимо друг от друга, что с нашей точки зрения, не позволяет максимально рационализировать горное производство в виду наличия устойчивой взаимосвязи между параметрами горных машин, технологий и процессов при открытой добыче руд.

Целью данной работы является обоснование взаимосвязи между параметрами горных машин, технологий и процессов при открытой добыче руд.

Постановка проблемы. При добыче железных руд на глубоких карьерах Кривбасса формируется поток рудной массы, проходящий по технологическим процессам вплоть до извлечения железа. Он характеризуется двумя параметрами: гранулометрическим составом руды и содержанием в нем полезного компонента – железа [1]. Указанные параметры рудного потока оказывают влияние на энергетические затраты при производстве концентрата – несогласованность параметров рудного потока и горных машин в последовательных технологических процессах приводит к увеличению энергетических затрат.

К тому же несоответствие таких параметров приводит к снижению эффективности технологий открытой разработки полезных ископаемых и нерациональному использованию ресурса горных машин.

В связи с этим актуальным является вопрос обоснования взаимосвязи параметров горных машин, технологий и процессов с целью определения

основных направлений развития исследований и разработок.

Изложение основного материала.

1. *Взаимосвязь параметров горных машин и технологического процесса взрывного дробления горного массива.*

Одним из главных и первых технологических процессов, определяющих технические параметры применяемого в дальнейшем горнотранспортного оборудования, является взрывное дробление горного массива.

Получаемый в результате выполнения буровзрывных работ (БВР) максимальный размер куска горной массы обуславливает выбор оборудования и эффективность его работы во всех последующих технологических процессах, а именно устанавливает требования к размеру ковша экскаватора, приемной щели дробилки, параметрам конвейерного транспорта.

Известно, что существует взаимосвязь между максимальными размерами кусков горной породы во взорванной горной массе и диаметром взрывных скважин - чем меньше диаметр скважин, тем меньшие размеры максимальных кусков горной породы [2].

Согласно расчетам, максимальные размеры кусков l_k (крупнее этого размера являются негабаритом) после взрывного дробления горного массива при диаметрах скважин $d_{скв}$ представлены на рисунке 1.

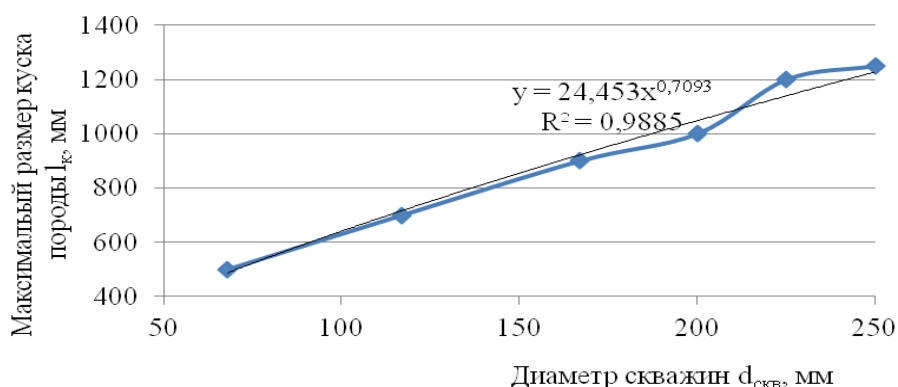


Рисунок 1 – Зависимость максимальных размеров кусков породы во взорванной горной массе от диаметра взрывных скважин

В общем, после взрыва распределение кусков горной массы от мелких фракций до крупных носит экспоненциальный характер

$$n = e^{-\frac{l_k}{l_m}}, \quad (1)$$

где n – доля негабаритных кусков руды во взорванной горной массе, доли ед.; l_k – максимальный кондиционный размера куска; l_m – средний размер кусков, мм.

Если размеры максимальных кусков руды после взрыва будут больше приведенных значений соответственно диаметрам взрывных скважин (см. рис.1), то проведенный взрыв считается некачественным.

Следующим технологическим процессом после БВР является экскавация горной массы. Выбор типа экскаватора обуславливается требуемой

производительностью, параметрами рабочей зоны, а также размером куска горной массы после БВР, который помещается в ковш.

