

9. Шеметов П.А., Рубцов С.К. Опыт эксплуатации канатных и гидравлических экскаваторов в условиях карьера Мурунтау // Горная промышленность. – М.: 2005. – №5. – 46-50 с.
10. Шибанов Д.А. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ 18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонтов // дис. канд. тех. наук: – Санкт-Петербург, 2015. – 203 с.
11. Шибанов Д.А. Оценка показателей работоспособности карьерных экскаваторов в реальных условиях эксплуатации // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Сб. науч. тр. 9-й Межд. конф. Т.1. БНТУ. – Минск, 2013. – 128-135 с.
12. Шестаков В.С., Хорошавин С.А. Составление моделей для расчета рабочего оборудования карьерных экскаваторов производства ОАО «Уралмашзавод» Горное оборудование и электромеханика, – 2013. – № 8. 14-19 с.
13. Burt, C., Caccetta, L., Hill, S. and Welgama, P. Models for Mining equipment Selection. Curtin University of Technology, Rio Tinto Technical Services, Perth Australia – pp.170-176
14. Molnar V., Buchala V. Desing of a feeding station in ecological transportation system of raw materials. Proceeding of International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Vol. 17. pp. 519-528.
15. Piotr Kruczek, Marta Polak, Agnieszka Wyłomańska, Witold Kawalec, Radoslaw Zimroz. Application of compound Poisson process for modelling of ore flow in a belt conveyor system with cyclic loading. International Journal of Mining, Reclamation and environment, 2018. Vol. 32, Issue 6, pp. 376-391.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСКАВАТОРА ПРИ ОТРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ СЪЕЗДНЫХ УСТУПОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ПРИ РАБОТЕ С МОБИЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Т.Ж. АННАКУЛОВ¹, заведующий кафедрой Горная электромеханика, PhD,
доцент;

Д.А. ШИБАНОВ², к.т.н., доцент кафедры Машиностроения

¹*Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан*

²*Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация

В данной статье приведена методика определения времени отработки и производительности экскаватора при разработке наклонного съездного уступа угольных разрезов. Произведен расчет времени отработки съездного уступа и определен среднюю эксплуатационную производительность экскаватора в условиях Ангренского угольного разреза. Рассмотрено технологическая схема отработки уступов продольными заходками мобильной экскаваторно-дробильной комплексом при боковом расположении забойного конвейера и наличии мобильного межуступного перегружателя с последовательным ведением добычных работ на двух горизонтах. По данной технологической схемы рекомендован методика определения полного рабочего цикла комплекса. Разработана

математическая модель определения площади сегмента черпания экскаватора. Установлено зависимость коэффициента наполнения ковша экскаватора от высоты забоя при различной толщине стружки.

Ключевые слова: Экскаваторно-дробильный комплекс, производительность экскаватора, наклонный съездной уступ, времени отработки, двойной интеграл.

Введение. Для развития циклично-поточных технологий (ЦПТ) на карьерах необходимо использование в технологических схемах передвижных и мобильных дробильных агрегатов, особенно при разработке малоабразивных пород средней крепости. Мобильные дробильно-перегрузочные установки применяются при различных технологических схемах, располагаются в забое между экскаватором и забойным конвейером и перемещаются вдоль фронта работ по мере продвижения экскаватора [1-18].

При этом установление оптимальных рабочих параметров экскаватора и других машин входящих в состав добычного и транспортного комплекса является актуальным вопросам. По данному направлению занимались многие авторы как приведены в список литературы [19-25].

На сегодняшний день разреза Ангренский при разработке вскрышных пород применяется циклично-поточная технология (ЦПТ) с применением мобильных дробильно-перегрузочными-конвейерными комплексами (МДПКК). В состав МДПКК входит экскаватор типа механическая лопата, мобильная дробильная установка, мобильный межуступный перегружатель и система конвейеров (рис.1).

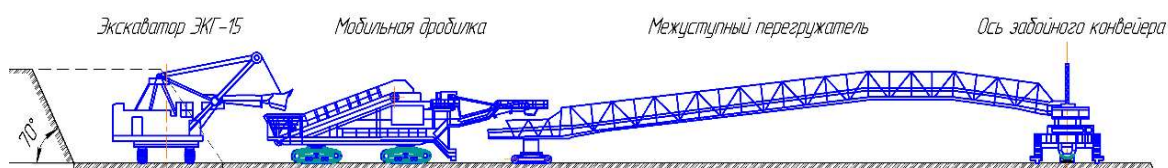


Рис. 1. Технологическая схема разработки вскрышных уступов циклично-поточной технологией с МДПКК

По данному технологию (рис. 1) погрузка породы производится экскаватором в мобильной дробилки через бункер-питатель. Горная порода из дробильной установки передается на мобильный конвейер-перегрузатель и далее к забойному конвейеру. Использование мобильного конвейера-перегрузателя позволяет уменьшить частое перемещение забойного конвейера и размещать их на большом расстоянии от забоя [26-28].

Основная часть. Рассмотрим технологическая схема отработки уступов продольными заходками комплексом МДПКК при боковом расположении забойного конвейера и наличии мобильного межуступного перегружателя с последовательным ведением добычных работ на двух горизонтах (рис. 2) [29].

