УДК 622.271.3.06:658.527"75".004.15 DOI 10.21440/2307-2091-2017-1-72-75

УЧЕТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ЦПТ

А. В. Семёнкин

Accounting for time factor in determining the efficiency of application of cyclic-and-continuous technology complexes

A. V. Semenkin

Earlier studies on the efficiency of the use of different equipment of cyclic-and-continuous technology (CCT) (conveyor, crushing, rattling, etc.) for any quarries do not have a general idea of the preferred conditions of use of CCT systems in various mining and technical conditions. In this regard, the aim of this paper is to establish the dependences of change in the CCT systems cost from major mining and technical conditions (annual capacity, lifting height and form of the rock mass), taking into account the time factor. Their analysis will allow substantiating the rational conditions for the use of these complexes in comparison with the base variant – excavator-automobile complex. This article describes accounting of the time factor in the analysis of exploitation options for complexes of cyclical and cyclic-and-continuous technology (CCT) for open cast mining of solid minerals deposits. Author considers the excavator-automobile complex EAC) as a complex of cyclical technology. Accounting for the time factor takes place during the calculation of the exploitation cost of CCT and EAC complexes. The study substantiates optimization period and reduction factors (discount rate) of capital and operating costs. The reduction coefficient of capital costs takes into account the rise of equipment price over time, which is mainly due to the inflationary processes. In calculations, this ratio is equal to 1.06. The peculiarities of exploitation of various equipment stipulate the reduction coefficient of operating costs. Based on the operating experience of mining transportation equipment for quarries, reduction coefficient for dump trucks with carrying capacity of 45 and 80 tons in calculations is 1.2 and 1.15, respectively, and for crushing, conveyor and excavating equipment it is 1.06. By graphic dependences of the cost changes on the example of complexes usage in the development of bedrock overburden author established that at the same tendencies of relative unit costs change for the current year and for the discounted, the latter substantially increase. The intensity of increase of the relative discounted costs of CCT complexes is lower than costs of EAC complexes. For the CCT complexes, discounted costs in considered conditions increase by 1.5–1.7 times, and for the EAC complexes – by 1.7–2 times. The research results can later be used in the justification of preferred terms of use of the CCT complexes, and are also useful for employees of mining enterprises, scientific-research and design organizations.

Keywords: excavator-automobile complex; cyclic-and-continuous technology complex; time factor; costs reduction (discounting).

Выполненные ранее исследования по эффективности использования различного оборудования циклично-поточной технологии (ЦПТ) (конвейерного, дробильного, грохотильного и др.) для каких-либо карьеров не позволяют составить общее представление о предпочтительных условиях применения комплексов ЦПТ в различных горнотехнических условиях. В связи с этим целью данной работы является установление зависимостей изменения затрат на комплексы ЦПТ от основных горнотехнических условий (годовая производительность, высота подъема и вид горной массы) с учетом фактора времени. Их анализ позволит обосновать рациональные условия применения этих комплексов в сравнении с базовым вариантом экскаваторно-автомобильного комплекса. В статье рассмотрен учет фактора времени при анализе вариантов эксплуатации комплексов цикличной и циклично-поточной технологии (ЦПТ) открытых горных работ при отработке месторождений твердых полезных ископаемых. В качестве комплекса цикличной технологии рассмотрен экскаваторно-автомобильный комплекс (ЭАК). Учтен фактор времени при расчете затрат на эксплуатацию комплексов ЦПТ и ЭАК. В результате проведенных исследований обоснованы период оптимизации и коэффициенты приведения (норма дисконта) капитальных и эксплуатационных затрат. Коэффициент приведения капитальных затрат учитывает удорожание оборудования с течением времени, что в основном определяется инфляционными процессами. В расчетах этот коэффициент принят равным 1,06. Коэффициент приведения эксплуатационных затрат обусловлен особенностями эксплуатации различного оборудования. На основании опыта эксплуатации горнотранспортного оборудования карьеров коэффициент приведения для автосамосвалов грузоподъемностью 45 и 80 т в расчетах принят равным 1,2 и 1,15 соответственно, а для дробильного, конвейерного и экскаваторного оборудования 1,06. По графическим зависимостях изменения затрат на примере использования комплексов при разработке скальных вскрышных пород установлено, что при одинаковой тенденции изменения удельных относительных затрат на расчетный год и дисконтированных последние существенно увеличиваются. При этом интенсивность повышения относительных дисконтированных затрат на комплексы ЦПТ ниже, чем на ЭАК. Для комплексов ЦПТ дисконтированные затраты в рассмотренных условиях увеличиваются в 1,5–1,7 раза, а для ЭАК в 1,7–2 раза. Результаты исследований будут использованы в дальнейшем при обосновании предпочтительных условий применения комплексов ЦПТ, а также будут полезны для работников горнодобывающих предприятий, научно-исследовательских и проектных организаций.

