УДК 621.72

Семенкин А.В., младший научный сотрудник, **Антонов В.А.,** доктор техн. наук, главный научный сотрудник

Институт горного дела УрО РАН, 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58

E-mail: a.semenkin92@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО И КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА В УГЛУБЛЕННЫХ КАРЬЕРАХ

Аннотация: *Статья посвящена обоснованию выбора наиболее эффективной циклично-поточной технологии транспортирования горной массы в глубоких карьерах по сравнению с экскаваторно-автомобильным комплексом. Выбор проводится по критериям сравнения соответствующих технологических и эксплуатационных показателей данных комплексов. В них отношения удельной металлоемкости, удельной энергоемкости, отчислений за загрязнение атмосферы принимаются за значение меньше единицы, а отношение производительности труда – за значение больше единицы. Данные критерии рассматриваются как важные дополнения к известным ограничениям выбора циклично-поточной технологии, ранее установленным авторами по экономическому показателю затрат. В ходе исследования проведены экспериментальные дискретные оценки названных показателей и приведены результаты последующего моделирования их связей с основными эксплуатационными параметрами транспортных комплексов. В качестве основных параметров, влияющих на показатели, учтены годовая производительность транспортного комплекса и высота подъема горной массы. В экспериментальных оценках принят следующий ряд годовой производительности: 5, 10, 20, 30 млн. т/год. Высота подъема горной массы изменялась от 180 до 680 м с шагом 100 м. Модели созданы методом нелинейной функционально-факторной регрессии, отображающей с высокой достоверностью по коэффициенту детерминации 0,963-0,99 закономерности изменения показателей транспортных комплексов. По модельным отношениям технологических и эксплуатационных показателей согласно принятым критериям установлено, что ограничений на выбор и применение циклично-поточной технологии из-за их влияния не имеется.*

Ключевые слова: *циклично-поточная технология, экскаваторно-автомобильный комплекс, технологические параметры и показатели транспортирования, эксплуатационные показатели, глубокий карьер, регрессионная модель.*

Информация о статье: *принята 01 августа 2019 г.*
DOI: 10.26730/1816-4528-2019-3-27-32

Введение

По мере углубления карьеров энергоемкость и металлоемкость экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК), производящего подъем горной массы, существенно увеличиваются. Кроме того, растут объемы пылевыделения, выбросов вредных газов в атмосферу и, как следствие, компенсирующие отчисления горных предприятий за ее загрязнение [1]. Известной альтернативой, приводящей к положительным изменениям технико-экономических показателей транспортирования, является применение циклично-поточной технологии (ЦПТ). Соответствующие исследования приведены в работах [1–6]. Однако в них отмечены лишь частные случаи транспортирования на конкретных карьерах. Отсутствуют сведения о количественных связях показателей применения ЭАК и ЦПТ с такими наиболее значимо влияющими на них параметрами комплексов, как их производительность по горной массе Q и высота H ее подъема с рабочего горизонта, показывающими условия наиболее эффективного применения ЦПТ. В работе [7] эта проблема частично решена путем экспериментальных расчетов и моделирования изменений экономического показателя затрат $З_э$, $З_ц$,, необходимых для применения соответственно ЭАК и ЦПТ при разных значениях Q и H, заданных в соответствующих интервалах: от 5 до 30 млн. т/год и от 180 до 680 м. По критерию неравенства затрат $З_ц < З$, установлено, что лишь в карьерах с разнесенными бортами имеются интервалы параметров Q и H, ограничивающие эффективное применение ЦПТ. Для решения вопроса о выборе данной технологии этих сведений недостаточно, поскольку остается неизвестным влияние остальных технологических и эксплуатационных показателей транспортных комплексов ЭАК и ЦПТ.

В данной статье приведены результаты исследований отмеченных показателей комплексов ЭАК и ЦПТ. Проведена их сравнительная оценка по относительным критериям, которые рассматриваются как важные дополнения к ограничениям выбора ЦПТ по экономическому признаку затрат. В данных критериях отношения соответствующих показателей удельных металлоемкости, энергоемкости, отчислений за загрязнение атмосферы и производительности труда сравниваются с единицей.

