УДК 622.271.4

Е.В. Злобина, В.Г. Проноза

ФОРМИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕЭКСКАВАЦИИ ПРИ БЕСТРАНСПОРТНОЙ РАЗРАБОТКЕ ВСКРЫШНЫХ УСТУПОВ МОДЕЛЬНЫМ РЯДОМ ДРАГЛАЙНОВ ОДНОЙ РАБОЧЕЙ МАССЫ

На месторождениях Кузбасса по сплошной и углубочно-сплошной системам в настоящее время подлежат отработке пологие угольные пласты на месторождениях: Егозово-Красноярское, Борисовское, Уропское, Талдинское, Новоказанское и др. Мощность пластов на месторождениях 2-11 м, угол залегания 2-12º, отрабатываемых по бестранспортной технологии вскрышных уступов от 10-15 м на выходах пластов до 36-42 м в глубинной части карьерного поля. Вскрышные породы полускальные, подготовка к выемке которых производится буровзрывным способом.

Разработка уступов производится драглайнами ЭШ 10.70А, ЭШ 11.70, ЭШ 15.90Б, ЭШ 20.90 рабочей массой 650-1740 т. Экскаваторы используются весь срок отработки карьерного поля (до 20-25 лет и более).

Для разработки новых участков необходимо техническое перевооружение разрезов. При этом необходимо исходить из мировой практики, заключающейся в том, что модель драглайна по рабочим параметрам и вместимости ковша должна соответствовать горно-геологическим условиям конкретной залежи и заданной проектной мощности разреза.

Эффективность бестранспортной технологии во многом зависит от основного показателя схем разработки уступа – коэффициента переэкскавации в профиле заходки. В условиях пологих пластов он определяется углом их залегания и длиной стрелы экскаватора.

Поэтому одной их основных задач проектирования разработки залежи является выбор рациональной длины стрелы и вместимости ковша драглайна из параметрического ряда моделей экскаваторов (далее – модельный ряд).

В этом направлении проведены исследования с целью разработки методических положений для установления влияния изменяющихся по размерам рабочих параметров драглайнов модельного ряда на структуру схем экскавации и формирование коэффициента переэкскавации в профиле заходки ($К_{пэ}$) (далее – коэффициент переэкскавации).

Структура схем зависит от высоты отрабатываемого уступа, угла залегания пласта и отличается жесткой технологической взаимосвязью между горно-геологическими условиями месторождения и рабочими параметрами драглайна [4, 6].

Модельные ряды. В исследовании для назначения вариантов применения экскаваторов с различными рабочими параметрами разработан метод формирования модельного ряда драглайнов одной рабочей массы.

За основу построения модельного ряда принята длина стрелы драглайна, определяющая его рабочие параметры: радиус черпания, высоту и радиус разгрузки, от которых зависят структура и параметры схемы экскаватора. Вместимость ковша определяет производительность экскаватора.

Рабочие параметры определялись по статистическим моделям, предложенным автором [1]. Модели параметров построены на базе уравнения Х.А. Винокурского, применяемого в практике ОАО «Уралмашзавод» [2]:

$$G_э = K \cdot E^{0,65} \cdot L_{ст}^{1,65}, \quad (1)$$

где $G_э$ – рабочая масса драглайна, т; E – вместимость ковша, м^3; $L_{ст}$ – длина стрелы, м; K – весовой коэффициент (для драглайнов ОАО «Уралмашзавод» с трехгранной стелой K = 0,146).

В работе [2] отмечается, что полученные по ф. (1) результаты хорошо согласуются со статистическими данными отечественных и зарубежных драглайнов с ковшом вместимостью до 40 м^3 и длиной стрелы до 100 м.

Радиус черпания ($R_ч$), разгрузки ($R_р$) и высота разгрузки ($H_р$) равны

$$R_ч(R_р) = 0,86 \cdot L_{ст} + 0,0037 \cdot G_э + 2,3958; \quad (2)$$

$$H_р = 0,5 \cdot L_{ст} - 4,6 \cdot \sqrt[3]{E} + 0,0028 \cdot G_э + 0,9322. \quad (3)$$

В работе построение модельных рядов сделано для рабочей массы экскаваторов 600, 1200 и 1800 т, исходя из анализа применяемых моделей драглайнов на разрезах: от ЭШ 10.60 с рабочей массой 558 т до ЭШ 20.90 с рабочей массой 1740 т (см. табл.).

1. Согласно рекомендациям [3] для рационального использования вместимости отвала ширина вскрышной заходки (А) должна быть в пределах (0,45-0,6)$R_ч$:

$$A = 0,5 \cdot R_ч. \quad (4)$$

2. Минимальная ширина заходки по условию безопасной работы автосамосвалов в тупиковом забое при добычных работах не должна быть менее 30 м: A_{min} = 30 м.

3. Минимальный радиус черпания ($R_{ч.min}$) определяем по ф. (4), преобразуя её относительно $R_ч$ при A_{min} = 30 м. Тогда $R_{ч.min}$ = 60 м.

4. Минимальная длина стрелы ($L_{ст.min}$) определяется по ф. (2), преобразуя её относительно $L_{ст}$ при значении $R_ч = R_{ч.min}$.