Ключевые слова: экскаваторно-автомобильный комплекс; комплекс циклично-поточной технологии; фактор времени; приведение (дисконтирование) затрат.

Циклично-поточная технология является энерго- и ресурсосберегающей при разработке глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых. Поэтому для более широкого применения необходимо научное обоснование рациональных условий использования комплексов этой технологии.

До настоящего времени было проведено множество работ по сравнению различных видов транспорта. Выполненные ранее исследования, основанные на частных примерах оценки эффективности ЦПТ в сравнении с базовым вариантом (автомобильным, железнодорожным или другим видом транспорта), исследования эффективности и области применения различных типов конвейеров на открытых разработках, не позволяют достаточно обоснованно оценить рациональные условия применения комплексов указанной технологии [1].

Одним из основных критериев оценки эффективности применения того или иного вида транспорта являются удельные эксплуатационные и капитальные затраты.

В результате исследований [2] по установлению зависимостей изменения эксплуатационных и капитальных затрат на перевозку горной массы при использовании комплексов ЦПТ и ЭАК получены расчетные значения затрат на перемещение руды и скальных вскрышных пород для различных условий гипотетического железорудного карьера.

На основе экономико-математической модели [3] определены затраты комплексов ЦПТ при годовой производительности карьера 5, 10, 20, 30 млн т/год и высоте подъема скальной горной массы конвейерным транспортом 100–600 м. Высота подъема горной массы сборочным автотранспортом от забоя до перегрузочного пункта принята равной 80 м. При производительности карьера 5–20 млн т/год в соответствии с рекомендациями [4] приняты экскаваторы с вместимостью ковша 5 м^3 и автосамосвалы грузоподъемностью 45 т. При производительности 30 млн т/год приняты экскаваторы с вместимостью ковша 10 м^3 и автосамосвалы грузоподъемностью 80 т. Для дробления горной массы выбраны различные типы дробильных установок в комплексах ЦПТ, опыт использования подобного дробильного оборудования в конкретных условиях описан в [5, 6].

Для расчета затрат и выбора оборудования ЭАК за основу принята экономико-математическая модель, изложенная в [4]. По данной модели были проведены расчеты при тех же

производительностях карьера и высоте подъема скальной горной массы автосамосвалами 180–680 м. Автосамосвалы и экскаваторы приняты такие же, как и при использовании комплекса ЦПТ.

В связи с ограниченным доступом к информации, являющейся коммерческой тайной предприятий, расчеты сделаны в ценах на 1 января 1998 г. Для дальнейшего анализа затраты переведены в относительные единицы. Это дает возможность ориентироваться в затратах текущего времени с допущением, что они увеличиваются по всем статьям расходов пропорционально с одинаковым коэффициентом удорожания. При переводе общих затрат по отдельным статьям расходов в относительные единицы за 100 % приняты общие капитальные затраты при разработке скальных вскрышных пород с применением ЭАК при высоте подъема горной массы 180 м и производительности карьера 5 млн т/год. При переводе удельных затрат в относительные единицы за 100 % приняты капитальные удельные затраты при разработке скальных вскрышных пород для упомянутого варианта.