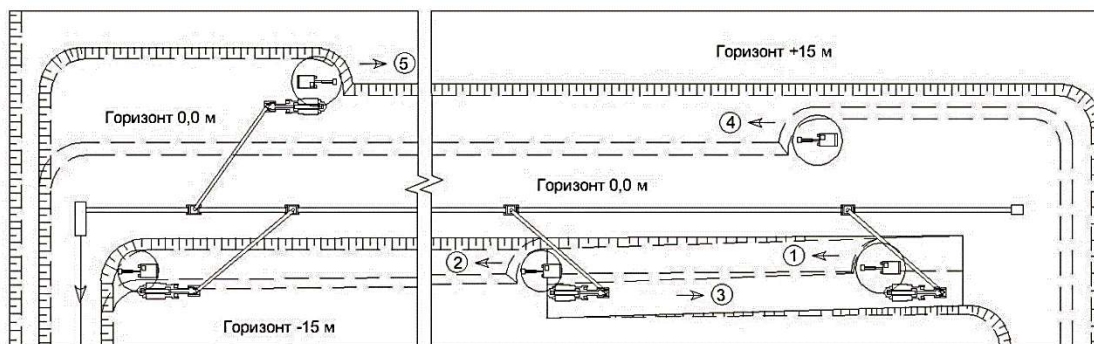


Рис. 2. Технологическая схема отработки уступов использованием мобильных комплексов с последовательным ведением добычных работ на двух горизонтах

Согласно данной технологической схеме система МДПКК работает на двух горизонтах. При этом забойный конвейер устанавливается на верхнем уступе. Экскаваторно-мобильная дробилка – межуступный перегружатель работает сначала на нижнем уступе, а затем на верхнем уступе двумя заходками. После этого забойный конвейер передвигается по фронту работы экскаватора.

Технологические процессы при ведении горных работ на съездном уступе с использованием МДПКК приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические процессы ведения горных работ съездном уступе с использованием МДПКК

Номер процесса	Название процесса	Краткое обозначение процесса
1	Разработка первого наклонного съездного уступа со спуском на нижний горизонт	$P_{cy(1)}$
2	Разработка левого фланга основного нижнего уступа	$P_{ou(1л)}$
3	Передвижка на разворот и обратное передвижение комплекса по левому флангу нижнего уступа	$P_p + P_{ou(1л)}$
4	Разработка второго наклонного съездного уступа	$P_{cy(2)}$
5	Передвижка на разворот и обратное передвижение комплекса по правому флангу нижнего уступа	$P_p + P_{ou(1п)}$
6	Передвижка комплекса по первому наклонному съездному уступу на верхний горизонт	$P_{cy(1)}$
7	Передвижка комплекса на исходную позицию на верхнем уступе	$P_{ип}$
8	Разработка первой заходкой верхнего уступа	$P_{ou(2)}$
9	Разработка второй заходкой верхнего уступа	$P_{ou(2')}$
10	Передвижка комплекса по повороту на первую исходную позицию	$P'_{ип}$
11	Передвижка забойного конвейера	$P_{зк}$

Согласно табл. 1, объединяя соответствующие процессы, определяем полный цикл МДПКК в следующем виде [19,29]:

$$1 \text{ ЦИКЛ} = [P_{cy(1)} + P_{cy(2)}] + [P_{ou(1л)} + P_{ou(2)} + P_{ou(2')}] + [P_p + P_{ou(1л)} + P_p + P_{ou(1п)} + P_{cy(1)} + P_{ип} + P'_{ип} + P_{зк}] = 2P_{cy} + P_{ou(1л)} + 2P_{ou(2)} + 2P_p + P_{ou(1)} + P_{cy(1)} + 2P_{ип} + P_{зк} \quad (1)$$

Время одного цикла отработки двух уступов с применением МДПКК составит:

$$T_{цикл} = 2T_{p.cy} + T_{p.ou(1л)} + 2T_{p.ou(2)} + 2T_{p.p} + T_{p.ou(1)} + T_{p.cy} + 2T_{p.ип} + T_{p.зк}, \text{ ч} \quad (2)$$

При расчете эксплуатационной производительности и времени работы комплекса по технологической схеме разработки горных пород с торцевым расположением МДПКК и наличии мобильного межуступного-перегружателя с последовательной отработкой на двух горизонтах необходимо учитывать все простои экскаватора.

Произведем расчет времени отработки съездного уступа и определим среднюю эксплуатационную производительность комплекса МДПКК в условиях Ангренского угольного разреза.

Существующие технологические параметры забоя разреза Ангренский и исходные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Существующие технологические параметры забоя

Название технологических параметров	Обозначение	Ед. Изм.	Кол-во
Высота уступа	H_y	м	15
Угол откоса уступа	α	град.	70
Ширина заходки экскаватора	B_3	м	22,5-25
Расстояние от нижней бровки уступа до линии транспортной полосы дробилки	c_1	м	1,2-4,05
Ширина установки межуступного перегружателя	$B_{y.m.п}$	м	20-90
Ширина от оси конвейера до верхней бровки нижнего уступа	$B_{к.у.}$	м	10
Ширина рабочей площадки	$B_{р.п}$	м	60-130
Угол поворота экскаватора на выгрузке	β	градус	60-180
Тип грунта: песчаники и галечники в глинистом цементе			
Плотность	γ	т/м ³	1,9-2,3
Коэффициент разрыхления	k_p		1,1-1,4

При отработке съездного уступа с применением МДПКК допускается до 5% уклона, который имеет вид, представленный на рис. 3.

Допустимый угол наклона съездного уступа, равен соотношению 1:20. При 5% уклоне это угол будет равен 2,86°.