В 60-е годы прошлого столетия широко применялись экскаваторы СЭ-3 (Уралмаш), вместимость ковша которых составляла $E=3 \text{ м}^3$. Негабаритный кусок руды для этого экскаватора составлял 1200 мм. Поскольку этому параметру соответствовала по параметрам дробилка крупного дробления, то и в дальнейшем были приняты негабаритные куски после взрыва и экскавации равные 1200 мм. Но в последующем ситуация существенно изменилась тем, что на карьерах начали применять экскаваторы со значительно большей вместимостью ковша.

Максимальные размеры кусков, которые могут попасть в ковш экскаватора, определяют как корень кубический из вместимости ковша

$$l_{нэ} = \sqrt[3]{E} \quad (2)$$

где $l_{нэ}$ - размер негабарита по ковшу экскаватора, м; E – емкость ковша экскаватора, м^3 .

В графическом виде зависимость (2) представлена на рисунке 2, исходя из которого очевидно, что область максимальных значений размеров кусков горной массы для выбранного типа экскаватора ограничивается горизонтальной линией, проведенной через точку на кривой соответствующей емкости его ковша.

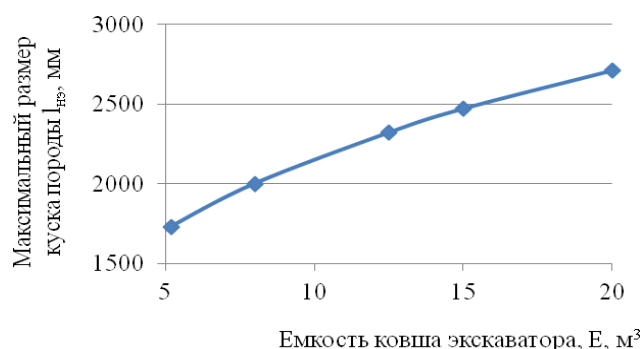


Рисунок 2 – Зависимость требуемой емкости ковша экскаватора от максимального куска породы во взорванной горной массе

Поскольку экскавируемая горная масса транспортируется на механическое дробление, то максимальный размер ее кусков должен соответствовать параметрам приемной щели применяемой дробилки.

Негабаритные размеры кусков руды по приемным отверстиям дробилок определяют выражением

$$l_{нд} = 0,8 B, \quad (3)$$

где $l_{нд}$ – размер негабаритного куска руды по приемной щели дробилки, мм; B – размер приемной щели дробилки, мм.

Тогда негабаритные размеры кусков руды для дробилок: ККД-1500 – 1200 мм; ККД-1200 – 960 мм; ККД-900 – 720 мм.

При условии, когда негабаритный кусок по емкости ковша экскаватора больше, чем негабаритный кусок по приемной щели дробилки $l_{нэ} > l_{нд}$, машинист экскаватора визуально определяет негабарит по приемной щели дробилки и отсортировывает их в рабочей зоне. Данный процесс зависит от опыта машиниста и применяемого типа экскаватора, поэтому на механическое дробление могут попадать куски горной массы, существенно превышающие кондиционные.

Распределение негабарита по линейному размеру кусков описывается нормальным законом.

Количество негабаритных кусков руды, погруженных машинистом экскаватора в транспортное средство и попавших в результате в дробилку можно определить по выражению

$$n(l > l_0) = e^{-\frac{l}{l_T}} - e^{-\frac{l}{l_T}} \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{l_0}^{l_H} e^{-\frac{(l-l_{TD})^2}{2\sigma^2}} dl \quad (4)$$

где l – линейный размер кусков взорванной горной массы, м; l_D – максимальный кондиционный размер куска по приемной щели дробилки, м; σ – среднеквадратическое отклонение; l_H и l_0 – соответственно наибольший и наименьший размер куска, выделенный в забое машинистом экскаватора и принятый за негабарит, м; l_{TD} – среднее значение длины куска негабарита.

При выходе негабарита 0,5 % в конусную дробилку ККД-1500/180 поступает до 0,4 % горной массы с максимальной крупностью кусков более 1,2 м.