5. При минимальной длине стрелы максимальная вместимость ковша (E_{max}) ограничивает-

ся 40 м^3. Максимальное значение длины ($L_{ст.max}$) равно 100 м. Эти значения приняты исходя из условия корректного использования ф. (1).

Построение модельного ряда драглайнов одной рабочей массы производится следующим образом. После установления минимальной и максимальной длин стрелы ($L_{ст.min}$, $L_{ст.max}$) разница между ними делится на число $n_р$, ($n_р$ – назначаемое число моделей в ряду) и таким образом получают пошаговое приращение длины стрелы

$$\Delta L_{ст} = \frac{\left(L_{ст.max} - L_{ст.min}\right)}{n_р}. \qquad (5)$$

Далее, начиная от минимального значения длины стрелы ($L_{ст.min}$) последовательно прибавляют ($\Delta L_{ст}$) в количестве ($n_р$ – 1) раз.

Таблица. Рабочие параметры драглайнов

$G_э$, т	Модели	$R_{ч(р)}$, м	$H_р$, м	A, м
600	ЭШ 9,3.64,4	60	25,1	30
	ЭШ 5.82,2	75,3	35,6	37,6
	ЭШ 3.100	90,6	46,0	45,3
1200	ЭШ 23,9.67,5	64,8	25,3	32,4
	ЭШ 13,8.83,8	78,8	35,2	39,4
	ЭШ 8,8.100	92,8	45,1	46,4
1800	ЭШ 40.70,5	69,7	25,5	34,9
	ЭШ 24,6.85,3	82,4	34,9	41,2
	ЭШ 16,5.100	95,0	44,3	47,5

Схемы экскавации

На основе анализа и обобщения применяемых на разрезах и рекомендуемых типовыми проектами [3] для моделирования разработки бестранспортных уступов в диапазоне высот 15-45 м, углов залегания пластов 0-12° и длины стрел драглайнов 60-100 м приняты три вида структур схем экскавации, характеризуемых отсыпкой одно-, двух- и трехъярусного отвала.

1. Схема экскавации с отсыпкой одноярусного отвала (рис. 1).

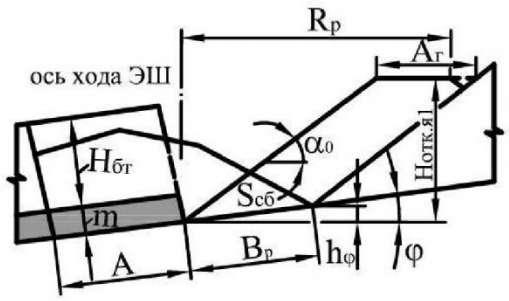

Рис. 1. Схема экскавации с отсыпкой одноярусного отвала.

На схеме: $H_{бт}$ – высота бестранспортного вскрышного уступа, м; $B_р$ – ширина развала, м; A – ширина заходки, м; $A_г$ – горизонтальная ширина отвальной заходки, м; $R_р$ – радиус разгрузки драглайна, м; $H_{отк.я1}$ – высота откоса одноярусного отвала (или первого яруса отвала при двух- и трехъярусном отвале), м; φ – угол залегания пласта, градус; $h_φ$ – понижение отвального слоя между смежными отвальными заходками из-за наклона основания отвала, м; α_o – угол откоса отвального яруса, градус; $S_{сб}$ – взрывной сброс породы, м^2 (определяется при расчете параметров БВР и развала по методике [6,7]).

Схема применяется в зоне выхода пластов под наносы при разработке первых заходок (до 1-3) высотой до 17-18 м, а также может применяться в глубинной части карьерного поля.

Ограничение применения схем – максимальная высота откоса отвала по условию устойчивости ($H^{max}_{отк.я1}$), равная 30 м (по СФ ВНИМИ) [5].

При разработке развала драглайн устанавливается на его поверхности. Ось хода должна располагаться таким образом, чтобы обеспечить зачистку откоса угольного пласта. Трасса планируется ковшом, без существенных объемов переэкскавации. Принимаем $K_{пэ}$ = 0.

2. Схемы экскавации с отсыпкой двухъярусного отвала (рис. 4-а, б).

На схемах: $h_{тр}$ – положение площадки промежуточной трассы относительно нижней бровки первого яруса (равно высоте откоса первого яруса – $H_{отк.я1}$) при отсыпке двух- и трехъярусных отвалов, м; $h_З$ – уровень поверхности развала, м; μ – смещение оси рабочего хода драглайна, м; $H_{я2}$ – высота второго яруса, м; $E_{я1}$, $E_{я2}$ – вместимость соответственно первого и второго яруса, м^2; $\gamma_{г.2}$ – генеральный угол откоса отвала, градус; $S_{тр}$, $S_{пн}$ – площади сечения, соответственно, промежуточных трассы и навала, м^2.

Схемы широко применяются при отработке бестранспортных вскрышных уступов на разрезах Кузбасса. Высота уступа в зависимости от рабочих параметров драглайна и угла залегания пласта составляет 20-36 м.

Работа по схемам производится следующим образом. Драглайн при выполнении рабочего хода по экскавации породы из развала размещается на отсыпаемой им промежуточной трассе. Порода размещается в первом и втором ярусах, а трасса переэкскавируется по мере перемещения экскаватора по фронту работ с оформлением откоса первого яруса.

Схемы характеризуются общим горизонтом площадок трасы и первого яруса, что обеспечивает высокую маневренность экскаватора при работе [6].

Работа выполняется со смещением оси хода экскаватора на величину μ (крайние положения осей хода 1 и 2 на рис. 2-а, б).

Анализ схем приведенных в работе [3] и 39 схем экскавации, применяемых на разрезах центрального и южного Кузбасса, показал, что вели-

чина смещения осей хода варьируется от 0 до 32 м (в долях радиуса черпания $\mu = (0 \div 0{,}4) \cdot R_ч$).

Смещение драглайна в отвальную сторону жестко ограничено расстоянием от оси его хода до верхней бровки первого яруса − параметр B ($B = 0{,}5 \cdot Ш_х + b_п$, где $Ш_х$ − ширина хода экскаватора, м; $b_п$ = 3-5 м − берма безопасности), что вызвано требованием видимости машинистом откоса первого яруса при его оформлении и условием безаварийной работы тягового каната [6]. Это условие в некоторых случаях ограничивает возможность отсыпки второго яруса полного проектного профиля, что обусловливает два вида схем экскавации, отличающейся организацией работы экскаватора:

1. Разгрузочный параметр ($R_р$) достаточен для отсыпки второго яруса полного профиля, а объектом переэкскавации является только трасса ($S_{тр}$) – рис. 2-а;

2. Разгрузочный параметр недостаточен для отсыпки второго яруса полного профиля и часть породы отсыпается в промежуточный навал ($S_{пн}$); экскаватору необходимо выполнить второй ход для его перевалки и досыпки второго яруса (объектами переэкскавации являются промежуточные трасса и навал) – рис. 2-б.

На структуру и параметры схем экскавации существенное влияние оказывает генеральный (общий) угол откоса отвала, зависящий от высоты разрабатываемого уступа (возрастает высота отвала) и угла залегания пласта.

С увеличением этих параметров снижается генеральный угол. Для разрезов центрального Кузбасса в зависимости от высоты откоса отвала (30-80 м) и угла залегания пласта (3-12°) генеральный угол составляет 34-24° (по СФ ВНИМИ [5]).

При отсыпке двух- и трехъярусных отвалов с уменьшением генерального угла ($\gamma_г$) второй ярус смещается относительно первого в отвальную зону, что приводит к уменьшению его вместимости из-за попадания в контур породы ранее отсыпанного смежного отвального слоя (сечение $\Delta E_{я2}$ на рис. 2-а, б). При отсыпке таких отвалов высота промежуточной трассы (и соответственно высота откоса первого яруса) должна быть по возможности меньше, так как её увеличение приводит к значительному возрастанию объема трассы и, следовательно, коэффициента переэкскавации.

Высота трассы принимается с соблюдением условий: вместимость первого яруса, с учетом вместимости второго, должны обеспечить размещение породы уступа в отвале; высота верхнего черпания должна быть по возможности наименьшей для обеспечения высокой производительности драглайна при разработке взорванной породы.

Первое условие проверяется при расчете и построении схемы экскавации. По второму условию минимальное положение площадки промежуточной трассы принимается примерно на уровне поверхности развала. За этот уровень принята расчетная высота развала h_3 (рис. 2-а, б). Тогда $h_{тр.min} = h_3 / \cos\varphi$, где h_3 определяется при расчете параметров развала по методике работы [7].

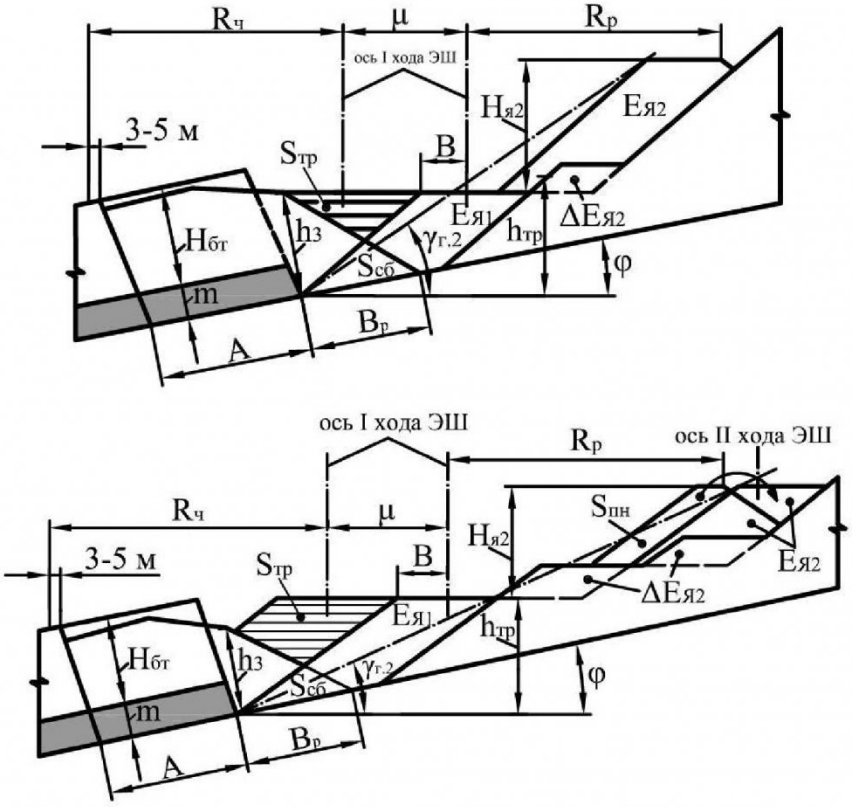

Рис. 2. Схемы экскавации с отсыпкой двухъярусного отвала: а − за один рабочий ход; б − за два хода.

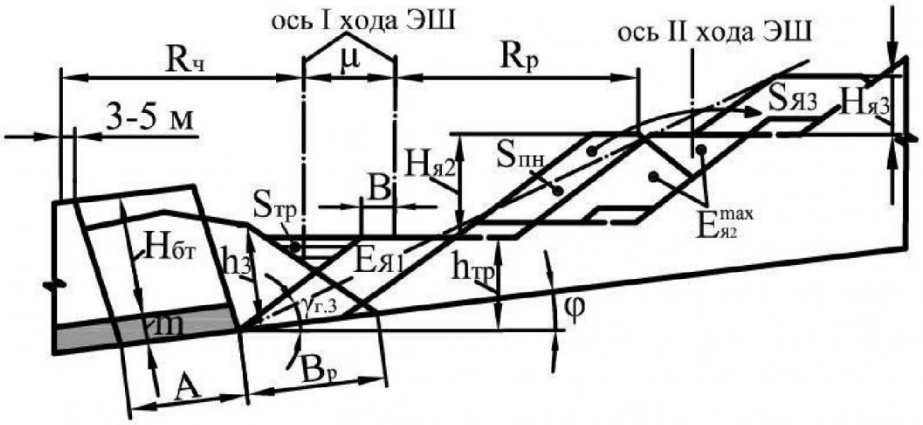

Рис. 3. Схема экскавации с отсыпкой трехъярусного отвала

3. Схема экскавации с отсыпкой трехъярусного отвала.

При разработке уступов высотой 36-42 м на разрезах применяются схемы экскавации с отсыпкой дополнительного третьего яруса (рис. 3).

На схеме: $H_{я3}$ – высота третьего яруса, м; $E_{я2}^{max}$ – максимальная вместимость второго яруса, м^2; $S_{я3}$ – площадь сечения породы, размещенной в третьем ярусе, м^2.

Схема характеризуется отсыпкой первого яруса максимальной высоты по условию устойчивости, т.е. $h_{тр} = H_{отк.я1}^{max}$, а второго яруса при максимальной высоте разгрузки экскаватора ($H_{я2} = H_р$).

Поскольку генеральный угол откоса трехъярусного отвала небольшой (24°-27°), а второй ярус значительно сдвинут в отвальную сторону, то он отсыпается не полностью. За первый ход экскаватора порода развала размещается в промежуточной трассе, первом ярусе и частично в контурах второго яруса ($S_{я2}$), а остальная в промежуточном навале ($S_{пн}$). Таким образом, объем промежуточного навала равен сумме объемов породы для досыпки второго яруса и объема породы третьего яруса ($S_{я3}$). Вторым рабочим ходом экскаватор переэкскавирует промежуточный навал, досыпает полностью второй ярус и отсыпает третий.

В схемах экскавации с отсыпкой двух- и трехъярусных отвалов выделено два объекта переэкскавации: рабочая трасса (коэффициент переэкскавации от её перевалки – $К_{пэ.тр}$) и промежуточный навал (коэффициент переэкскавации – $К_{пэ.пн}$). Тогда коэффициент переэкскавации в профиле заходки ($К_{пэ}$) равен

$$К_{пэ} = К_{пэ.тр} + К_{пэ.пн}. \quad (6)$$

Коэффициенты $К_{пэ.тр}$ и $К_{пэ.пн}$ определяются по формулам (7-10):

$$К_{пэ.тр} = \frac{S_{тр}}{S_{зах} \cdot (1 - К_{сб})}, \quad (7)$$

$$К_{пэ.пн} = \frac{S_{пн}}{S_{зах} \cdot (1 - К_{сб})}, \quad (8)$$

$$S_{зах} = A \cdot H_{бт} \cdot К_р, \quad (9)$$

$$К_{сб} = S_{сб} / S_{зах}. \quad (10)$$

В формулах: $S_{зах}$ – площадь сечения породы уступа в разрыхленном виде, м^2; $К_р$ – коэффициент разрыхления породы ($К_р$=1,35); $К_{сб}$ – коэффициент взрывного сброса породы.

Площади $S_{тр}$, $S_{пн}$ определяются графически при построении схемы экскавации.

С учетом изложенных методических положений проведены расчеты по установлению взаимосвязи изменения рабочих параметров драглайнов модельного ряда одной рабочей массы со структурами схемы экскавации и коэффициентами $К_{пэ.тр}$, $К_{пэ.пн}$, $К_{пэ}$.

Число рассчитываемых вариантов при анализе одной модели экскаватора находится по условию разработки вскрышных уступов высотой от минимального значения − 15 м до максимального, определяемого вместимостью трехъярусного отвала. Шаг увеличения высоты уступа составляет 5 м.

В исследовании применен метод вариантов, расчет каждого из которых выполняется в следующем порядке:

− определение параметров буровзрывных работ, развала, взрывного сброса ($S_{сб}$) и коэффициента взрывного сброса ($К_{сб}$); в расчетах приняты породы среднеблочные (II категория по блочности, с диаметром естественной отдельности в массиве d_e=1,2 м, $\sigma_{сж}$ = 50 МПа, ВВ − сибирит 1200);

− определение объема породы в сечении уступа в разрыхленном виде ($S_{зах}$), генеральный угол откоса отвала ($\gamma_{г2}$; $\gamma_{г3}$); вида схемы экскавации и её линейных параметров;

− графическое построение схемы, определение площадей $S_{тр}$ и $S_{пн}$; расчетов коэффициентов $К_{пэ.тр}$, $К_{пэ.пн}$, $К_{пэ.}$

Первоначально изучено влияние высоты разрабатываемого уступа на условия применения

видов схем экскавации, их параметры и показатели.

Расчеты приведены на базе драглайна ЭШ 13,8.83,8 массой 1200 т, разрабатываемых вскрышных уступов высотой 15-32,7 м, мощности пласта 8 м и угле его залегания 12°, генеральный угол откоса отвалов − 24°. Максимальная высота уступа − 32,7 м принята исходя из предельной вместимости трехъярусного отвала.

Построены зависимости $B_р$, $K_{сб}$, $h_{тр}$, $S_{тр}$, $S_{пн}$, $K_{пэ.тр}$, $K_{пэ.пн}$, $K_{пэ}$ от высоты разрабатываемых уступов $H_{бт}$ (рис. 4-а, б, в, г, д, е, ж, з). Для уступов высотой 15-17 м, разрабатываемых по схемам экскавации с отсыпкой одноярусного отвала на рис. 4 показаны только зависимости $B_р = f(H_{бт})$, $S_{сб} = f(H_{бт})$ и $K_{сб} = f(H_{бт})$.

Зависимость ширины развала ($B_р$) и коэффициента взрывного сброса ($K_{сб}$) от высоты разрабатываемого уступа ($H_{бт}$) – квадратичная (рис. 4-а, б), что соответствует ранее полученным результатам [7]. Необходимо отметить, что при взрывании высоких уступов (более 30 м) коэффициент взрывного сброса уменьшается. Это связано с тем, что ширина развала ограничивается откосом внутреннего отвала и тем самым сокращается пространство для размещения сброшенной взрывом породы.

Зависимость $h_{тр} = f(H_{бт})$ на рис. 4-в – кусочно-гладкая функция, состоящая из трех участков: 1-2, 2-3, 3-4.

Участок 1-2 ($H_{бт}$ =15-21 м) отражает закономерность увеличения высоты трассы, связанную с возрастанием уровня поверхности развала при повышении высоты уступа, т.е. тогда, когда высота трассы принимается на уровне поверхности развала.

Участок 2-3 ($H_{бт}$ = 23 м) – когда необходимо создавать трассу выше уровня поверхности развала (по условию повышения вместимости отвала до необходимой величины) вплоть до максимума – по условию устойчивости первого яруса.

Участок 3-4 − максимальная высота трассы по условию устойчивости ($h_{тр}$ = 30 м).

Зависимость $S_{тр} = f(H_{бт})$ (рис. 4-г) – кусочно-гладкая функция, которую можно описать двумя участками: 1-2 и 2-3. На участке 1-2 ($H_{бт}$ = 15-21 м) при повышении высоты трассы до максимального значения площадь $S_{тр}$ возрастает по квадратичной зависимости, а при постоянной высоте трассы (участок 2-3) снижается по аналогичной зависимости. Это связано с тем, что при увеличении высоты уступа и, следовательно, уровня поверхности развала при постоянной высоте трассы сокращается пространство, в котором она формируется.

По таким же зависимостям изменяется коэффициент переэкскавации от перевалки ($K_{пэ.тр}$) (рис. 4-д).

Промежуточный навал отсыпается, как отмечалось выше, при определенных условиях отсыпки второго яруса, определяемых взаимосвязью радиуса разгрузки экскаватора, высоты разрабатываемого уступа, угла наклона основания отвала и др. В рассматриваемом примере промежуточный навал отсыпается при высоте разрабатываемого уступа более 21,5 м (рис. 4-е).

Площадь сечения навала $S_{пн} = f(H_{бт})$ и коэффициент переэкскавации от его перевалки $K_{пэ.пн} = f(H_{бт})$ возрастают с увеличением высоты уступа по квадратичной зависимости (рис. 4-е, ж). На формирование таких зависимостей влияет коэффициент взрывного сброса, входящий в формулы коэффициентов переэкскавации.

Зависимость коэффициента переэкскавации в профиле заходки от высоты бестранспортного уступа $K_{пэ} = f(H_{бт})$ представляет собой кусочно-гладкую функцию и состоит из двух участков 1-2 и 2-3 (рис. 4-з).

На участке 1-2 − коэффициент переэкскавации в схемах с перевалкой только трассы. Тогда на этом участке $K_{пэ} = K_{пэ.тр.}$

На участке 2-3 − коэффициент переэкскавации в схемах с перевалкой трассы и навала. На этом участке $K_{пэ} = K_{пэ.тр} + K_{пэ.пн}$.

На рис. 5-а, б, в, г, д, е показаны зависимости $K_{пэ.тр}$, $K_{пэ.пн}$ и $K_{пэ}$ от высоты разрабатываемого уступа $H_{бт}$ для модельных рядов драглайнов рабочей массой $G_э$ = 600 т (ЭШ 9,3.64,4; ЭШ 5,82.3,100) и $G_э$ = 1800 т (ЭШ 40.70,5; ЭШ 24,6.85,3; ЭШ 16,5.100).

Из графиков на рис. 5-а, б видно, что при любой массе драглайнов наблюдается следующее: чем короче длина стрелы экскаватора в модельном ряду, тем выше коэффициент переэкскавации от перевалки трассы ($K_{пэ.тр}$).

Это объясняется тем, что при более короткой стреле трассу необходимо «выдвигать» дальше в забойную сторону, что приводит к увеличению её объема и, следовательно, коэффициентов переэкскавации.

Так, для драглайнов с массой 600 т в зависимости от высоты разрабатываемого уступа $K_{пэ.тр}$ в 2-6 раз выше при применении модели с наименьшей длиной стрелы, чем с наибольшей; то же для экскаваторов массой 1800 т.

На рис. 5-в, г показаны зависимость $K_{пэ.пн}=f(H_{бт})$. Необходимо отметить, что условия начала отсыпки и параметры навала зависят от длины стрелы.

При более коротких стрелах (меньший радиус и высота разгрузки) ограничивается заполнение второго яруса полного проектного контура. Это приводит, во-первых, к необходимости начинать отсыпку навала при меньших значениях высоты уступа, а во-вторых, к увеличению объема промежуточного навала, и, следовательно, коэффициента переэкскавации.

Так, для экскаваторов с массой 600 т при применении модели с минимальной длины стрелы (ЭШ 9,3.64,4; $R_р$ = 60 м) навал необходимо отсы-

пать при высоте уступа 27 м и более; при модели с максимальной длиной стрелы (ЭШ 3.100; $R_р$ = 90,6 м) − 35 м и более; с массой 1800 т при применении драглайнов ЭШ 40.70,5 ($R_р$ = 69,7 м) и ЭШ 16,5.100 ($R_р$ = 95 м) высота уступов составляет соответственно 30 м и 35 м.

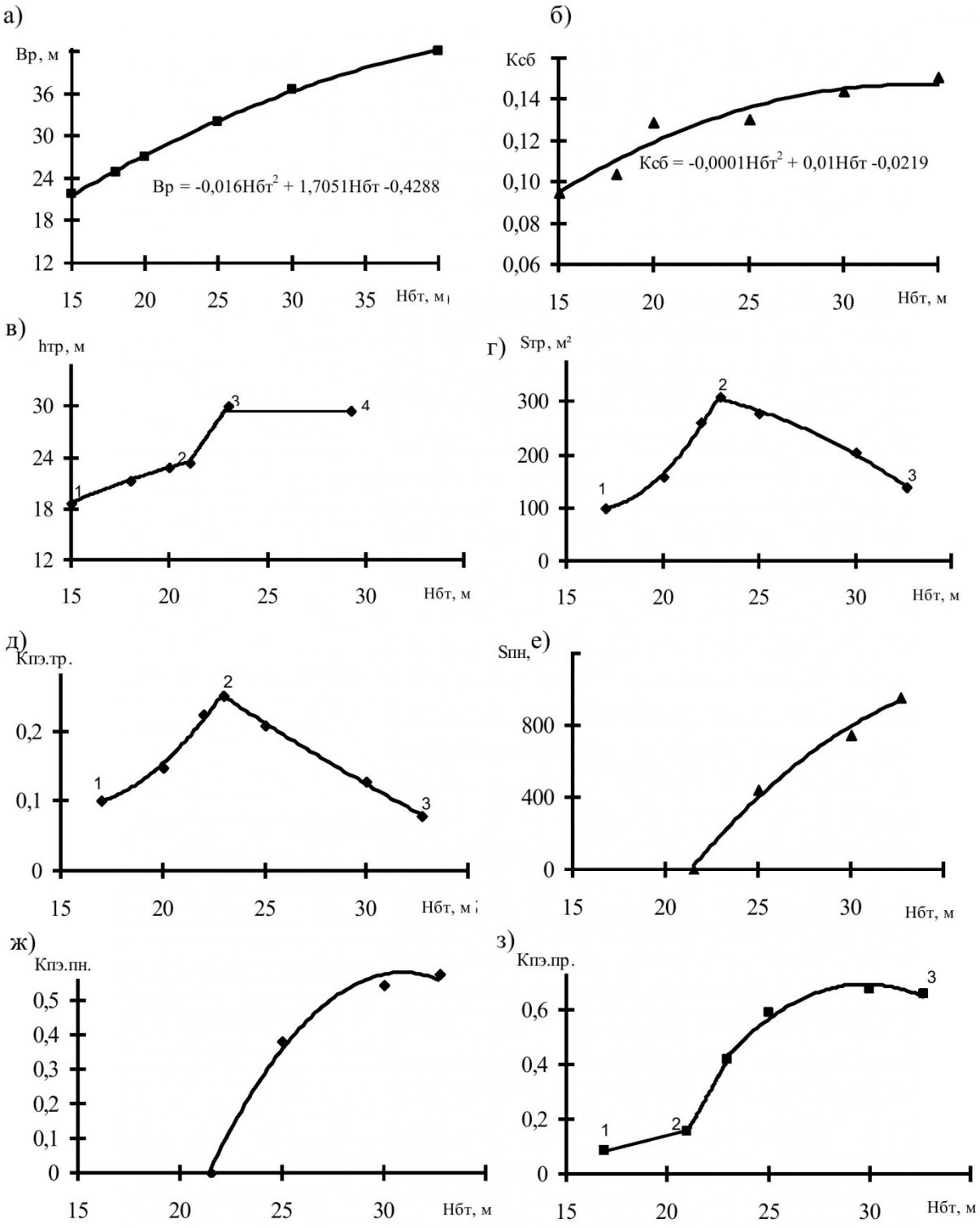

Рис.4. Зависимости параметров и показателей разработки вскрышных уступов ($B_р$, $K_{сб}$, $h_{тр}$, $S_{тр}$, $S_{пн}$, $K_{пэ.тр}$, $K_{пэ.пн}$, $K_{пэ}$) от их высоты ($H_{бт}$): а − ширина развала ($B_р$), м; б − коэффициент взрывного сброса ($K_{сб}$); в − высота трассы ($h_{тр}$), м; г − площадь сечения трассы ($S_{тр}$), м²; д − коэффициент переэкскавации от перевалки трассы ($K_{пэ.тр}$); е − площадь сечения промежуточного навала ($S_{пн}$), м²; ж − коэффициент переэкскавации от перевалки промежуточного навала ($K_{пэ.пн}$); з − коэффициент переэкскавации в профиле заходки.

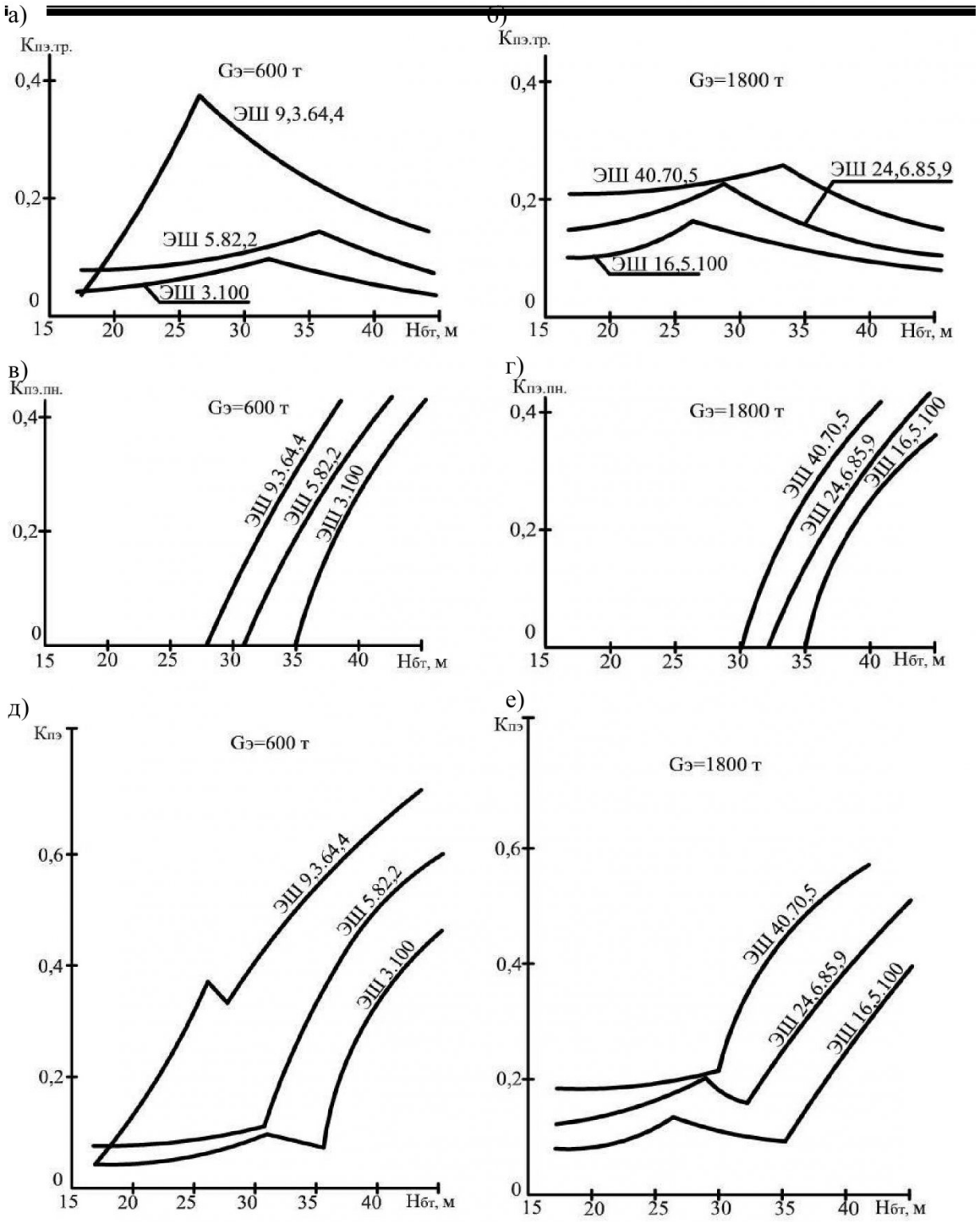

Рис. 5. Зависимости коэффициентов переэкскавации $К_{пэ.тр}$, $К_{пэ.пн}$, $К_{пэ}$ от высоты уступа ($Н_{бт}$) для модельных рядов драглайнов рабочей массой соответственно 600 т и 1800 т: а, б – коэффициента $К_{пэ.тр}$; в, г – коэффициента $К_{пэ.пн}$; д, е – коэффициента $К_{пэ}$.

Таким образом, увеличение длины стрелы с 60 м до 100 м расширяет диапазон применения более простых схем экскавации с выполнением одного рабочего хода экскаватора и перевалкой только трассы.

На рис. 5-д,е показаны зависимости $К_{пэ} = f(Н_{бт})$ для модельных рядов драглайнов массой 600 и 1800 т, являющиеся кусочно-гладкими функциями из двух участков (1-2 и 2-3).

Первая является функцией коэффициента переэкскавации $К_{пэ}$ для схем с перевалкой только трассы. На этом участке $К_{пэ} = К_{пэ.тр}$. Вторая – функция коэффициента переэкскавации схем с двумя рабочими ходами экскаватора и перевалкой промежуточных трассы и навала. На этом участке $К_{пэ} = К_{пэ.тр} + К_{пэ.пн}$.

Функция $К_{пэ} = f(Н_{бт})$ отражает особенности выявленных закономерностей формирования коэффициентов переэкскавации $К_{пэ.тр}$ и $К_{пэ.пн}$.

Выполненное исследование по формированию коэффициентов переэкскавации при бестранспортной разработке вскрышных уступов модельным рядом драглайнов одной рабочей массы позволяет отметить следующее.

1. Изменение длины стрелы модельного ряда драглайнов при любой рабочей массе оказывает существенное влияние на структуру схем экскавации, их параметры и основной показатель − коэффициент переэкскавации в профиле заходки;

2. При обосновании рациональных высоты уступа в диапазоне 15-45 м и модели драглайна в пределах рабочей массы 600-1800 т расчеты производятся по трем видам схем экскавации: с отсыпкой одноярусного отвала (высота уступа 16-18 м), характерных выполнением одного хода по фронту без переэкскавации породы; с отсыпкой двухъярусного отвала (высота уступа 20-40 м) с выполнением одного хода экскаватора по фронту и объектами переэкскавации − промежуточной трассой и промежуточным навалом; с отсыпкой трехъярусного отвала (высота уступа 25-45 м) с двумя ходами экскаватора по фронту и объектами переэкскавации – промежуточной рабочей трассой и промежуточным навалом.

3. Уступ одной высоты может разрабатываться драглайнами одного модельного ряда по разным видам схем экскавации.

4. При применении драглайнов модельного ряда любой рабочей массы коэффициент переэкскавации в профиле заходки для экскаваторов с наименьшей длиной стрелы выше в 2-6 раз, чем с наибольшей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Злобина, Е.В.* Статистические модели рабочих параметров шагающих драглайнов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* – 2010. − №5. – С. 90-92.

2. Горное оборудование Уралмашзавода / Коллектив авторов. Ответственный редактор-составитель Г.Х. Бойко. − Екатеринбург: «Уральский рабочий», 2003. 240 с.

3. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М., Недра, 1982. – 405с.

4. *Мельников, Н.В.* Теория и практика открытых разработок / Н.В. Мельников, Э.И. Реентович и др. // под ред. Н.В. Мельникова. − М., Недра, 1979. − 636 с.

5. *Костин, Е.В., Хашин, В.Н.* Отчет Сибирского филиала ВНИМИ по работе 020203 (этап 0200) по работе 020205 (этап 0400) «Разработать рекомендации по параметрам устойчивых бортов и отвалов на разрезах производственного объединения «Кемеровоуголь»». – Прокопьевск, 1975. (Фонды СФ ВНИМИ, г. Прокопьевск).

6. *Трубецкой, К.Н.* Проектирование карьеров Учеб. для вузов: В 2 т. / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В. В. Хронин. – М: Издательство Академии горных наук, 2011. – Т. II. – 535с.

7. *Репин, Н.Я.* Буровзрывные работы на угольных разрезах / Н.Я. Репин, В.П. Богатырев и др. / Под ред. Н.Я. Репина. – М., Недра, 1987. – 254 с.

Авторы статьи:

Злобина Елена Владимировна,
старший преподаватель каф. открытых горных работ КузГТУ

Проноза Владимир Григорьевич,
докт. техн. наук, профессор каф. открытых горных работ КузГТУ

Поступило в редакцию 28.01.2015