Определим длину съездного уступа на отрезке AB при высоте уступа 15 м:

$$AB = BC / \sin 2,86^\circ = 300,6 \text{ м.}$$

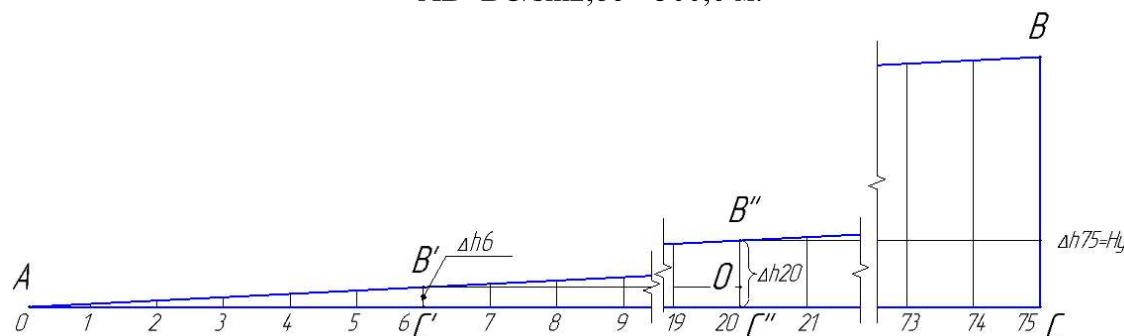


Рис. 3. Схема съездного уступа с разделением на 75 подблоков длиной, каждую равной одной передвижке экскаватора

С учетом передвижки экскаватора с одной стоянки на следующую при $L_{\text{передвижка}} = 4$ м количество подблоков составит $300,6 \text{ м} / 4 \text{ м} = 75$. Значит экскаватор, работая на съездном уступе передвигается 75 раз (рис. 3).

В начальной части блока экскаватор не сможет загрузить дробильную установку в связи с не наполнением его ковша. В связи с этим по условиям эффективной эксплуатации экскаватора определяем минимальную высоту копания.

По условиям полного заполнения ковша при известной толщине снимаемой стружки определим длину дуги черпания:

$$l_{\text{д.ч}} = \frac{V_k K_H}{B_{к\text{сmax}} K_p} \text{ м,} \quad (3)$$

где B_k – ширина ковша экскаватора, м;

$C_{\text{струж}}$ – толщина снимаемой стружки, м.

Толщина снимаемой стружки определяется расчетами, учитывая усилие копания экскаватора и удельное сопротивление копанию породы [30]:

$$C_{\max} = \frac{P_k}{k_F \cdot B_k}, \text{ м}, \quad (4)$$

где P_k – усилие на зубьях ковша экскаватора, Н;

k_F – удельное сопротивление копанию породы, Н/м².

Усилие на зубьях ковша экскаватора для конкретных условий забоя определяется по формуле [31]:

$$P_k = \frac{N_{\pi} \cdot l_{\pi} + G_{k+\pi} \cdot l_k + G_p \cdot l_p}{l_{\pi}}, \text{ Н}, \quad (5)$$

где N_{π} – сопротивление пород копанию, Н;

$G_{k+\pi}$ – вес ковша с породой, Н;

G_p – вес рукояти, Н;

l_{π}, l_k, l_p – соответственно, длина рукояти от напорного вала до контакта забоя, до центра тяжести ковша и до центра тяжести рукояти, м.

Сопротивление породы копанию определяется по формуле [32]:

$$N_{\pi} = \frac{k_F \cdot E}{H_B \cdot k_p}, \text{ Н}, \quad (6)$$

где H_B – высота напорного вала, м;

k_p – коэффициент разрыхления породы, $k_p = 1,2 - 1,3$.

В схеме забоя, приведенному на рис. 3, видно, что экскаватор до подблока 6 работает с горизонтальным черпанием на уровне стояния. В этом случае объем породы, время отработки подблоков 0-6 и коэффициент наполнения ковша экскаватора определяется согласно табл. 3[33-35].

Таблица 3

Определение технологических параметров отработки съездных уступов

Параметры	Формулы расчета	1- подбло к	2- подбло к	3- подбло к	4- подбло к	5- подбло к	6- подбл ок
Объем породы одного черпания, м ³	$\Delta V_n = (2n-1) \cdot \Delta V_1$	1,5	4,5	7,5	10,5	13,5	16,5
Время отработки подблока, с	$\Delta t_n = (Ш/В) \cdot t_{\pi}$	180	180	180	180	180	180
Коэффициент наполнения ковша	$k_n = (\Delta V_n / V_k)$	0,09	0,27	0,45	0,64	0,82	1,00

n – очередь разделения экскаваторного подблока; ΔV_1 – объем породы первого подблока, м³

Согласно данным, приведенным в табл. 6 установим зависимость коэффициента наполнения ковша экскаватора от вынимаемого объема подблока (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что экскаватор до подблока 6 работает с горизонтальным черпанием на уровне стояния и минимальными коэффициентами наполнения ковша.

Время отработки подблоков 0-6 с учетом передвижки комплекса составит:

$$t_{0-6} = 6 \cdot t_{\pi} \cdot \frac{B_3}{B_k} + \frac{L_{0-6}}{L_{\text{передв}}} \cdot t_{\text{передв}}, \text{ ч}. \quad (7)$$

$t_{\text{передв}}$ – время одного передвижки комплекса, мин.

Средняя производительность комплекса при отработки подблоков 0-6:

$$Q_{\text{ср}(0-6)} = \frac{60 \cdot V_{0-6}}{t_{0-6}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (8)$$

Начиная с подблока 6 коэффициент наполнения ковша будет равным 1, при этом высота забоя составит 1,2 м и будет выше толщины стружки. В связи с этим экскаватор не

сможет черпать горизонтальными слоями и начнет черпание по радиусу рукояти с допустимой толщиной стружки.

В данном случае необходимо определить фактическую производительность экскаватора с учетом условий забоя. Эффективная работа экскаватора определяется путем установления высоты черпания. Поэтому эффективная высота черпания экскаватора определяется из условия наполнения его ковша при разработке съездного уступа.