Из приведенных данных следует, что применение экскаваторов с большой вместимостью ковшей не позволяет контролировать экскавацию кусков породы, негабаритных по приемным щелям дробилок.

Таким образом, для повышения эффективности и надежности работы горных машин необходимо производить взаимную адаптацию их параметров и параметров БВР.

2. Особенности взаимосвязи параметров оборудования по гранулометрическому составу руды при циклично-поточной технологии с крутонаклонными конвейерами.

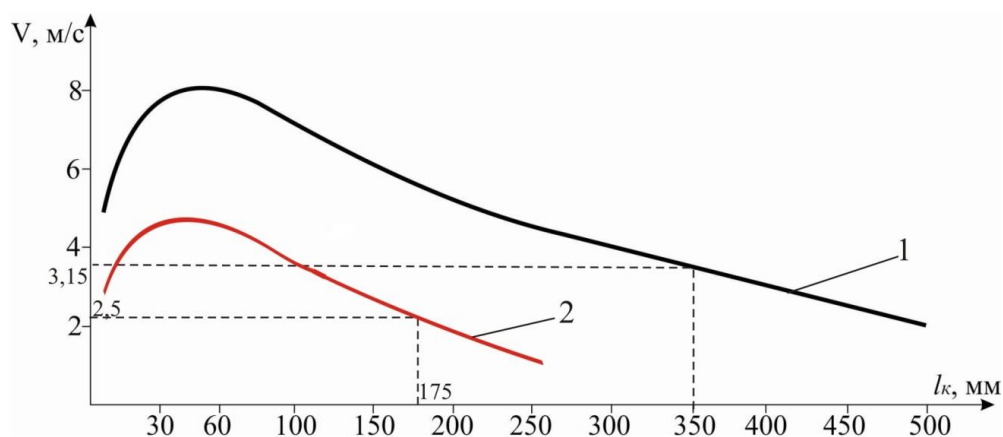
Любые виды наклонных и крутонаклонных конвейеров работоспособны при транспортировании скальной горной массы с определенным ее гранулометрическим составом [3]. При этом должны соблюдаться следующие условия:

- максимальный размер куска в горной массе, которую транспортируют конвейером, должен быть таким, чтобы при заданной скорости перемещения конвейерной ленты динамические нагрузки при его ударе с роликоопорой, не приводили к разрушению последней;

- гранулометрический состав, дисперсность транспортируемой горной массы должны быть таковы, чтобы при заданной конструкции крутонаклонного ленточного конвейера достигалось ее устойчивое состояние:

не происходило скатывание кусков, обеспечивалось плотное прижатие лентой при применении крутонаклонных конвейеров с лентой глубокой вогнутости или с прижимной лентой.

Достижение указанных условий, кроме применения множества различных технических решений, возможно путем выбора соотношения максимального размера куска в транспортируемой скальной горной массе и скорости перемещения конвейерной ленты (рис. 3).



1 – для конвейера с углом наклона 16°; 2- для конвейера с углом наклона 32°

Рисунок 3 - Зависимость скорости движения конвейерной ленты от максимальной крупности куска в транспортируемой скальной горной массе

Как следует из рис. 3, при транспортировании конвейером скальной горной массы с максимальной крупностью куска 350 мм скорость конвейерной ленты должна составлять 3,0-3,15 м/с. Эти параметры полностью соответствуют условиям применения наклонного конвейера: угол наклона конвейера 16°; ширина ленты 2000 мм; скорость движения ленты 3,15 м/с. При этих параметрах максимальная крупность куска дробленой массы, которая поступает на конвейер после дробления взорванной горной массы в дробилке ККД-1500/180, составляет 350 мм. С такими параметрами работают все конвейера в схемах циклично-поточной технологии на карьерах Кривбасса.

При применении крутонаклонного конвейера с углом наклона 32-36° максимальная крупность куска должна составлять 150-175 мм при скорости движения конвейерной ленты 2,5 м/с. Однако, при этом следует учитывать и необходимую производительность конвейера.