Таблица 1. Параметры дискретных и модельных расчетов

Обозначение показателя	Среднеквадратичная $\sigma_э$ и (относительная) погрешность расчета показателя	Интервал допустимого коэффициента детерминации	Модели регрессии	
			Среднеквадратичная погрешность $\sigma_р$	Коэффициент детерминации R^2
Удельная металлоемкость				
$G_{вск}$	0,009 кг/т (0,02)	0,983–0,994	0,01 кг/т	0,986
$G_{руд}$	0,008 кг/т (0,02)	0,983–0,994	0,01 кг/т	0,989
$G_{цпт}$	0,0066 кг/т (0,02)	0,971–0,99	0,0054 кг/т	0,99
Удельная энергоемкость				
$N_{вск}$	0,064 Вт/т (0,02)	0,99–0,996	0,07 Вт/т	0,994
$N_{руд}$	0,081 Вт/т (0,025)	0,98–0,995	0,086 Вт/т	0,991
$N_{цпт}$	0,038 Вт/т (0,025)	0,941–0,981	0,042 Вт/т	0,963
Производительность труда				
$П_{эак}$	463 т/год (0,02)	0,997–0,999	486 т/год	0,998
$П_{цпт}$	1859,5 т/год (0,04)	0,982–0,994	2038 т/год	0,989
Отчисления за загрязнение атмосферы				
$S_{эак}$	45,9 % (0,07)	0,979–0,993	50,2 %	0,987
$S_{цпт}$	3,3 % (0,03)	0,994–0,998	3,1 %	0,998

Исследования проведены в порядке экспериментального дискретного оценивания названных показателей, моделирования их связей с параметрами транспортных комплексов и последующего анализа модельных отношений.

Экспериментальная оценка показателей транспортных комплексов

Экспериментальная оценка технологических и эксплуатационных показателей транспортных комплексов проводилась путем дискретных технологических расчетов. Рассматривались следующие десять показателей: удельная металлоемкость ЭАК при транспортировании вскрышных пород $G_{вск}$ и руды $G_{руд}$, а также комплекса ЦПТ - $G_{цпт}$; удельная энергоемкость ЭАК при транспортировании вскрышных пород $N_{вск}$ и руды $N_{руд}$, а также ЦПТ - $N_{цпт}$; производительность труда $П_{эак}$ комплекса ЭАК и $П_{цпт}$ технологии ЦПТ; отчисления за загрязнение атмосферы $S_{эак}$ и $S_{цпт}$ при применении, соответственно, ЭАК и ЦПТ.

Расчеты показателей проведены по схемам и алгоритмам, содержащимся в экономико-математических моделях [2, 8]. В качестве основных факторов, влияющих на формирование и изменение отмеченных показателей, учтены технологические параметры комплексов – их годовая производительность Q и высота подъема H горной массы. Они задавались следующими значениями: производительность Q – 5, 10, 20, 30 млн.т/год; высота подъема H – 180, 280, 380, 480, 580, 680 м. По рекомендациям Кулешова [8] в интервале производительности от 5 до 20 млн.т/год применены экскаваторы с вместимостью ковша 5 м^3 и автосамосвалы грузоподъемностью 45 т, а в ее интервале от 20 до 30 млн. т/год – экскаваторы с емкостью ковша 12 м^3 и автосамосвалы с грузоподъемностью 90 т. В результате расчетов получено по 24 экспериментальных дискретных значения каждого из показателей – G, N, П, S – комплексов ЭАК и ЦПТ. Значения показателя S представлены в относительном виде. Относительная погрешность расчетов показателей изменялась от 0,02 до 0,07 (см. таблицу 1).

В качестве примера полученных результатов на рис. 1 *а*, *в* показаны распределения экспериментальных дискретных значений показателей ЭАК и ЦПТ – отчисления за загрязнение атмосферы и, соответственно, производительности труда. Сравнение дискретных значений показателей позволяет оценивать их связи лишь приближенно. Для выявления более точных количественных закономерностей изменения показателей транспортных комплексов и их связей с параметрами Q, H проведено соответствующее регрессионное моделирование.