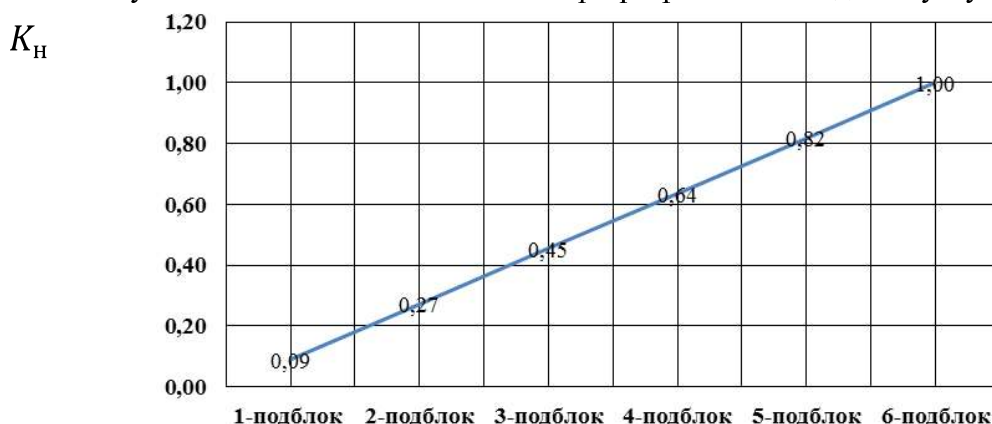


Рис. 4. Зависимость коэффициента наполнения ковша экскаватора от вынимаемого объема подблока

Коэффициент наполнения ковша при установленной толщине стружки определяется по формуле:

$$K_H = \frac{V_K C_{max} l_{д.ч}}{V_K} = \frac{V_K S_{чер}}{V_K}, \quad (9)$$

где $l_{д.ч}$ – дуга черпания, м;

$S_{чер}$ – площадь сечения одного черпания при известной толщине стружки, м².

Вывод. При различной высоте забоя определим коэффициент наполнения ковша экскаватора согласно схеме, приведенной на рис. 5. Из схемы видно, что с увеличением высоты забоя возрастает длина дуги черпания и, соответственно, объем породы на одно черпание.

Для более точного расчета забоя воспользуемся математической моделью определения площади сегмента черпания экскаватора с установлением толщины стружки (рис. 5).

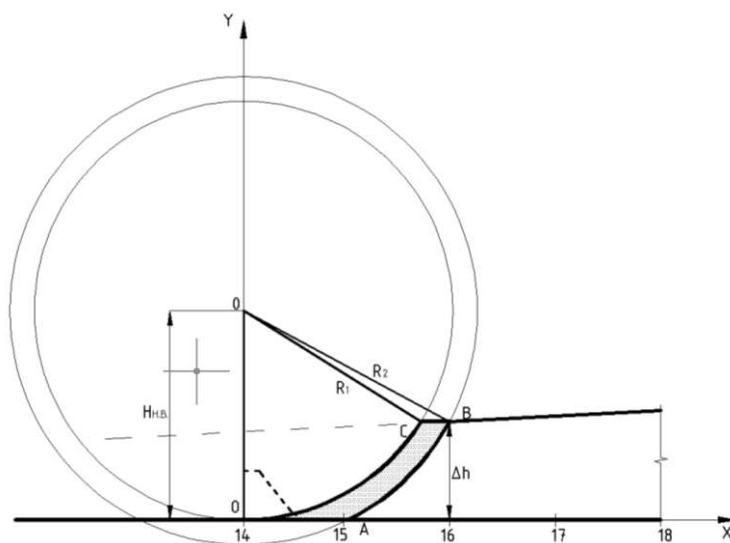


Рис. 5. Схема определения площади сегмента черпания экскаватора при разработке съездного уступа с установлением толщины стружки

Для вычисления площади $OABC$ построим прямоугольную координатную систему. Ось Ox проведем через отрезок OA , а ось Oy – в точке O перпендикулярно к оси Ox . Тогда искомая область $OABC$ ограничивается линиями.

$$\begin{aligned} x^2 + (y - 8,5)^2 &= 8,5^2, x^2 + (y - 8,5)^2 = 9,5^2, y = 0 \quad y = a \quad \text{или} \\ x &= \sqrt{8,5^2 - (y - 8,5)^2}, x = \sqrt{9,5^2 - (y - 8,5)^2}, 0 \leq y \leq a. \end{aligned} \quad (10)$$

Тогда искомая площадь вычисляется с помощью двойным интегралом:

$$\begin{aligned} S &= \iint_{OABC} dx dy = \int_0^{\Delta h} \left[\int_{\sqrt{R_1^2 - (y - R_1)^2}}^{\sqrt{R_2^2 - (y - R_1)^2}} dx \right] dy = \int_0^a \left[x \right]_{\sqrt{R_1^2 - (y - R_1)^2}}^{\sqrt{R_2^2 - (y - R_1)^2}} dy = \\ &= \int_0^{\Delta h} \left(\sqrt{R_2^2 - (y - R_1)^2} - \sqrt{R_1^2 - (y - R_1)^2} \right) dy = \left[\begin{matrix} t = y - R_1, dt = dy \\ y = 0, t = -R_1 \\ y = \Delta h, t = \Delta h - R_1 \end{matrix} \right] = \\ &= \int_{-R_1}^{\Delta h - R_1} \left[\sqrt{R_2^2 - t^2} - \sqrt{R_1^2 - t^2} \right] dt = \int_{-R_1}^{\Delta h - R_1} \sqrt{R_2^2 - t^2} dt - \int_{-R_1}^{\Delta h - R_1} \sqrt{R_1^2 - t^2} dt = \\ &= \frac{1}{2} \left(t \sqrt{R_2^2 - t^2} + R_2^2 \arcsin \frac{t}{R_2} \right) \Big|_0^{\Delta h} - \frac{1}{2} \left(t \sqrt{R_1^2 - t^2} + R_1^2 \arcsin \frac{t}{R_1} \right) \Big|_0^{\Delta h} = \\ &= \frac{1}{2} \left((\Delta h - R_1) \sqrt{R_2^2 - (\Delta h - R_1)^2} + R_2^2 \arcsin \frac{\Delta h - R_1}{R_2} + R_1 \sqrt{R_2^2 - R_1^2} + R_2^2 \arcsin \frac{R_1}{R_2} \right) \\ &\quad - \frac{1}{2} \left((\Delta h - R_1) \sqrt{R_1^2 - (\Delta h - R_1)^2} + R_1^2 \arcsin \frac{\Delta h - R_1}{R_1} + R_1^2 \frac{\pi}{2} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \left((\Delta h - R_1) \sqrt{R_2^2 - (\Delta h - R_1)^2} + R_2^2 \arcsin \frac{\Delta h - R_1}{R_2} + R_1 \sqrt{R_2^2 - R_1^2} + R_2^2 \arcsin \frac{R_1}{R_2} \right) \\ &\quad - \frac{1}{2} \left((\Delta h - R_1) \sqrt{R_1^2 - (\Delta h - R_1)^2} + R_1^2 \arcsin \frac{\Delta h - R_1}{R_1} + R_1^2 \frac{\pi}{2} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