При экскавации взорванной горной массы экскаваторами с большой вместимостью ковша в приемную щель дробилки ККД-1500 поступают куски свыше 1200 мм до 0,5 - 1,5 % от общей массы. Но поскольку выпускная номинальная щель дробилки составляет 180 мм, то на конвейер в любом случае поступает дробленая горная масса с максимальной крупностью кусков не более 350 мм.

Особенность конструкции конусных дробилок крупного дробления состоит в том, что образующая дробящего конуса наклонена под углом 70°-80°. В этом

случае зона дробления представлена зоной свободного падения кусков. Поэтому дробятся только те куски руды, которые в процессе падения не проходят через разгрузочную щель дробилки. Если в дробилку поступает взорванная скальная горная масса, средний диаметр кусков которой по своим размерам приближается к ширине разгрузочной щели дробилки, то режим работы дробилки и ее энергетические характеристики приближаются к условиям холостого хода. Средний размер кусков взорванной руды, поступающей в дробилку, составляет 200 – 240 мм, что соответствует 80% размерам разгрузочной щели дробилки. Таким образом, 80 % взорванной горной массы проходит через дробилку без ее дробления. Это приводит к большим энергетическим затратам, поскольку значительная их часть расходуется на холостой ход. Для дробилки ККД 1500/180 мощность холостого хода составляет около 48 кВт, или 12 % установленной мощности приводного двигателя.

Согласно опыту, принято считать, что

$$l_k = 2d_{щ}, \quad (5)$$

где l_k – максимальный размер куска после дробления в дробилке, мм; $d_{щ}$ – размер разгрузочной щели дробилки, мм.

Поэтому, чтобы дробить горную массу в данной дробилке до крупности кусков не более 175 мм, необходимой для устойчивого транспортирования горной массы крутонаклонным конвейером, ее разгрузочная щель должна составлять 80-100 мм. Таких параметров при использовании дробилки ККД 1500/180 без ее конструктивных изменений достичь сложно. Из изложенного следует:

- значительная часть мощности конусной дробилки ККД 1500/180 расходуется не на дробление, а на холостой ход; т.е. повышение качества дробления пород взрывом с дополнительным расходом ВВ приводит к еще и увеличению энергетических затрат на механическое дробление (вместо того, чтобы снижать их);

- разгрузочная щель дробилки ККД 1500/180 не обеспечивает заданную крупность кусков горной массы, допустимую для транспортирования ее крутонаклонным конвейером.

Таким образом, при применении ЦПТ на глубоких горизонтах карьеров с транспортированием горной массы крутонаклонными конвейерами необходимо производить адаптацию параметров в системе технологических процессов «БВР – механическое дробление – транспортирование» и соответствующего каждому процессу оборудования.

3. Несоответствие параметров горных машин параметрам рудного потока по его качеству.

Как уже упоминалось в 1990 – 2015 гг. проявилась тенденция применения экскаваторов с существенным повышением вместимости ковшей. Если в 1980-е годы применялись экскаваторы с вместимостью ковшей 3 – 5 м³ и в отдельных случаях 8 м³ (при грузоподъемности автосамосвалов 45 – 75 т), то в 2000-е годы

- экскаваторы с вместимостью ковшей 8 – 12 м³ (в соответствии с увеличением грузоподъемности автосамосвалов до 110 – 120 т).

Известно, что применение экскаваторов с малой вместимостью ковшей позволяет уменьшить потери и разубоживание полезных ископаемых. Взаимосвязь между разубоживанием (засорением) рудного потока и параметрами ковшей экскаваторов установлена аналитически путем сопоставления объемов горной массы рудной и нерудной составляющих с емкостью ковшей, что позволяет выполнять оценку влияния параметров горного оборудования на эффективность технологических схем по качеству добываемой рудной массы [4].

Коэффициент засорения полезного ископаемого K_3 некондиционными его сортами или пустой породой при выемке из контактной зоны экскаватором с меньшей (из исследуемых) вместимостью ковша определяется по формуле

$$K_3 = \frac{k}{a \cdot \cos \beta} + k, \quad (6)$$

где k и a – размер стороны ковша экскаватора, $k = \sqrt[3]{V_{min}}$, $a = \sqrt[3]{V_{max}}$; V_{min} и V_{max} – емкость ковша экскаватора с минимальной и максимальной вместимостью.