Моделирование показателей

Моделирование изменений и связей технологических и эксплуатационных показателей G, N, П, S транспортных комплексов ЭАК и ЦПТ с их годовой производительностью Q и высотой подъема H горной массы проведено по методологии нелинейной функционально-факторной регрессии [9, 10], включающей оценку допустимого интервала коэффициента детерминации создаваемой модели, функционально-факторный принцип ее формирования, оптимизацию параметров модели методами наименьших квадратов и приближений параболической вершины, проверку ее на достоверность по двухстороннему критерию допустимого коэффициента детерминации и нормам отклонений от экспериментальных значений.

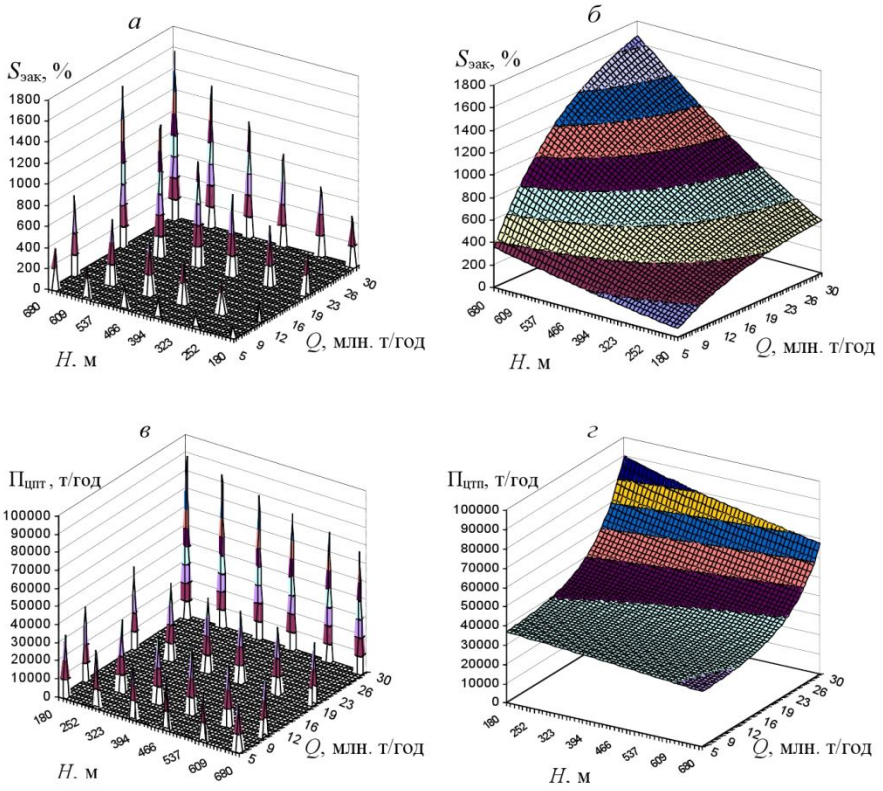

Рис. 1 – Распределения показателей $S_{эак}$, и $П_{цпт}$, полученные по результатам дискретных расчетов (а, в) и моделирования (б, г).

Интервалы допустимого коэффициента детерминации регрессионных моделей, рассчитанные по погрешностям $\sigma_э$ приведенных экспериментальных оценок с доверительной вероятностью 0,95, показаны в таблице 1. Общий функциональный вид модели каждого показателя сформирован с учетом факторов монотонного роста или спада его экспериментальных значений, происходящих вдоль осей аргументов Q и H и направленных к ним под углом. Влияния этих факторов описаны линейными, показательными и степенными функциями. В процессе приведения общего вида модели к конкретному математическому выражению коэффициенты, стоящие при функциях, рассчитаны методом наименьших квадратов, а параметры, содержащихся в функциях, – методом приближений параболической вершины. В результате получены следующие математические выражения показателей, описывающие в доверительном интервале указанных среднеквадратичных погрешностей $\sigma_р$ их изменения, происходящие при разных значениях технологических параметров Q и H.