Задавая ряд величин Δh_y и C_{max} находим соответствующие им значения площади $OABC(S_{чep})$ и, соответственно, вынимаемый объем породы (V_n) а также коэффициента наполнения ковша K_n . По графику функции $K_n=f(\Delta h_y)$, определяют конкретные величины коэффициента наполнения ковша экскаватора рис. 6.

В табл. 4 приведены результаты расчетов определения коэффициента наполнения ковша экскаватора при разработке съездного уступа.

Из табл. 4 видно, что для полного наполнения ковша экскаватора при одном черпании необходимая высота забоя составит $\Delta h=4$ м. Это означает, что до подблока 20 экскаватор будет работать с меньшей производительностью. После 20-го подблока экскаватор начнет работать в обычном режиме.

Время отработки подблока $(n - (n + 1))$ определяется по выражению:

$$t_{n-(n+1)} = \left(\frac{L_{n-(n+1)}}{C_{стр}} \cdot t_{ц} \right) \cdot \frac{B_3}{B_K} + \frac{L_{n-(n+1)}}{L_{передв}} \cdot t_{передв}, \text{ч}; \quad (12)$$

Объем подблока $(n - (n + 1))$ определяется по выражению:

$$V_{n-(n+1)} = \left(\frac{L_{n-(n+1)} \cdot (\Delta h_{(n+1)} - \Delta h_n)}{2} \cdot B_3 \right) + (L_{n-(n+1)} \cdot \Delta h_n \cdot B_3), \text{м}^3; \quad (13)$$

Таблица 4

Результаты расчета определения коэффициента наполнения ковша экскаватора при разработке съездного уступа

Δh , м	$C_{\max}$, м	R_1 , м	R_2 , м	S_2 , м ²	V_{Π} , м ³	V_{κ} , м ³	k_H
1,0	1	9,5	8,5	2,42	6,06	16,5	0,37
1,5	1	9,5	8,5	3,28	8,19	16,5	0,50
2,0	1	9,5	8,5	4,04	10,09	16,5	0,61
2,5	1	9,5	8,5	4,74	11,84	16,5	0,72
3,0	1	9,5	8,5	5,39	13,47	16,5	0,82
3,5	1	9,5	8,5	6,00	15,01	16,5	0,91
4,0	1	9,5	8,5	6,59	16,48	16,5	1,00
4,5	1	9,5	8,5	7,16	17,90	16,5	1,08
5,0	1	9,5	8,5	7,71	19,28	16,5	1,17

Средняя производительность комплекса отработки подблока ($n - (n + 1)$):

$$Q_{cp(n-(n+1))} = \frac{60 \cdot V_{n-(n+1)}}{t_{n-(n+1)}}, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (14)$$

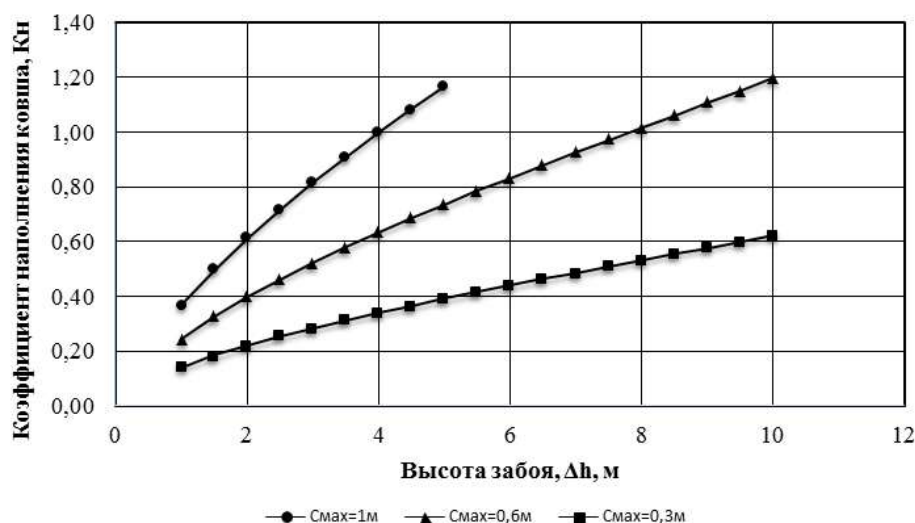


Рис. 6. Зависимость коэффициента наполнения ковша экскаватора от высоты забоя при различной толщине стружки

Вывод. Таким образом, разработана методика и математической модель определения времени отработки и производительности комплекса мобильных дробильно-перегрузочно-конвейерных комплексов при отработке наклонного съездного уступа.