Расчеты капитальных и эксплуатационных затрат при использовании комплексов ЦПТ и ЭАК выполнены без учета затрат на разнос борта. Это связано с тем, что при размещении дробильно-конвейерного комплекса (ДКК) на конечных бортах карьера для образования площадок под дробильно-перегрузочные пункты (ДПП) необходимо производить разнос бортов карьера. В последнее время в ИГД УрО РАН разработаны технологические схемы расположения ДПП на временно нерабочих участках практически без разноса борта карьера. А стационарные траншеи (полутраншеи) под установку конвейерных линий проходятся с максимальным совмещением их основания с наклонными предохранительными бермами, заменяющими участки горизонтальных предохранительных берм [7].

По затратам на расчетный год возможно определение рациональных условий применения комплексов ЦПТ и ЭАК, но при этом следует учитывать срок окупаемости больших капитальных затрат на комплекс ЦПТ за счет меньших эксплуатационных издержек. Этот срок окупаемости представляет отношение разницы в капитальных затратах между комплексами ЦПТ и ЭАК к разнице в эксплуатационных затратах между ЭАК и ЦПТ. Очевидно, что комплексы ЦПТ имеют предпочтительное применение в условиях, когда капитальные затраты на них меньше затрат на ЭАК. Также будет эффективным использование комплексов ЦПТ в условиях, когда положительная разница в капитальных затратах между комплексами ЦПТ и ЭАК окупается в течение одного года за счет разницы в эксплуатационных затратах между комплексами ЭАК и ЦПТ.

Исследования показали, что при производительности карьера 5 млн т/год и высоте подъема горной массы 100 и 600 м разница в капитальных затратах между вариантами использования комплексов ЦПТ и ЭАК окупается за счет разницы в эксплуатационных затратах за 0,6 года. В других случаях, когда капитальные затраты на комплексы ЦПТ выше капитальных затрат на ЭАК, разница в этих затратах погашается не более чем за 0,5–0,6 года. При равенстве капитальных затрат на комплексы ЦПТ и ЭАК эффективность комплексов ЦПТ очевидна.

В случаях, когда положительная разница в капитальных затратах окупается за какой-либо период больше года, возникает некоторая неопределенность в оценке эффективности рассматриваемых комплексов. Эта неопределенность устраняется, если за критерий эффективности принять сумму удельных капитальных и эксплуатационных затрат, рассчитанных за период оптимизации. Для этого необходимо все затраты за период оптимизации привести к одному моменту времени. Рекомендуется принимать период оптимизации от 7 до 20 лет [8]. Для дисконтирования необходимо действительные затраты каждого года умножить на соответствующий коэффициент приведения прошлых или будущих лет (в зависимости от того времени, когда были сделаны затраты). Основой для приведения стали значения капитальных и эксплуатационных затрат на расчетный год при использовании комплексов ЦПТ и ЭАК.

При анализе вариантов с применением комплексов ЦПТ и ЭАК на большие периоды разница в затратах существенна в первые годы, затем эта разница сводится к минимуму. Поэтому за период оптимизации принят срок службы автосамосвалов, равный в среднем восьми годам [9], как вид оборудования, имеющий наименьший срок службы. В качестве момента приведения выбран последний год периода оптимизации. Для анализа использовано среднее значение затрат за период оптимизации.

Следует иметь в виду, что коэффициенты приведения затрат, обусловленные особенностями эксплуатации разного оборудования, могут отличаться своей величиной. Как свидетельствует практика, эксплуатационные затраты на автомобильный транспорт ежегодно повышаются. Так, в условиях АК АЛРОСА коэффициент удорожания 1 т · км транспортной работы для разных моделей автосамосвалов в течение 5 лет изменяется в интервале 1,81–2,63. Это определяет ежегодный коэффициент увеличения эксплуатационных затрат в пределах 1,13–1,21 [4]. Этот коэффициент учитывает изменение затрат в связи с ежегодным снижением производительности из-за износа автосамосвалов, изменения расстояния транспортирования в соответствии с перемещением забоев в карьерном пространстве, с удорожанием запасных частей для проведения ремонтов из-за инфляции и по другим причинам, в том числе связанным с организацией производства. При приведении относительных удельных эксплуатационных затрат с применением комплексов ЦПТ и ЭАК для автосамосвалов грузоподъемностью 45 и 80 т принят коэффициент приведения, равный 1,2; 1,15 соответственно.