Показатель удельной металлоемкости, кг/т

$$G_{цпт} = 0{,}6595 \cdot e^{-\frac{Q}{2}} + 2{,}24 \cdot 10^{-4} H - 0{,}0104 \cdot H^{0{,}015Q-0{,}15} + 0{,}24785 \pm 0{,}0054; \quad (1)$$

$$G_{руд} = 1{,}5 \cdot 10^{-35} e^{\frac{Q}{0{,}4}} + 10{,}365 \cdot 10^{-4} H^{0{,}89} - 0{,}0144 \cdot H^{0{,}028Q-0{,}4554} + 0{,}2778 \pm 0{,}01 ; \quad (2)$$

$$G_{вск} = -7{,}35 \cdot 10^{-36} e^{\frac{Q}{0{,}4}} + 8{,}81 \cdot 10^{-4} H^{0{,}91} - 3{,}72 \cdot 10^{-3} H^{0{,}025Q-0{,}2} + 0{,}2187 \pm 0{,}01. \quad (3)$$

Показатель удельной энергоемкости, Вт/т

$$N_{цпт} = -0{,}0167 \cdot Q^{0{,}95} + 0{,}011981 \cdot H^{0{,}914} - 0{,}01387 \cdot \frac{H^{0{,}883}}{Q^{0{,}0488}} + 1{,}276 \pm 0{,}042; \quad (4)$$

$$N_{руд} = -6{,}6 \cdot 10^{-29} e^{-\frac{Q}{0{,}526}} + H(0{,}00521 - 7{,}3 \cdot 10^{-7} e^{\frac{Q}{3{,}846}}) + 1{,}219 \pm 0{,}086 ; \quad (5)$$

$$N_{вск} = -6{,}6 \cdot 10^{-29} e^{-\frac{Q}{0{,}526}} + H(0{,}005234 - 7 \cdot 10^{-7} e^{\frac{Q}{3{,}846}}) + 1{,}53 \pm 0{,}07. \quad (6)$$

Показатель производительности труда, т/год

$$П_{цпт} = (808{,}5 - 243{,}26 \cdot H^{0{,}13})\ e^{\frac{Q}{5{,}882}} - 2{,}0202 \cdot H^{1{,}3} + 37943{,}5 \pm 2038 ; \quad (7)$$

$$П_{эак} = (\frac{10}{H^{0{,}3}} - 0{,}79)\ e^{\frac{Q}{2{,}941}} + \frac{385716{,}86}{H^{0{,}03}} - 305494{,}56 \pm 486 . \quad (8)$$

Показатель отчисления за загрязнение атмосферы, %

$$S_{цпт} = 26{,}34 \cdot Q^{0{,}637} + 0{,}0072 \cdot H^{0{,}95} - 42{,}14 \pm 3{,}1 ; \quad (9)$$

$$S_{эак} = 0{,}17437 \cdot H^{1{,}4} - (383{,}14 + 0{,}2032 \cdot H^{1{,}4}) e^{-\frac{Q}{13}} + 290{,}3 \pm 50{,}2. \quad (10)$$

На рис. 1 *б*, *г* представлены графические изображения моделей показателя отчислений за загрязнение атмосферы при применении комплекса ЭАК и, соответственно, производительности труда при использовании ЦПТ.

Коэффициенты детерминации полученных моделей показаны в таблице 1. Они входят в допустимый интервал, а их погрешности $\sigma_р$ соответствуют

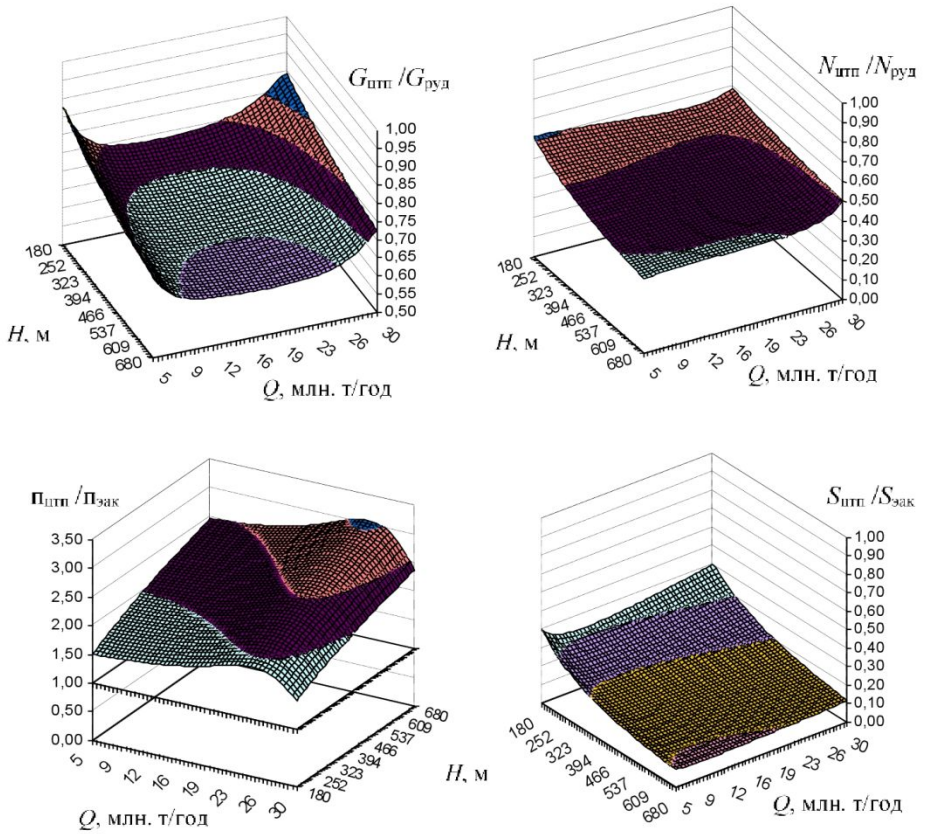

Рис. 2 – Распределения отношений показателей применения транспортных комплексов ЦПТ и ЭАК

погрешностям $\sigma_э$ экспериментальных значений показателей. Отклонения модельных показателей от их экспериментальных значений обладают свойствами нормального распределения и гомоскедастичности. Таким образом, можно убедиться, что представленные модели описывают изменение технологических и эксплуатационных показателей транспортных комплексов ЭАК и ЦПТ адекватно погрешности их экспериментальных оценок. Они статистически достоверны и в доверительном интервале указанных погрешностей выражают закономерности связей названных показателей с технологическими параметрами этих комплексов.

Сравнительный анализ показателей

Изменения технологических и эксплуатационных показателей транспортных комплексов ЭАК и ЦПТ, отображенные в полученных моделях, по виду нелинейные. Они существенно отличаются при разных значениях их параметров.

Так, показатель удельной металлоемкости $G_{цпт}$ по мере увеличения глубины карьера H увеличивается почти линейно, но с ростом производительности Q нелинейно и вогнуто уменьшается. Поэтому его значения изменяются от 0,24 кг/т (при H=180 м, Q=30 млн. т/год) до 0,45 кг/т (при H=680 м, Q=5 млн. т/год). Аналогичным образом характеризуются изменения этих показателей при применении транспортного комплекса ЭАК. Отличие состоит в том, что $G_{руд}$ изменяется от 0,28 до 0,62 кг/т, а $G_{вск}$ - от 0,25 до 0,55 кг/т.

Основные изменения удельной энергоемкости $N_{цпт}$ описываются степенными функциями, показатели которых близки к единице, поэтому поверхность ее распределения в области аргументов H, Q по форме приближена к плоскости, наклоненной под углом к их осям так, что значения $N_{цпт}$ изменяются от 1,08 Вт/т (при H=180 м, Q= 30 млн. т/год) до 1,78 Вт/т (при H=680 м). Изменения аналогичных показателей $N_{руд}$, $N_{вск}$ при применении ЭАК существенно отличаются. По мере роста высоты H они линейно увеличиваются, а в интервале производительности Q от 20 до 30 млн. т/год экспоненциально вогнуто уменьшаются. В результате при тех же аргументах $N_{руд}$ изменяется от 1,84 до 4,76 Вт/т (Q=5 млн. т/год), а $N_{вск}$ - от 1,79 до 4,71 Вт/т (Q=5 млн. т/год).

В связи с ростом производительности Q экспоненциально выпукло увеличивается производительность труда $П_{цпт}$ (см. рис. 1 *г*). По мере углубления рабочего горизонта карьера это увеличение частично спадает. Значения $П_{цпт}$ изменяются от 28800 т/год (при H=680 м, Q=5 млн. т/год) до 90450 т/год (при H=180 м, Q=30 млн. т/год). Характер изменений показателя $П_{эяк}$ аналогичен с той разницей, что его увеличение вдоль оси Q ослаблено. При этом значения $П_{эак}$ изменяются от 11680 т/год до 59950 т/год.

Отчисления за загрязнение атмосферы $S_{цпт}$ почти линейно, с небольшим угловым коэффициентом 0,0072 %/м, увеличиваются вдоль оси H и слабо изменяются в направлении роста Q. Значения $S_{цпт}$ изменяются от 32 % (при H=180 м, Q=5 млн. т/год) до 191 % (при H=680 м, Q=30 млн. т/год). В

противоположность этому показатель $S_{эак}$ с ростом H, Q вогнуто по экспоненте и степенной функции увеличивается намного больше (см. рис. 1 *б*), изменяясь от 80 % до 1670 %.

Интервалы параметров Q, H, при которых наиболее эффективно применение циклично-поточной технологии транспортирования по сравнению с экскаваторно-автомобильным комплексом, оцениваются по следующим относительным критериям:
$\frac{G_{цпт}}{G_{руд}} < 1$ (11) , $\frac{G_{цпт}}{G_{вск}} < 1$ (12), $\frac{N_{цтп}}{N_{руд}} < 1$ (13) , $\frac{N_{цпт}}{N_{вск}} < 1$ (14), $\frac{П_{цпт}}{П_{эак}} > 1$ (15), $\frac{S_{цпт}}{S_{эак}} < 1$ (16).

Данные отношения рассчитаны как частное, полученное от цифрового деления их модельных значений. На графиках распределения отношений $G_{цпт}/G_{руд}$, $N_{цпт}/N_{руд}$, $П_{цпт}/П_{эак}$ и $S_{цпт}/S_{эак}$, приведенных на рис. 2, показано, что во всем интервале изменения параметров Q и H приведенные критерии выполняются. Распределение отношения $G_{цпт}/G_{вск}$ аналогично виду $G_{цпт}/G_{руд}$, но превышает его по вертикали так, что максимальный отсчет лишь ненамного меньше единицы. Распределение отношения $N_{цпт}/N_{вск}$ мало отличается от вида $N_{цпт}/N_{руд}$. Из приведенных графиков следует, что относительный показатель удельной металлоемкости $G_{цпт}$ принимает наименьшие значения (0,6-0,7 от показателя ЭАК) в интервалах параметров: Q от 10 млн. т/год до 20 млн. т/год и H от 400 м до 680 м. Показатель производительности труда $П_{цпт}$ по максимуму, в три раза, превышает аналогичный показатель ЭАК при значениях $Q \approx 25$ млн. т/год и H более 600 м. Показатель загрязнения атмосферы $S_{цпт}$ при углублении карьера до 680 м становится в 10 раз меньше, чем $S_{эак}$.

Оценивая результаты сравнения показателей ЦПТ и ЭАК, следует учесть, что их относительная погрешность состоит из суммы относительных погрешностей моделей, используемых в соответствующих критериях при делении этих показателей. По данным таблицы 1 относительная погрешность сравнения показателей G, N, П, и S составляет соответственно 4 %, 5 %, 6 % и 10 %.

Заключение

В результате экспериментально-дискретных расчетов технологических и эксплуатационных показателей применения в рудных карьерах транспортных комплексов ЦПТ, ЭАК и проведенного на их основе нелинейного функционально-факторного регрессионного моделирования выявлены с высокой достоверностью по коэффициенту детерминации 0,963–0,99 математические выражения закономерностей их изменений при разных параметрах комплексов. В результате сравнения данных показателей ЦПТ и ЭАК по удельной энергоемкости, металлоемкости, а также производительности труда и отчислениям за загрязнение атмосферы доказано, что в интервалах производительности по горной массе от 5–30 млн. т/год и высоты ее подъема 180–680 м ограничений для выбора транспортного комплекса ЦПТ не имеется. Его применение наиболее эффективно при всех приведенных значениях технологических параметров.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00581-19-00, тема №0405-2019-0005

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов В.П. Теория карьерного большегрузного автотранспорта / В.П. Смирнов, Ю.И. Лель. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 355 с.

2. Кармаев Г.Д. Выбор горно-транспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров / Г.Д. Кармаев, А.В. Глебов. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – 296 с.

3. Симкин Б.А. Комплексная механизация процессов циклично-поточной технологии на карьерах /Б.А. Симкин, А.А. Дихтяр, А.П. Зиборов, Н.Н. Чаплыгин, В.П. Каменщук, В.И. Шубодеров. – Москва: Недра, 1985. – 195 с.

4. Дребенштедт, К. Мировой опыт эксплуатации комплексов циклично-поточной технологии с внутрикарьерным дроблением / К.Дребенштедт, Р. Риттер, В.И. Супрун, Ю.Г. Агафонов // Горный журнал. – 2015. – №11. – С. 81–87.

5. Шилин А.Н. Исследование открытой разработки скальных пород и руд с применением конвейерного транспорта: дис...д-ра. тех. наук / А.Н. Шилин; МЧМ СССР ИГД. – Свердловск, 1972. – 359 с.

6. Тартаковский Б.Н. Циклично-поточная технология добычи руды на карьерах Кривбасса/Б.Н.Тартаковский и др.– Киев: Техніка, 1978. – 175 с.

7. Семенкин А.В. Исследование экономического показателя затрат при циклично-поточной технологии на рудных карьерах/ А.В. Семенкин, В.А. Антонов // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 2019. – №1. – С. 103–111.

8. Кулешов А.А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров /А.А. Кулешов. – М.: Недра, 1980. – 317 с.

9. Антонов В.А. Метод нелинейной функционально-факторной регрессии в экспериментальных горно-технологических исследованиях / В.А. Антонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 10 (специальный выпуск 23). – С. 90 98.

10. Антонов В.А. Извлечение математико-статистических закономерностей в экспериментальных исследованиях горно-технологических процессов. / В.А. Антонов // Проблемы недропользования. - Электронный ресурс, ИГД УрО РАН, – 2018 . – № 4. – С. 61–70.

Semenkin A.V., Junior Researcher, Antonov V.A., Dr. Sc. in Engineering, Senior Researcher

Federal State Budgetary Institution of Science, Institute of Mining, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Russia, Ekaterinburg, ul. Mamina-Sibiryaka, 58

A STUDY AND COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL INDICATORS OF AUTOMOBILE AND CONVEYOR TRANSPORT IN DEEP PITS

Abstract: *The article is devoted to the substantiation of the choice of the most effective cyclic-flow technology of transportation of rock mass in deep pits in comparison with the excavator-automobile complex. The selection is carried out according to the criteria of comparison of the corresponding technological and operational indicators of these complexes. Within these criteria, the relationship of the specific metal consumption, specific power consumption, assignments for air pollutions accept less than unit, and the ratio of labor productivity is greater than unit. These criteria are considered as important additions to the known restrictions of the choice of cyclic-flow technology, earlier established authors on an economic indicator of expenses. During the research experimental discrete estimates of the called indicators are carried out and results of the subsequent modeling of their communications with the key operational parameters of transport complexes are given. The main parameters that affect the indicators taken into consideration the annual capacity of the transport complex and a rise height of rock mass. In experimental estimates the following number of annual production rate is accepted: 5, 10, 20, 30 million tons/year. Height of rise of rock mass changed from 180 to 680 m with a step of 100 m. Models are created by method of the nonlinear functional and factorial regression displaying with high reliability on determination coefficient 0.963-0.99 regularities of change of indicators of transport complexes. On the model relations of technological and operational indicators according to the accepted criteria it is established that restrictions for the choice and use of cyclic-flow technology because of their influence are not available.*

Keywords: *cyclic-flow technology, excavator and automobile complex, process parameters and indicators of transportation, performance indicators, deep pit, regression model.*

Article info: *received August 01, 2019*
DOI: 10.26730/1816-4528-2019-3-27-32

REFERENCES

1. Smirnov V.P. Teorija kar'ernogo bol'shegruznogo avtotransporta / V. P. Smirnov, Ju. I. Lel'. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2002. – 355 p.

2. Karmaev G.D. Vybor gorno-transportnogo oborudovanija ciklichno-potochnoj tehnologii kar'erov / G.D. Karmaev, A.V. Glebov. – Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2012. – 296 p.

3. Simkin B.A. Kompleksnaja mehanizacija processov ciklichno-potochnoj tehnologii na kar'erah /B.A. Simkin, A.A. Dihtjar, A.P. Ziborov, N.N. Chaplygin, V.P. Kamenshhuk, V.I. Shuboderov. – Moskva: Nedra, 1985. – 195 p.

4. Drebenshtedt, K. Mirovoj opyt jekspluatacii kompleksov ciklichno-potochnoj tehnologii s vnutrikar'ernym drobleniem / K. Drebenshtedt, R. Ritter, V. I. Suprun, Ju.G. Agafonov // Gornyj zhurnal. – 2015. – №11. – P. 81–87.

5. Shilin A.N. Issledovanie otkrytoj razrabotki skal'nyh porod i rud s primeneniem konvejernogo transporta: dis...d-ra. teh. nauk / A.N. Shilin; MChM SSSR IGD. – Sverdlovsk, 1972. – 359 p.

6. Tartakovskij B.N. Ciklichno-potochnaja tehnologija dobychi rudy na kar'erah Krivbassa/B.N. Tartakovskij i dr.– Kiev: Tehnika, 1978. – 175 p.

7. Semenkin A.V. Issledovanie jekonomicheskogo pokazatelja zatrat pri ciklichno-potochnoj tehnologii na rudnyh kar'erah/ A. V. Semenkin, V. A. Antonov // Izvestija VUZov. Gornyj zhurnal. – 2019. – №1. – P. 103–111.

8. Kuleshov A.A. Moshhnye jekskavatorno-avtomobil'nye kompleksy kar'erov /A.A. Kuleshov. – M.: Nedra, 1980. – 317 p.

9. Antonov V.A. Metod nelinejnoj funkcional'nofaktornoj regressii v jeksperimental'nyh gorno-tehnologicheskih issledovanijah / V. A. Antonov // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. – 2017. – № 10 (special'nyj vypusk 23). – P. 90 – 98.

10. Antonov V.A. Izvlechenie matematiko-statisticheskih zakonomer-nostej v jeksperimental'nyh issledovanijah gorno-tehnologicheskih processov. / V.A. Antonov // Problemy nedropol'zovanija. – Jelektronnyj resurs, IGD UrO RAN, – 2018 . – № 4. – P. 61–70.

Библиографическое описание статьи

Семенкин А.В., Антонов В.А. Исследование и сравнительный анализ технологических показателей применения автомобильного и конвейерного транспорта в углубленных карьерах // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 3 (143). – С. 27-32.

Reference to article

Semenkin A.V., Antonov V.A. A study and comparative analysis of technological indicators of automobile and conveyor transport in deep pits. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 3 (143), pp. 27-32.