Библиографический список

1. Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Аннакулов Т.Ж. Применение схем циклично-поточной технологии с передвижными и мобильными дробильно-перегрузочными комплексами на открытых горных работах. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». -Навои, 2019. - № 2. -С.36÷39.
2. Чиркин А.А., Кантемиров В.Д. Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок. «Известия вузов. Горный журнал», N 7, 2020, с.33-39. DOI:10.21440/0536-1028-2020-7-33-40.

3. Аннакулов Т.Ж. Совершенствование циклично-поточной технологии разработки вскрышных пород в разрезе Ангренский с применением мобильных комплексов // «European Applied Sciences» ORT Publishing. –Stuttgart, Germany, 2015. – №6. – pp. 58-60.
4. Фауль А.А. Определение параметров и показателей открытой разработки месторождений нерудных строительных материалов с использованием мобильных дробильных комплексов // Дисс. ... канд. техн. наук. – С.-Пб., 2012. – 193 с.
5. Ясюченя С.В., Опанасенко П.И. и др. Проблемы и перспективы циклично-поточной технологии при открытой разработки угольных и рудных месторождений // Рациональное недропользование. – Москва, 2014. – №3. – С. 52-62.
6. Кармаев Г.Д., Глебов А.В. Выбор горно-транспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров. – Екатеринбург: Институт горного дела УрО РАН, 2014. – 295 с.
7. Молдабеков Б.К. Особенности применения циклично-поточной технологии в условиях карьера «Актогай» // Вестник КАЗНТУ. – 2014. – №1. – С. 173-178.
8. Ульрих Ментгес, Юрген Коппач, Пашко П.Б. Полностью мобильный дробильный комплекс на гусеничном ходу для крупных карьеров и разрезов // Уголь. – Москва, 2009. – №4. – С. 28-31.
9. Вайсберг Л.А., Баранов В.Ф. Состояние и перспективы циклично-поточной технологии // Горный журнал. – Москва, 2002. – №4. – С. 35-40.
10. Лагунова Ю.А., Жиганов А.А., Жиганов П.А., Лазарев Е.А. Анализ компоновочных схем отечественных и зарубежных самоходных дробильных установок // Горные машины и автоматика. – Москва, 2005. – №3. – С. 25-30.
11. Каргер Р. TAKRAF: мобильная дробильная установка на открытых горных работах // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2009. – №3. – С. 86-88.
12. Полностью мобильный дробильный комплекс для крупных карьеров // Горная промышленность. – Москва, 2009. – №1. – С. 54. <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/692-polnostyu-mobilnyj-drobilnyj-kompleks-dlya-krupnykh-karerov>
13. Бахтурин Ю.А., Кармаев Г.Д., Берсенев В.А. Вопросы применения циклично-поточной технологии на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: «Горная книга», 2011. – №3. – С. 62-71.
14. Усманов Н.С., Цой И.В., Иркабаев У.У. и др. Опыт внедрения циклично-поточной технологии на вскрышном комплексе разреза Ангренский // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2015. – №1. – С. 82-86.
15. Mohammad Reza Tavakoli Mohammadi, Seyed Ahmad Hashemi, Farhad Moosakazemi. Review of the in-pit crushing and conveying (IPCC) system and its case study in copper industry <https://www.researchgate.net/publication/270888181>.
16. Jorma Kempas, Артем Асхадулин. Технологии и условия эффективного применения мобильных установок крупного дробления и ленточных конвейеров // Горная промышленность. – Москва, 2012. – №4. – С. 52-55.
17. Супрун В.И., Пастихин Д.В., Радченко С.А., Перельгин В.В. Проблемы и перспективы использования циклично-поточной технологии для отработки крупных угольных и рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: «Горная книга», 2014. – №1. – С. 332-346.
18. Annakulov T.J. & Abdumitalipov I. The current state and characteristics of the excavator-automobile complex at the Kalmakyr open cast mine. III International Scientific and Practical Conference «Theoretical and empirical scientific research: concept and trends», 2021; Vol. 1: 161-165. <https://doi.org/10.36074/logos-28.05.2021.v1.49>.
19. Аннакулов Т.Ж. Интенсификация циклично-поточной технологии с использованием мобильных комплексов на угольных месторождениях // Дисс. ... докт. философии по техническим наукам. – Навоий, 2019. – 120 с.
20. Булатов Г.Я., Терехов А.А. Численное моделирование производительности экскаваторов // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2. – С. 7-15.
21. Bulatov G.Y. & Annakulov T.J. Investigation of the width of the entry of an excavator when loading a mobile crushing plant in the conditions of the Angren coal mine of Uzbekistan. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021; 937: 042088. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042088>.