Эксплуатационные затраты на другое оборудование комплексов ЦПТ и ЭАК – экскаваторы, дробильное и конвейерное – могут повышаться главным образом из-за инфляции. Это обусловлено тем, что, как показывает практика, годовая производительность рассматриваемого оборудования в течение длительного периода времени мало изменяется при проведении плановых ремонтов в соответствии с регламентами заводов-изготовителей. В отдельные промежутки времени производительность экскаваторов может изменяться незначительно в связи с меняющимися условиями экскавации горной массы в забоях. Но годовую производительность экскаваторов можно считать практически постоянной. Дробильное и конвейерное оборудование в течение длительного периода времени является стационарным и перерабатывает весь объем горной массы, поступивший со сборочного автомобильного транспорта. Несмотря на неравномерность часовой, суточной, месячной производительности конвейера, годовая является постоянной на уровне плановых заданий. Поэтому при приведении затрат для экскаваторов, дробильного оборудования и дробильно-конвейерного комплекса принят коэффициент приведения, равный коэффициенту инфляции.

Дисконтирование капитальных затрат к последнему году оптимизации показывает их стоимость в будущем. Коэффициент их приведения должен учитывать удорожание оборудования в связи с инфляцией. В расчетах коэффициент приведения принят равным коэффициенту инфляции 1,06.

По полученным результатам были построены графики (рис. 1) изменения приведенных (дисконтированных) относительных удельных затрат в зависимости от высоты подъема горной массы при разных годовых производительностях комплексов с использованием ЭАК при разработке скальных вскрышных пород и использованием комплекса ЦПТ с традиционным ленточным конвейером.