На рисунке 4 представлена эмпирическая зависимость коэффициента засорения руды от вместимости ковша экскаватора (в качестве экскаватора с максимальным ковшом принят ЭКГ-20 с размером $a = 2,7$ м (см. выражение (6)).

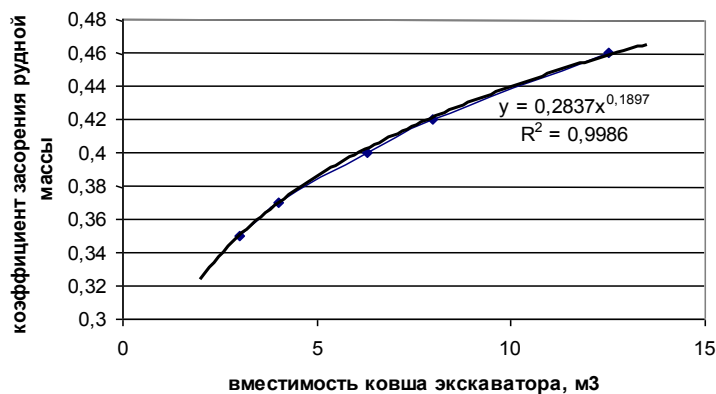


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента засорения руды от вместимости ковша экскаватора

Одним из путей повышения качества рудного потока является применение технологии предобогащения руды в карьере (ТПРК), суть которой заключается в том, что руда подвергается предварительному обогащению непосредственно в карьере, а его отходы размещаются в выработанном пространстве карьера или складировются совместно со вскрышными породами [4]. С целью снижения потерь и разубоживания рудной составляющей горной массы ТПРК можно применять:

- в контактных зонах с вмещающими породами;
- при выклинивании рудной залежи во вмещающие породы;

- при переходе безрудной прослойки до 10 м, которая согласно Инструкции [5] принимается в рудную массу;
- в сложноструктурных добычных забоях, где перемежаемость рудных слоев и безрудных прослоек более двух;
- для выемки некондиционных руд с целью увеличения производственной мощности карьера по руде.

ТПРК позволяет выборочно обогащать разубоженные и некондиционные руды на стационарных или мобильных дробильно-обогащительных комплексах [6], состав оборудования которых определяется параметрами предыдущих технологических процессов, качеством исходного сырья и установленными исходящими параметрами рудной массы.

Применение ТПРК обуславливает определенные требования к гранулометрическому составу входящего рудного потока.

Так, например, при оборудовании комплекса ТПРК дробилками крупного или среднего дробления, входящий поток по грансоставу должен соответствовать приемной щели такой дробилки, как было показано выше (см. выражение (3)), а исходящий поток по крупности должен соответствовать возможностям применяемых электромагнитных сепараторов (табл. 1).

Таким образом, при применении ТПРК также необходимо производить адаптацию параметров горных машин и оборудования с параметрами технологических процессов.

Таблица 1 - Электромагнитные сепараторы для крупнокусковой руды

| Производитель оборудования | Комплекс | Крупность горной массы, мм | Производительность комплекса, т/ч |
|--|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| ООО «ЭРГО плюс», Российская Федерация | Линия магнитной сепарации | 450 – 0 | 200-1500 |
| ООО «Научно-технический центр «Магнис ЛТД», Украина | КМР-1,2/1,4 ВР | 300 – 0 | 355 – 500 |
| | КМР-1,8/2 КО | 350 – 0 | |
| | КМР1,8/2 С | 350 – 0 | |
| Пекинский центральный научно-исследовательский институт по горному делу и металлургии, Китай | СТ-1016 | 300 – 100 | 150 – 200 |
| | СТ-1416 | 400 – 0 | 200 – 350 |
| Ma'anshan Baiyun Environment Protection Equipment Co., Ltd, Китай | CTDG 1515N CTDG 1214N | 350 – 40 | 600 – 800 500 |
| SIWEN MAGNETIC CO., Ltd, Китай | SD011 | 350 | 600 – 800 |
| | | 300 | 300 |
| | | 250 | 400 |
| Sala International AB, Швеция | BSA-1224-235 | 300 – 0 | 150 – 250 |

4. Взаимосвязь параметров горных машин с параметрам систем разработки

Существует проблема, которая характерна для всех карьеров, которыми разрабатывают крутопадающие месторождения полезных ископаемых. Она обусловлена тем, что расположение в карьере транспортных коммуникаций, перегрузочных пунктов, эксплуатация которых рассчитана до конца отработки

месторождения, не позволяет в полном объеме извлечь балансовые запасы руды. Особенно это характерно для глубоких железорудных карьеров Кривбасса, а также карьера Полтавского ГОКа, где применяют комбинированный автомобильно-железнодорожный и автомобильно-конвейерный транспорт.

Так, например, при отработке Глееватского месторождения ЦГОКа в граничном контуре карьера в целиках под транспортными коммуникациями остается 18 млн. т руды. В контурах Первомайского карьера СевГОКа под транспортными коммуникациями циклично-поточной технологии сосредоточено более 150 млн. т руды. При понижении горных работ объем законсервированных запасов увеличивается. Проблема выемки балансовых запасов, законсервированных под транспортными коммуникациями, при доработке глубоких карьеров не решена. В то же время законсервированные запасы можно существенно уменьшить путем перехода работы транспорта на более крутые углы подъема, уменьшив длину транспортных коммуникаций.

Так, главным направлением развития карьерного железнодорожного транспорта является увеличение углов подъема путей до 60–80 %. Из опыта промышленной эксплуатации железнодорожного транспорта при углах подъема путей в 60 % установлено, что при увеличении руководящих углов подъема уменьшается объем законсервированных запасов руды под транспортными коммуникациями, уменьшается объем вскрышных пород и горно-капитальных работ в карьерах.

В то же время, карьерный автомобильный транспорт, который широко применяют при добыче руды на глубоких карьерах, используют при углах, в основном, при 80–120 %, с соответствующими шириной автомобильных дорог и радиусами поворота. Это приводит к консервации запасов руды под транспортными коммуникациями в больших объемах. Кроме того, не позволяет увеличить углы откосов нерабочих бортов карьеров, к чему направлена основная мировая тенденция в области открытой разработки крутопадающих месторождений полезных ископаемых. Переход к применению автосамосвалов большой грузоподъемности и увеличение глубины отработки запасов усугубляет проблему, поскольку параметры транспортных коммуникаций увеличиваются в соответствии с увеличением габаритов автотранспорта, а добыча руды на глубоких горизонтах характеризуется стесненными условиями.

Выходом из создавшегося положения является совершенствование конструкции автосамосвалов, обеспечивающей повышение углов подъема внутрикарьерных дорог, что сократит длину транспортирования (рис. 5), и уменьшения радиуса поворотов, что сократит размеры площадок для поворота и разворота транспорта [7-8].

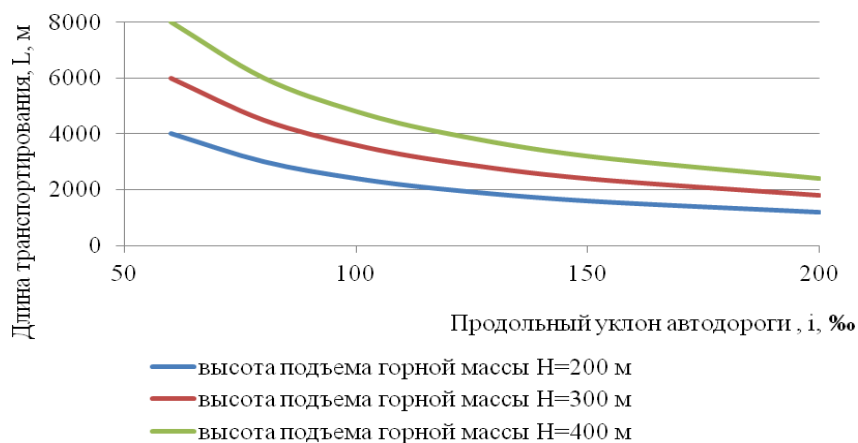


Рисунок 5 – Графики сокращения длины транспортирования горной массы при увеличении продольного уклона автодороги

Поскольку длина транспортирования горной массы по внутрикарьерным дорогам лимитируется условиями безопасного движения автотранспорта на подъем (без перегрева двигателя), то сокращение длины транспортирования при повышенном уклоне дорог позволит увеличить высоту подъема горной массы до перегрузочного пункта, то есть можно будет на некоторую величину произвести углубку карьера без переноса перегрузочного пункта на нижележащие горизонты.

Сокращение радиуса разворота автосамосвала и количества петлевых съездов (за счет увеличения уклона автодорог) позволяет увеличить угол откоса нерабочего борта карьера и с минимальным объемом вскрышных работ вскрыть законсервированные под транспортными коммуникациями запасы. Это позволяет увеличить площадь готовых к выемке запасов и продлить срок эксплуатации карьера.

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости адаптации параметров систем разработки и параметров применяемого автомобильного транспорта.

Выводы. Выполненные исследования и анализ параметров горных машин, технологий и процессов при открытом способе добычи руд показали их устойчивую взаимосвязь. Для достижения наибольшей эффективности разработки и надежности работы оборудования необходимо производить взаимную адаптацию параметров в системе технологических процессов и соответствующих им горным машинам «взрывное дробление массива – экскавация – механическое дробление горной массы – транспортирование», а также в системе технологии – горные машины «параметры систем разработки – применяемый экскаватор – применяемый транспорт».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития / М.С. Четверик, В.В. Перегудов, А.В. Романенко [и др.]. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 356 с.
2. Четверик, М.С. Перспективные технологии добычи руд в глубоких карьерах с минимальными энергетическими затратами / М.С. Четверик, Е.В. Бабий // Збірник наукових праць за результатами

роботи II Міжнародної науково-технічної конференції. – Кривий ріг: ФОП Чернявський Д.О., 2012. – С. 97-98.

3. Перспективы применения крутонаклонных конвейеров при циклично-поточной технологии в условиях глубоких карьеров Кривбасса / А.Ф. Булат, М.С. Четверик, Е.В. Бабий [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2014.- № 6. - С. 73-78.

4. Бабий, Е.В. Технология предобогащения железных руд в глубоких карьерах / Е.В. Бабий. – К.: Наукова думка, 2011. – 184 с.

5. Отраслевая инструкция по определению, учету и нормированию потерь руды при разработке железорудных, марганцевых и хромитовых месторождений на предприятиях Министерства черной металлургии СССР. – Белгород: ВИОГЕМ, 1975. – 68 с.

6. Повышение производственной мощности карьера с применением комплекса предобогащения / М.С. Четверик, Е.В. Бабий, В.В. Терещенко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2013.- № 3. - С. 96-101.

7. Параметры транспортных коммуникаций на глубоких карьерах при применении усовершенствованных автосамосвалов / К.М. Басс, В.В. Кривда, Д.В. Швец [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2014.- № 4.- С. 53-57.

8. Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня / К.М. Басс, В.В. Кривда, Е.А. Бубнова [и др.]. - Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2014 – 30 с.

REFERENCES

1. Chetverik, M.S., Peregudov, V.V., Pomanenko, A.V. et all. (2012), *Tsiklichnono-potochnaya tekhnologiya na glubokikh karerakh. Perspektivy razvitiya* [Cyclic-flow technology in deep pits. prospects of development], Dionis, Krivoy Rog, Ukraine.

2. Chetverik, M.S. and Babiy, Ye.V. (2012), “Promising ore mining technology in deep pits with minimum energy consumption”, *Zbirnyk naukovykh prats za rezultatamy roboty II Mizhnarodnoi konferentsii* [Proceedings of the results of the Second International Scientific Conference], *Stalyi rozvytok promyslovosti i suspilstva* [Sustainable development of industry and society], Krivoy Rog, Ukraine, 13-16 may 2012, pp. 97-98.

3. Bulat, A.F., Chetverik, M.S., Babiy, Ye.V., Vilkul, Yu.G. and Stankov A.P. (2014), “Prospects for the use of high-angle conveyors with cyclic-flow technology in conditions of deep pits Kryvbas”, *Metallurgical and mining industry*, no. 6, pp. 73-78.

4. Babiy Ye.V. (2011), *Technologiya predobogashcheniya zheleznykh rud v glubokikh karyerakh* [The technology at the iron ore pre-enrichment in deep pits], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.

5. VIOGEM (1975), *Otraslevaya instruktsiya po opredeleniyu, uchetu i normirovaniyu poter rudy pri razrabotke zhelezorudnykh, margantsevykh i khromitovykh mestorozhdeniy na predpriyatiyakh Ministerstva chernoy metallurgii SSSR* [Industry User definition, accounting and valuation of losses in developing iron ore, manganese and chromite deposits in the enterprises of the Ministry of ferrous metallurgy of the USSR], Belgorod, USSR.

6. Chetverik, M.S., Babiy, Ye.V., Tereshchenko, V.V. and Levchenko, Ye.S. (2013), “Increasing production capacity quarry using complex pre-enrichment”, *Metallurgical and mining industry*, no. 3, pp. 96-101.

7. Bass, K.M., Krivda, V.V., Shvets, D.V. and Babiy, Ye.V. (2014), “Parameters of transport communications in deep pits in the application of advanced dump”, *Metallurgical and mining industry*, no. 4, pp. 53-57.

8. Bass, K.M., Krivda, V.V., Bubnova.Ye.A., Babiy, Ye.V. and Levchenko, Ye.S. (2014), *Rekomendatsii po opredeleniyu ratsionalnykh parametrov sistem razrabotki glubokikh karyerov s uchetom primeneniya transportnogo oborudovaniya novogo technicheskogo urovnya* [Recommendations for the definition of rational parameters of the development of deep pits systems based on the use of transport equipment a new technological level], *Ekonomika*, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Четверик Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, chetverik.mihail@inbox.ru.

Бабий Екатерина Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

старший научный сотрудник в отделе Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, katebabi@yandex.ru.

Бубнова Елена Анатольевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, bubnova@nas.gov.ua.

About the authors

Chetverik Mikhail Sergeevich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Head of Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, chetverik.mihail@inbox.ru.

Babiy Katerina Vasilevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, katebabi@yandex.ru.

Bubnova Yelena Anatolevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, bubnova@nas.gov.ua.

Анотація. Стаття присвячена актуальній проблемі невідповідності параметрів технологій, процесів і гірничотранспортного обладнання, що приводить до неефективного використання машин, їх зносу, а також до економічної недоцільності виїмки руд з глибоких горизонтів кар'єрів. У статті проаналізовано параметри таких технологічних процесів як буропідривні роботи, екскавація, механічне дроблення, транспортування гірської маси з урахуванням послідовності їх виконання і комплексів обладнання, що застосовується. Встановлено основні залежності між послідовними процесами і необхідність їх взаємної адаптації. Показано, що параметри застосовуваного гірничотранспортного устаткування обмежують розвиток гірничих робіт в глибину без додаткового розносу бортів кар'єру, в зв'язку з чим рекомендується удосконалити обладнання для забезпечення можливості його роботи в умовах обмеженого простору.

Ключові слова: кар'єр, технологія, технологічні процеси, гірниче обладнання, параметри, гранулометричний склад.

Abstract. The article covers a live problem of mismatch between parameters of technologies, processes and mining equipment, which results in an inefficient use of machines, their rapid wear and tear, and uneconomical ore extraction from the deep horizons of the quarries. Parameters of such processes as blasting, excavation, mechanical crushing and transportation of the rock mass are analyzed in the article with taking into account the job sequencing and complexes of currently used equipment. The basic relationship between successive processes and necessity of their mutual adaptation is formulated.

It is shown that in case of no additional spacing between the pit walls, parameters of currently used transport equipment restrain further advancing of mining operations into the depth, and therefore, it is recommended to improve the equipment in order it could operate in the restricted space.

Keywords: quarry, technology, processes, mining equipment, parameters, particle-size distribution.

Стаття поступила в редакцію 26.01.2016

Рекомендовано к печати чл.-корр. НАН Украины Э.И. Ефремовым