22. Жариков С.Н. Совершенствование расчета производительности карьерного экскаватора // Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 56-61. DOI: 10.25515/PMI.2018.1.56.
23. Грязнов М.В. Ресурсы производительности экскаваторно-автомобильного комплекса / М.В.Грязнов, С.В.Колобанов // Мир транспорта. 2013. № 3. С. 96-102.
24. Курганов В.М. Оценка надежности функционирования экскаваторноавтомобильных комплексов в карьере / В.М.Курганов, М.В.Грязнов, С.В.Колобанов // Записки Горного института. 2020. Т. 241. С. 10-21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10
25. Мислибаев И.Т., Махмудов А.М., Махмудов Ш.А. Исследование условий функционирования одноковшовых карьерных экскаваторов циклического действия на сложно-структурных глубоких карьерах // Горный вестник Узбекистана. – Навоий, 2020. – №1 (80). – С. 80-84.
26. Annakulov Tulkin, Eshonqulov Kamoljon, Mamatov Dostonbek. Application of belt conveyors and determination of the main parameters of mobile complexes for the transportation of overburden rocks of the Angren coal mine. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2021; Volume 9. No. 4: 383-389. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/08942021>
27. Мирсаидов Г.М., Раимбердиев С.У., Абдуллаев А.А. Определение оптимальной ширины заходки экскаватора при применении мобильных комплексов в условиях разработки вскрышных уступов разреза Ангренский. Материалы международной научно-практической конференции «LXI международные научные чтения (памяти А.Н. Колмогорова)»: Сборник статей. – Москва: 16 декабря 2019 г. – С.67-73.
28. Annakulov T.J., Zairov Sh.Sh., Kuvandikov O.A. Justification, selection and calculation of technological parameters of equipment kits of mobile crushing-reloading-conveyor complexes // International Journal Of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.– India: National Institute of Science Communication and Information Resources, 2019, February. – Vol.6. – Issue 2. – pp. 8072-8079.
29. Annakulov T.J. Development of technological schemes for open-pit mining of deposits using “mobile crushing-reloading-conveyor complexes”. E3S Web of Conferences, 2020; 201: 01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101010>.
30. Домбровский Н.Г. Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения. – М.: Машиностроение, 1969. – 319 с.
31. Фролов К.В., Ксенович И.П., Волков Л.А., Карасев Г.Н. и др. Энциклопедия по машиностроению. Том IV. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
32. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 606 с.
33. Toshov J.B., Quvondiqov O.A. & Eshonqulov K. Calculation of the service life and assessment of the reliability of conveyor rollers under the conditions of the Angren coal mine. Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR), 2021; Vol.10, Issue 3: 365-370. <http://doi.org/10.5958/2278-4853.2021.00139.7>
34. Annakulov Tulkin, Shamsiev Raxim & Kuvandikov Oybek. Mathematical modeling of determining the productivity of mobile complexes in exercise of inclined connecting accessories. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020; Volume 8. No. 6: 2695-2700. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/77862020>
35. Заиров Ш.Ш., Кувондиқов О.А., Шарипов Л.О. Расчет технологических параметров комплексов оборудования мобильных дробильно-перегрузочно- конвейерных комплексов // Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». -Навои, 2019. - № 3. -С.29-34.

MATHEMATICAL MODELING OF EXCAVATOR PERFORMANCE DETERMINATION WHEN WORKING WITH SLOPED SLOPES OF COAL MINES WHEN WORKING WITH MOBILE COMPLEXES

Information about authors

T.J.ANNAKULOV¹, Head of the department of mining electromechanics, PhD, Associate professor;
D.A.SHIBANOV², Candidate of technical sciences, Associate professor of the department of Mechanical engineering,

¹Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

²Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

This article presents a method for determining the working time and productivity of an excavator in the development of an inclined exit ledge of coal mines. The calculation of the time of working out the congress ledge was made and the average operational productivity of the excavator in the conditions of the Angren coal mine was determined. A technological scheme for mining benches with longitudinal stops by a mobile excavator-crushing complex with a lateral location of the face conveyor and the presence of a mobile inter-shoulder loader with sequential mining operations on two horizons is considered. According to this technological scheme, a method for determining the full working cycle of the complex is recommended. A mathematical model has been developed for determining the area of the digging segment of an excavator. The dependence of the filling factor of the excavator bucket on the height of the face at different chip thicknesses has been established.

Key words: Excavator-crushing complex, excavator performance, inclined ramp, working time, double integral.

Reference

1. Nasirov U.F., Zairov Sh., Sh., Annakulov T.J. Primeneniye Application of schemes of cyclic-flow technology with mobile and mobilnimi crushing and transfer complexes in open pit mining. Scientific, technical and production journal "Mountain Bulletin of Uzbekistan". - Navoi, 2019. - No. 2. - P.36÷39.
2. Chirkin A.A., Kantemirov V.D. Substantiation of the methodology for designing mobile crushing and transfer plants. "News of universities. Mining Journal, N 7, 2020, pp. 33-39. DOI:10.21440/0536-1028-2020-7-33-40.
3. Chirkin A.A., Kantemirov V.D. Substantiation of the methodology for designing mobile crushing and transfer plants. "News of Universities. Mining Journal, No 7, 2020, pp. 33-39. DOI:10.21440/0536-1028-2020-7-33-40.
4. Faul A.A. Determination of parameters and indicators of open mining of deposits of non-metallic building materials using mobile crushing complexes // Diss. ... cand. tech. Sciences. - S.-Pb., 2012. - 193 p.
5. Yasyuchenya S.V., Opanasenko P.I. et al. Problems and prospects of cyclic-flow technology in the open mining of coal and ore deposits // Rational Subsoil Use. - Moscow, 2014. - No. 3. - PP. 52-62.
6. Karmaev G.D., Glebov A.V. The choice of mining and transport equipment for cyclic-flow technology of open pits. - Yekaterinburg: Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2014. - 295 p.
7. Moldabekov B.K. Features of the use of cyclic-flow technology in the conditions of the Aktogay quarry // Bulletin of KAZNTU. - 2014. - No. 1. - pp. 173-178.
8. Ulrich Mentges, Jurgen Koppach, Pashko P.B. Fully mobile crushing complex on caterpillar tracks for large quarries and cuts // Coal. - Moscow, 2009. - No. 4. - pp. 28-31.
9. Weisberg L.A., Baranov V.F. State and prospects of cyclic-flow technology // Mining journal. - Moscow, 2002. - No. 4. - pp. 35-40.
10. Lagunova Yu.A., Zhiganov A.A., Zhiganov P.A., Lazarev E.A. Analysis of layout diagrams of domestic and foreign self-propelled crushing plants // Mining machines and automation. - Moscow, 2005. - No. 3. - pp. 25-30.
11. Karger R. TAKRAF: mobile crushing plant in open pit mining // Mining Bulletin of Uzbekistan. - Navoi, 2009. - No. 3. - pp. 86-88.
12. Fully mobile crushing complex for large quarries // Mining industry. - Moscow, 2009. - No. 1. - P. 54. <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/692-polnostyu-mobilnyj-drobilnyj-kompleks-dlya-krupnykh-karero>