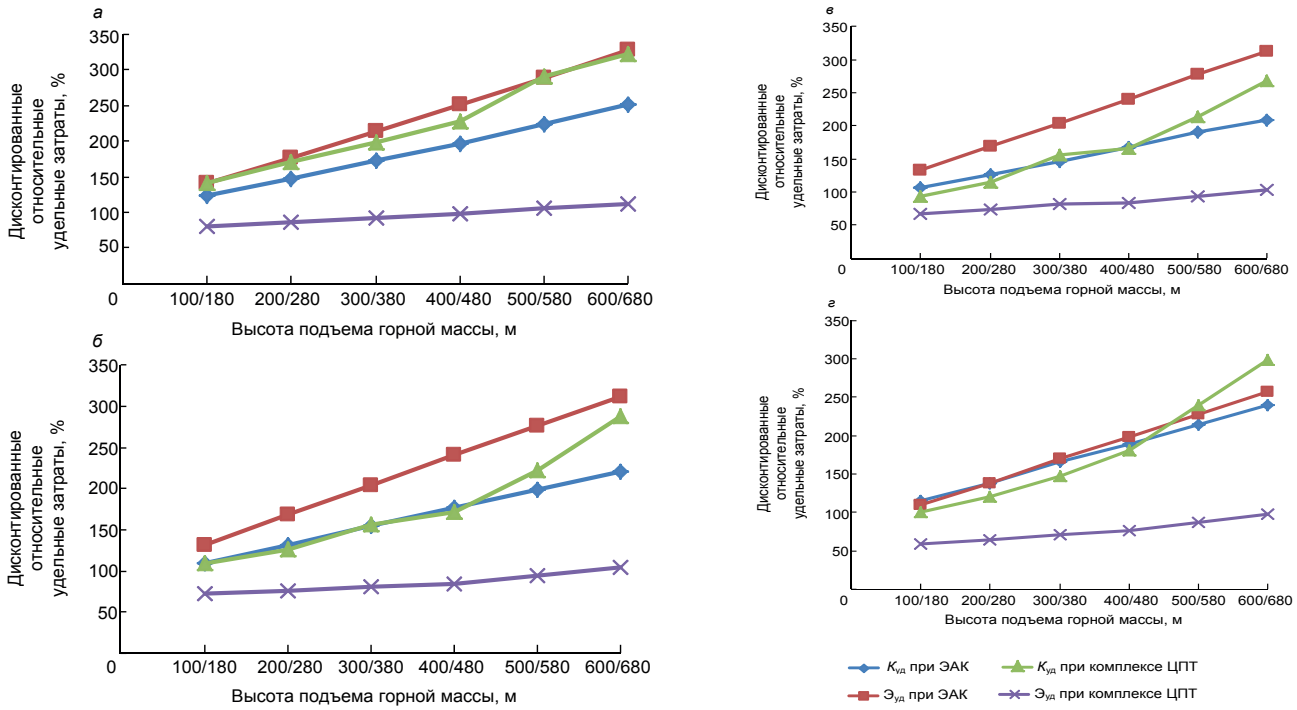

Рисунок 1. Графики изменения дисконтированных относительных удельных затрат при разработке вскрышных пород в зависимости от высоты подъема горной массы. *а* – при годовой производительности комплексов 5 млн т/год; *б* – при годовой производительности комплексов 10 млн т/год; *в* – при годовой производительности комплексов 20 млн т/год; *г* – при годовой производительности комплексов 30 млн т/год. В числителе – высота подъема горной массы конвейером в комплексе ЦПТ. Высота подъема горной массы автосамосвалами от забоя до перегрузочного пункта в комплексе ЦПТ составляет 80 м. В знаменателе – высота подъема горной массы автосамосвалами в ЭАК.

В результате выполненных исследований установлено, что относительные удельные дисконтированные затраты и на расчетный год имеют одинаковую тенденцию изменения – они увеличиваются с ростом высоты подъема горной массы и снижаются с ростом годовой производительности. Но дисконтированные капитальные и эксплуатационные затраты значительно выше по сравнению с затратами на расчетный год. Так, с использованием комплексов ЦПТ и ЭАК дисконтированные капитальные затраты по сравнению с затратами без приведения выше в 1,2 раза на каждых 100 м на высоте подъема 100–600 м и производительности от 5 до 30 млн т/год. При использовании комплекса ЦПТ дисконтированные эксплуатационные затраты по сравнению с эксплуатационными затратами без приведения с производительностью карьера от 5 до 20 млн т/год и высоте подъема горной массы 100 и 600 м выше в 1,7 и 1,6 раза соответственно. При производительности 30 млн т/год и высоте подъема 100 и 600 м – в 1,6 и 1,5 раза. При применении ЭАК дисконтированные эксплуатационные затраты по сравнению с эксплуатационными затратами без приведения с производительностью карьера от 5 до 20 млн т/год и высотой подъема горной массы 100 и 600 м увеличились в 1,9 и 2 раза. При производительности 30 млн т/год и высоте подъема 100 и 600 м – в 1,7 раза.

Обоснованы коэффициенты приведения (норма дисконта) капитальных и эксплуатационных затрат с учетом срока и опыта эксплуатации оборудования сравниваемых комплексов ЦПТ и ЭАК на карьерах. Так, для автосамосвалов грузоподъемностью 45 и 80 т принят коэффициент приведения 1,2; 1,15 соответственно. Для экскаваторов, дробильного и конвейерного оборудования принят коэффициент приведения, равный коэффициенту инфляции, так как их годовую производительность можно считать постоянной. На капитальные затраты влияние оказывает в основном инфляция. Коэффициент инфляции принят равным 1,06.