13. Bakhturin Yu.A., Karmaev G.D., Bersenev V.A. Issues of application of cyclic-flow technology in quarries // Mining Information and Analytical Bulletin. - Moscow: "The Mountain Book", 2011. - No. 3. - pp. 62-71.
14. Usmanov N.S., Tsoi I.V., Irkabaev U.U. et al. Experience in introducing cyclic-flow technology at the overburden complex of the Angrensky open pit // Mining Bulletin of Uzbekistan. - Navoi, 2015. - No. 1. - pp. 82-86.
15. Mohammad Reza Tavakoli Mohammadi, Seyed Ahmad Hashemi, Farhad Moosakazemi. Review of the in-pit crushing and conveying (IPCC) system and its case study in copper industry <https://www.researchgate.net/publication/270888181>.
16. Jorma Kempas, Artem Askhadulin. Technologies and conditions for the effective use of mobile coarse crushing plants and belt conveyors// Mining industry. - Moscow, 2012. - No. 4. – pp. 52-55.
17. Suprun V.I., Pastikhin D.V., Radchenko S.A., Perelygin V.V. Problems and prospects of using cyclic-flow technology for mining large coal and ore deposits // Mining Information and Analytical Bulletin. - Moscow: "The Mountain Book", 2014. - No. 1. - pp. 332-346.
18. Annakulov T.J. & Abdumitalipov I. The current state and characteristics of the excavator-automobile complex at the Kalmakyr open cast mine. III International Scientific and Practical Conference "Theoretical and empirical scientific research: concept and trends", 2021; Vol. 1:161-165. <https://doi.org/10.36074/logos-28.05.2021.v1.49>.
19. Annakulov T.Zh. Intensification of cyclic-flow technology using mobile complexes in coal deposits // Diss. ... doc. philosophy in technical sciences. – Navoiy, 2019. – 120 p.
20. Bulatov G.Ya., Terekhov A.A. Numerical simulation of the performance of excavators//Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal. 2011. №2. - P. 7-15.
21. Bulatov G.Y. & Annakulov T.J. Investigation of the width of the entry of an excavator when loading a mobile crushing plant in the conditions of the Angren coal mine of Uzbekistan. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021; 937: 042088. <https://doi:10.1088/1755-1315/937/4/042088>.
22. Zharikov S.N. Improving the calculation of the performance of a mining excavator // Zapiski Gornogo instituta. 2018. V. 229. S. 56-61. DOI: 10.25515/PMI.2018.1.56.
23. Gryaznov M.V. Performance resources of the excavator-automobile complex / M.V. Gryaznov, S.V. Kolobanov // World of Transport. 2013. No. 3. pp. 96-102.
24. Kurganov V.M. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Reliability assessment of operation of excavator-automobile complexes in a quarry // Zapiski Gornogo instituta. 2020. V. 241. pp. 10-21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10
25. Mislibaev I.T., Makhmudov A.M., Makhmudov Sh.A. Study of the conditions of functioning of single-bucket mining excavators of cyclic action in complex-structural deep quarries // Mining Bulletin of Uzbekistan. - Navoiy, 2020. - No. 1 (80). - pp. 80-84.
26. Annakulov Tulkin, Eshonqulov Kamoljon, Mamatov Dostonbek. Application of belt conveyors and determination of the main parameters of mobile complexes for the transportation of overburden rocks of the Angren coal mine. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2021; Volume 9. No. 4:383-389. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/08942021>
27. Mirsaidov G.M., Raimberdiev S.U., Abdullaev A.A. Determination of the optimal width of the excavator entry when using mobile complexes in the conditions of development of overburden ledges of the Angrensky open pit. Materials of the international scientific-practical conference "LXI international scientific readings (in memory of A.N. Kolmogorov)": Collection of articles. - Moscow: December 16, 2019 - pp.67-73.
28. Annakulov T.J., ZairovSh.Sh., Kuvandikov O.A. Justification, selection and calculation of technological parameters of equipment kits of mobile crushing-reloading-conveyor complexes // International Journal Of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.– India: National Institute of Science Communication and Information Resources, 2019, February. - Vol.6. - Issue 2. - pp. 8072-8079.
29. Annakulov T.J. Development of technological schemes for open-pit mining of deposits using "mobile crushing-reloading-conveyor complexes". E3S Web of Conferences, 2020; 201:01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101010>.
30. Dombrovsky N.G. Excavators. General questions of theory, design, research and application. - M. : Mashinostroenie, 1969. - 319 p.

31. Frolov K.V., Ksenevich I.P., Volkov L.A., Karasev G.N. etc. Encyclopedia of mechanical engineering. Volume IV. - M.: Mashinostroenie, 2005. - 736 p.
32. Poderni R.Yu. Mechanical equipment of quarries. Textbook for universities. – M.: Publishing House of Moscow State University, 2003. – 606 p.
33. Toshov J.B., Quvondiqov O.A. & Eshonqulov K. Calculation of the service life and assessment of the reliability of conveyor rollers under the conditions of the Angren coal mine. Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR), 2021; Vol.10, Issue 3: 365-370. <http://doi.org/10.5958/2278-4853.2021.00139.7>
34. Annakulov Tulkin, Shamsiev Raxim & Kuvandikov Oybek. Mathematical modeling of determining the productivity of mobile complexes in exercise of inclined connecting accessories. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020; Volume 8. No. 6: 2695-2700. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/77862020>.
35. Zairov Sh.Sh., Kuvondikov O.A., Sharipov L.O. Calculation of technological parameters of equipment sets for mobile crushing-handling-conveyor complexes // Scientific-technical and production journal "Mining Bulletin of Uzbekistan". - Navoi, 2019. - No. 3. - pp. 29-34.