Дисконтирование (приведение) затрат позволяет оценивать эффективность применения комплексов ЦПТ и ЭАК по суммарным капитальным и эксплуатационным затратам, что несомненно уточнит рациональные условия применения этих комплексов в сравнении с оценкой предпочтительных условий применения раздельно по капитальным и эксплуатационным затратам с учетом срока окупаемости разницы в капитальных затратах за счет меньших эксплуатационных затрат на оборудование комплексов ЦПТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кармаев Г. Д. Исследование эффективности и областей применения различных типов конвейеров на открытых разработках: дис. … канд. техн. наук. Свердловск, 1978. 188 с.
2. Семенкин А. В. Изменение расчетных затрат при разработке карьера с применением экскаваторно-автомобильного комплекса и комплекса циклично-поточной технологии // Проблемы недропользования. 2015. № 3. С. 59–66.
3. Кармаев Г. Д., Глебов А. В. Выбор горно-транспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. 296 с.
4. Кулешов А. А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. М.: Недра, 1980. 317 с.
5. Agafonov Y., Suprun V., Pastikhin D., Radchenko R. Problems and prospects of cyclic-and-continuous technology in development of large ore- and coalfields // Proceeding of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining. Aachen: Springer, 2014. P. 437–445.
6. Graber G. Advancement of mobile conveying solutions for IPCC and waste handling operations // In-Pit Crushing and Conveying: International Mining (13–15 October, 2013). Cologne, Germany, 2013.
7. Яковлев В. Л., Смирнов В. П., Берсенев В. А. Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. 42 с.
8. Васильев М. В., Яковлев В. Л., Демкин В. Б. и др. Выбор вида карьерного транспорта (методика). М.: Недра, 1973. 192 с.
9. Ложечко Л. Б., Щербина А. А., Павленко Г. И., Глебов А. В., Кармаев Г. Д. Рациональный срок эксплуатации карьерных самосвалов // Проблемы карьерного транспорта: материалы IX междунар. науч.-практ. конф. (9–12 окт. 2007 г.). Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 117–122.

REFERENCES

1. Karmaev G. D. 1978, *Issledovanie effektivnosti i oblastey primeneniya razlichnykh tipov konveyerov na otkrytykh razrabotkakh: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Research of efficiency and field of applications of different types of conveyors at open cast mining: thesis of candidate of technical sciences], Sverdlovsk, 188 p.

2. Semenkin A. V. 2015, *Izmenenie raschetnykh zatrat pri razrabotke kar'era s primeneniem ekskavatorno-avtomobil'nogo kompleksa i kompleksa tsiklichno-potochnoy tekhnologii* [Changing the estimated costs in the development of quarry by using excavator-automobile complex and cyclic-and-continuous technology complex]. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of subsoil use], no. 3, pp. 59–66.

3. Karmaev G. D., Glebov A. V. 2012, *Vybor gorno-transportnogo oborudovaniya tsiklichno-potochnoy tekhnologii kar'erov* [Selection of mining equipment with cyclic-and-continuous technology for quarries], Ekaterinburg, 296 p.

4. Kuleshov A. A. 1980, *Moshchnye ekskavatorno-avtomobil'nye kompleksy kar'erov* [Powerful excavator-automobile complexes for quarries], Moscow, 317 p.

5. Agafonov Y., Suprun V., Pastikhin D., Radchenko R. 2014, Problems and prospects of cyclic-and-continucus technology in development of large ore- and coalfields. Proceeding of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining, Aachen, pp. 437–445.

6. Graber G. 2013, Advancement of mobile conveying solutions for IPCC and waste handling operations. International Mining. In-Pit Crusher and Conveying 13–15 October 2013, Cologne.

7. Yakovlev V. L., Smirnov V. P., Bersenev V. A., 2003, *Ustroystvo drobil'no-konveyernykh kompleksov na glubokikh kar'erakh* [The structure of crushing and conveyor complexes in deep quarries], Ekaterinburg, 42 p.

8. Vasil'ev M. V., Yakovlev V. L., Demkin V. B., Slavinskiy V. S., Popov V. Yu., Serebrennikov K. N., Popov V. M., Konyukhov L. V., Vorob'ev G. P. 1973, *Vybor vida kar'ernogo transporta (metodika)* [Choosing the type of quarry transport (methodology)], Moscow, 192 p.

9. Lozhechko L. B., Shcherbina A. A., Pavlenko G. I., Glebov A. V., Karmaev G. D. 2008, *Ratsional'nyy srok ekspluatatsii kar'ernykh samosvalov* [Rational lifetime of dump trucks]. *Problemy kar'ernogo transporta: materialy IX mezhdunarod. nauchno-prakt. konf. 9–12 okt. 2007 goda* [Problems of career transport: materials of IX International Scientific Conference. October 9–12, 2007], pp. 117–122.

Александр Владимирович Семёнкин,
a.semenkin92@mail.ru
Институт горного дела УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58

Aleksandr Vladimirovich Semenkin,
a.semenkin92@mail.ru
Institute of Mining of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia