

$$\left. \begin{aligned}
 Q_k &= \left(\frac{Q_{\dot{y}} - H^2 S_r \text{ctg} \alpha}{H} \right) m q K_{\dot{e} \dot{c}}; \\
 H_n &= \frac{Q_{\dot{y}i}}{S_{ri} \left(L_{\dot{a}} + 2 \text{ctg} \alpha_p \sum_{i=1}^{n-1} H_i \right)}; H_i \leq H_r; \\
 \alpha_p &= \text{arccctg} \left[\text{ctg} \alpha + \frac{(n-1)(B+C)}{2H_k} \right]; \\
 S_r &= \frac{Q_k}{L_{\dot{a}} m q K_{\dot{e} \dot{c}}}; L_{\dot{a}} = \frac{Q_{\dot{y}}}{H S_r} - H \text{ctg} \alpha; \\
 \frac{Q_k}{L_{\dot{a}} m q K_{\dot{e} \dot{c}}} &= \frac{Q_{\dot{y}i}}{L_n H_n}
 \end{aligned} \right\} (2)$$

где Q_k – производственная мощность карьера, т/год; $Q_{\dot{y}}$ – производительность вскрышного оборудования, м³/год; H – высота уступа, м; H_i и H_n – соответственно высоты i -го и n -го уступов; S_r – годовое подвигание фронта горных работ, м; m , g , $K_{\dot{e} \dot{c}}$ – соответственно мощность, плотность и коэффициент извлечения полезного ископаемого; α_p – результирующий угол откоса торцовых бортов карьера, град.; α – угол откоса уступов в торцах, град.; n – число вскрышных уступов; $L_{\dot{a}}$ – длина добычного фронта горных работ, м.

Недостатком приведенной модели является то, что в ней не отражается влияние указанных взаимосвязей на сам процесс формирования рабочей зоны карьера, не учитываются изменения параметров и показателей развития рабочей зоны (расстояния транспортирования вскрышных пород во внутренний отвал и протяженность транспортных коммуникаций). Кроме этого представленная математическая модель не позволяет производить сравнительную оценку технологических схем систем разработки месторождения и производить выбор наиболее рациональной из них.

Цель исследований ставилась разработка математической модели формирования рабочей зоны карьера при освоении месторождений с горизонтальным залеганием полезного ископаемого.

Задача исследований - разработка алгоритма расчета параметров рабочей зоны карьера при различных технологических схемах отработки горизонтальных месторождений.

В общем случае, построение математически формализованной схемы производственного процесса, построение математической модели и моделирование самого процесса решения поставленной задачи представляются в виде структурной схемы приведенной на рис.1.

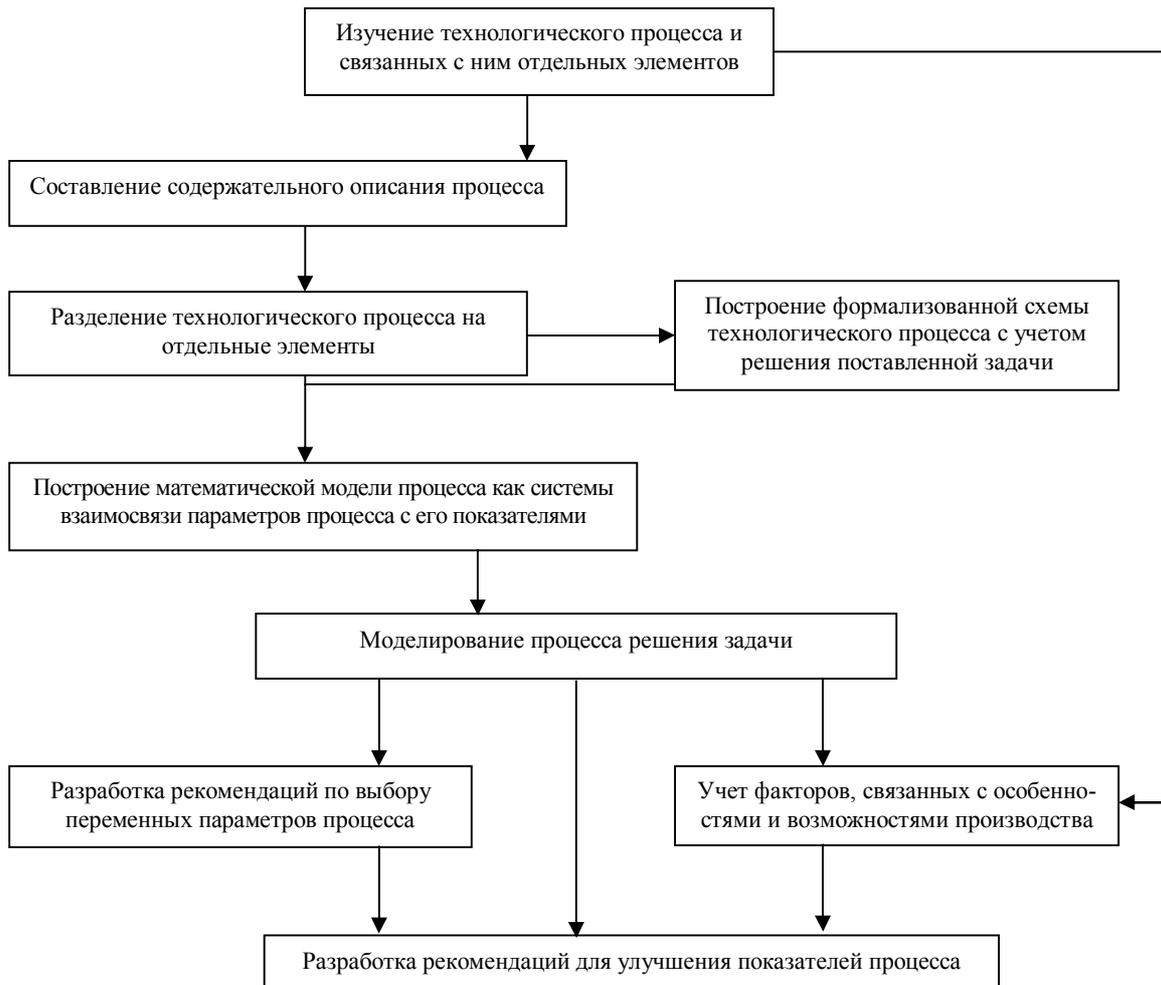


Рис. 1. Общая схема работ формализации технологического процесса

Формирование рабочей зоны карьера, разрабатывающего горизонтальное (пластовое) месторождение имеет свои отличительные особенности:

- рабочая зона включает пять участков: рабочий борт, отвальный борт, торцы карьера (со стороны выездной траншеи и противоположной стороны), дно карьера;

- размеры рабочей зоны изменяются в пространстве только в плане, т.е. глубина ее остается постоянной;

- на изменение размеров рабочей зоны оказывают влияние: применяемая система разработки, способ вскрытия месторождения и схема транспортирования вскрышных пород во внутренний отвал;

- между развитием фронта горных работ на вскрышном, добычным и отвальном участках рабочей зоны существует жесткая взаимосвязь;

- производственная мощность карьера определяется технологией разработки нижнего (надрудного) вскрышного уступа;

- развитие фронтов вскрышных, добычных и отвальных работ происходит при равном их годовом подвигании, соответствующим производственной мощности карьера.

Процесс создания математической модели процесса формирования рабочей зоны карьера заключается в следующем.

Производственная мощность карьера во взаимосвязи с основными параметрами системы разработки описывается известным выражением

$$Q_k = \dot{I}_{\bar{a}} L_{\bar{a}} h_{\bar{a}} \rho K_{\bar{e}\bar{c}\bar{a}}, \text{ т/год} \quad (3)$$

где P_0 – годовое подвигание фронта добычных работ, м; L_0 – длина фронта добычных работ, м; h_0 – мощность пласта полезного ископаемого, м; ρ – плотность полезного ископаемого, т/м³; $K_{изв}$ – коэффициент извлечения полезного ископаемого.

Из выражения (3) следует, что годовое подвигание фронта добычных работ можно определить по формуле:

$$\dot{I}_{\bar{a}} = \frac{Q_k}{L_{\bar{a}} h_{\bar{a}} \rho K_{\bar{e}\bar{c}\bar{a}}}, \text{ м/год} \quad (4)$$

В выражении (3) произведение $P_0 L_0$ представляет собой вскрытую в течение года площадь пласта полезного ископаемого, которая зависит от производительности комплекса машин, применяемого на надрудном уступе и, соответственно, его высоты H_{B1} :

$$\dot{I}_{\bar{a}} L_{\bar{a}} = \frac{Q_{\dot{y}1} - V_T}{H_{B1}}, \text{ м}^2 \quad (5)$$

где V_T – годовой объем вскрыши, обрабатываемой в торцах карьера, м³,

$$V_T = H_{B1}^2 \text{ctg} \gamma_{\bar{a}} \dot{I}_{\bar{a}}, \quad (6)$$

где $\gamma_{\bar{a}}$ – угол откоса вскрышного рабочего уступа.

С учетом выражений (3) и (4) производственную мощность карьера можно определить по формуле:

$$Q_k = \left(\frac{Q_{\dot{y}1} - H_{B1}^2 \text{ctg} \gamma_{\bar{a}} \dot{I}_{\bar{a}}}{H_{B1}} \right) h_{\bar{a}} \rho K_{\bar{e}\bar{c}\bar{a}}, \text{ м}^2 \quad (7)$$

Таким образом, производственная мощность карьера зависит от высоты надрудного вскрышного уступа и производительности оборудования, которое применяется для его отработки.

Из равенства (5) следует, что для условий действующего карьера, при необходимости изменения техно-

логической схемы отработки надрудного уступа, высота его (H_{B1}) должна соответствовать:

$$H_{B1} = \frac{\left[Q_k^2 + 4 Q_{\dot{y}1} \text{ctg} \gamma_{\bar{a}} (h_{\bar{a}} \rho K_{\bar{e}\bar{c}\bar{a}})^2 \right]^{\frac{1}{2}} - Q_k}{2 \dot{I}_{\bar{a}} \text{ctg} \gamma_{\bar{a}} h_{\bar{a}} \rho K_{\bar{e}\bar{c}\bar{a}}}, \quad (8)$$

Годовое подвигание фронта вскрышных работ на i -ом вскрышном уступе определяем по выражению:

$$\dot{I}_{Bi} = \frac{Q_{\dot{y}i}}{L_{Bi} H_{Bi}}, \text{ м/год}, \quad (9)$$

где $Q_{\dot{y}i}$ – производительность вскрышного оборудования на i -ом вскрышном уступе, м³/год; L_{Bi} и H_{Bi} – соответственно длина фронта работ и высота уступа, м.

С учетом основной закономерности открытой разработки горизонтальных месторождений – выполнения условий равенства годовых подвигов фронтов горных работ на всех уступах, приравняем выражения (4) и (9)

$$\frac{Q_k}{L_{\bar{a}} h_{\bar{a}} \rho K_{\bar{e}\bar{c}\bar{a}}} = \frac{Q_{\dot{y}i}}{L_{Bi} H_{Bi}}. \quad (10)$$

Длина фронта вскрышных работ на n -ом уступе определяется из выражения

$$L_{Bn} = L_{\bar{a}} + (\text{ctg} \beta_i + \text{ctg} \beta_{i,\bar{o}}) \left(\sum_{i=1}^{n-1} H_{Bi} + \frac{H_n}{2} \right), \text{ м}, \quad (11)$$

где $\beta_n, \beta_{n,\bar{o}}$ – соответственно углы откосов нерабочих бортов в торцах карьера, град.

Из выражения (3) с учетом (5) определяется высота вскрышного уступа на любом рабочем горизонте:

$$H_{Bn} = \frac{Q_{\dot{y}i}}{\dot{I}_{\bar{a}} \left[L_{\bar{a}} + (\text{ctg} \beta_i + \text{ctg} \beta_{i,\bar{o}}) \sum_{i=1}^{n-1} H_{Bi} \right]}, \text{ м} \quad (12)$$

Высота уступов, а также типы применяемого основного горно-транспортного оборудования на вскрышном участке рабочей зоны карьера, оказывают влияние на величину углов откоса рабочего, нерабочих (в торцах) и отвального бортов карьера.

Средняя длина транспортирования вскрышных пород во внутренний отвал с n -го вскрышного горизонта определяется из выражения:

$$L_{\bar{O}n} = 0,5(L_{\hat{a}n} + L_{\bar{i}i}) + L_{\bar{O}i}, \text{ м} \quad (13)$$

где L_{on} – длина фронта отвальных работ на n -ом горизонте, м; L_{tn} – длина n -го горизонта в торце карьера, м,

Длина n -го горизонта в торце карьера описывается выражением:

$$L_{\bar{O}i} = a + \sum_{i=1}^{n-1} H_{Bi} (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \beta_{\bar{o}\bar{a}\bar{c}}) + \frac{H_{Bn}}{2} (\text{ctg} \beta_i + \text{ctg} \beta_{i,\bar{o}}), \quad (14)$$

где a – расстояние между нижними бровками добычного уступа и отвала; φ и β_{pez} – соответственно результирующие углы откосов рабочего и нерабочего бортов карьера, град.

Среднее расстояние транспортирования вскрышных пород во внутренний отвал по карьеру в целом зависит от длины рабочей зоны по дну $L_{\bar{o}}$, мощностей вскрыши H_B и полезного ископаемого $h_{\bar{o}}$, а также от углов откосов бортов карьера и определяется по формуле:

$$l_{\bar{o}\bar{o}}^{\bar{n}\bar{o}} = [L_{\bar{a}} + 2(0,5H_{\bar{a}} + h_{\bar{a}})(\text{ctg} \beta_i + \text{ctg} \beta_{i,\bar{a}})] + [(0,5H_{\bar{a}} + h_{\bar{a}}) \cdot (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \beta_{\bar{o}\bar{a}\bar{c}}) + \bar{a}] \quad (15)$$

Первое слагаемое приведенной формулы отражает суммарное среднее расстояние транспортирования во вскрышной и отвальной зонах, т.е. $l_{\dot{o}}+l_o$, второе – расстояние l_m в торце карьера.

Величина $l_{\dot{o}\dot{o}}^{\dot{n}\dot{o}}$ и протяженность транспортных коммуникаций $\Sigma l_{m\kappa}$ для конкретного месторождения (при постоянных L_o и H_B) изменяются при изменении лишь углов откосов бортов. Поэтому в математической модели используются формулы определяющие величины приращений средних расстояний транспортирования.

Приращение среднего расстояния $\Delta l_{\dot{o}\dot{o}}^{\dot{n}\dot{o}}$ определяется как

$$\Delta l_{\dot{o}\dot{o}}^{\dot{n}\dot{o}} = \Delta l_{\dot{a}} + \Delta l_{\dot{o}} + \Delta l_i, \text{ м} \quad (16)$$

где $\Delta l_{\dot{a}}$ и Δl_o - соответственно приращения расстояний транспортирования во вскрышной и отвальной зонах, м; Δl_m - приращение расстояния транспортирования в торце карьера (со стороны выездных траншей или съездов), м.

$$\Delta l_{\dot{a}} = (0,5H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}) \cdot (\text{ctg } \varphi - \text{ctg } \varphi_{\dot{a}}); \quad (17)$$

$$\Delta l_{\dot{o}} = (0,5H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}) \cdot (\text{ctg } \beta_i - \text{ctg } \beta_{i,\dot{a}}); \quad (18)$$

$$\Delta l_i = (0,5H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}) \cdot (\text{ctg } \beta_{\dot{o}\dot{a}\dot{c}} - \text{ctg } \beta_{\dot{a}}), \quad (19)$$

где φ_e , β_e , $\beta_{н.е.}$ - соответственно максимально возможные углы откосов рабочего борта карьера, отвала и торца карьера, град.

Рассмотренные взаимосвязи параметров системы разработки, параметров рабочей зоны карьера, производительности вскрышных комплексов оборудования, производственной мощности карьера представлены на рис. 2 в виде математической модели.

1.	$Q_k = \dot{I}_{\dot{a}} L_{\dot{a}} h_{\dot{a}} \rho K_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}}$ - производственная мощность карьера, т/год;
2.	$\dot{I}_{\dot{a}} = \frac{Q_k}{L_{\dot{a}} h_{\dot{a}} \rho K_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}}}$ - годовое подвигание фронта добычных работ, м;
3.	$\dot{I}_{B_i} = \frac{Q_{\dot{y}i}}{L_{B_i} H_{B_i}}$ - годовое подвигание фронта вскрышных работ, м;
4.	$\dot{I}_{\dot{a}} = \dot{I}_{B_1} = \dot{I}_{B_2} = \dot{I}_{B_3} = \dots \dot{I}_{B_i} = \dots \dot{I}_n$ - условие равенства годовых подвиганий фронтов горных работ на уступах;
5.	$H_{B_1} = \frac{[Q_k^2 + 4Q_{\dot{y}1} \text{ctg } \gamma_e (h_{\dot{a}} \rho K_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}})^2]^{\frac{1}{2}} - Q_k}{2 \dot{I}_{\dot{a}} \text{ctg } \gamma_e h_{\dot{a}} \rho K_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}}}$ - высота надрудного уступа, м;
6.	$L_{B_n} = L_{\dot{a}} + (\text{ctg } \beta_i + \text{ctg } \beta_{i,\dot{o}}) \left(\sum_{i=1}^{n-1} H_{B_i} + \frac{H_n}{2} \right)$ - длина фронта вскрышных работ на n-ом уступе, м;
7.	$H_{B_n} = \frac{Q_{\dot{y}i}}{\dot{I}_{\dot{a}} \left[L_{\dot{a}} + (\text{ctg } \beta_i + \text{ctg } \beta_{i,\dot{o}}) \sum_{i=1}^{n-1} H_{B_i} \right]}$ - высота вскрышного уступа на любом рабочем горизонте, м;
8.	$\beta_i = \arctg \frac{H_{\dot{a}}}{\text{ctg } \gamma_{i.e} \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}}} H_{\dot{a}_i} + \frac{1}{3} \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}}} H_{\dot{a}_i}}$ - угол откоса нерабочего борта в торцах карьера, град.;
9.	$\beta_n \leq \beta_{н.е.}$;

10.	$\beta_{i,\dot{o}} = \arctg \frac{H_{\dot{a}}}{\text{ctg } \gamma_{i.e} \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}}} H_{\dot{a}_i} + \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}-1}} \dot{a}_{\dot{o}\dot{o}_i}}$ - угол откоса нерабочего борта в торцах выездной траншеи карьера, град.;
11.	$\varphi = \arctg \frac{H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}}{\text{ctg } \alpha_e \sum_{j=1}^{n_{\dot{a}}} h_{\dot{a}_j} + \sum_{j=1}^{n_{\dot{a}-1}} \dot{O}_{\dot{a}_j} + \text{ctg } \gamma \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}}} H_{\dot{a}_i} + \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}}} \dot{O}_{\dot{a}_i}}$ - угол откоса рабочего борта карьера, град.;
12.	$\varphi_{\dot{a}} = \arctg \frac{H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}}{\text{ctg } \alpha_e \sum_{j=1}^{n_{\dot{a}}} h_{\dot{a}_j} + \text{ctg } \gamma_e \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}}} H_{\dot{a}_i} + \sum_{i=1}^{n_{\dot{a}-1}} \dot{O}_{i,\dot{a}_i}}$ - максимально возможный угол откоса рабочего борта карьера, град.;
13.	$\beta_e = 1785,7 / (33,6 + H_o)$ - максимально возможный угол откоса отвала, град.;
14.	$\beta_{\text{рез}} \leq \beta_e$;
15.	$K_{\dot{A}} = \frac{(\text{ctg } \varphi_e + \text{ctg } \beta_e) \cdot \text{ctg } \beta_{i,\dot{a}}}{(\text{ctg } \varphi + \text{ctg } \beta_{\dot{o}\dot{a}\dot{c}}) \cdot \text{ctg } \beta_i}$ - показатель концентрации горных работ [7];
16.	$\Delta l_{\dot{a}} = (0,5H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}) \cdot (\text{ctg } \varphi - \text{ctg } \varphi_{\dot{a}})$ - приращения расстояний транспортирования во вскрышной зоне, м;
17.	$\Delta l_{\dot{o}} = (0,5H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}) \cdot (\text{ctg } \beta_i - \text{ctg } \beta_{i,\dot{a}})$ - приращение расстояния транспортирования в торце карьера (со стороны выездных траншей или съездов), м.
18.	$\Delta l_i = (0,5H_{\dot{a}} + h_{\dot{a}}) \cdot (\text{ctg } \beta_{\dot{o}\dot{a}\dot{c}} - \text{ctg } \beta_{\dot{a}})$ - приращения расстояний транспортирования в отвальной зоне, м;
19.	$\Delta l_{\dot{o}\dot{o}}^{\dot{n}\dot{o}} = \Delta l_{\dot{a}} + \Delta l_{\dot{o}} + \Delta l_i$ - приращение среднего расстояния транспортирования;
20.	$\Delta \Sigma l_{\dot{o},\dot{e}} = 2 \cdot \Delta l_{\dot{o}\dot{o}}^{\dot{n}\dot{o}}$ - приращение суммарной протяженности транспортных коммуникаций, м.

Рис. 2. Математическая модель формирования рабочей зоны карьера

Разработанная математическая модель взаимосвязей параметров системы разработки месторождения, параметров рабочей зоны карьера, его производственной мощности, а также производительности основного горно-транспортного оборудования позволяет более детально и углубленно исследовать эффективность применения той или иной технологии производства вскрышных и добычных работ в условиях эксплуатируемых и вновь осваиваемых горизонтальных и пологопадающих месторождений.

Выводы

Разработана математическая модель рабочей зоны карьера при отработке горизонтальных и пологопадающих месторождений, позволяющая детально исследовать эффективность применения той или иной технологии производства вскрышных и добычных работ в условиях эксплуатируемых и вновь осваиваемых россыпных месторождений Украины (Мальшевское, Волчанское, Иршанское и др. месторождения).

Впервые при освоении горизонтальных и пологопадающих месторождений сформулированы отличительные особенности рабочей зоны карьера, установлены взаимосвязи между параметрами системы разработки, рабочей зоны карьера и его производственной мощностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таран В.А., Брудник С.С., Кофанов Ю.Н. Математические вопросы автоматизации производственных процессов.- М.: Высшая школа, 1968.- 216 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.- М.: Наука, 1968.-365 с.
3. Новожилов М.Г., Эскин В.С., Корсунский Г.Я. Теория и практика открытой разработки горизонтальных месторождений.- М.: Недра, 1978.- 328 с.
4. Барсуков М.И. Повышение эффективности поточной технологии на карьерах с мягкими породами.- Киев: Наукова думка, 1984.- 232 с.
5. Полищук А.К., Полищук Г.К., Михайлов А.М. Оптимизация развития открытых горных работ.- М.: Недра, 1976.- 159 с.
6. Хохряков В.С., Саканцев Г.Г., Яшкин А.З. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров.- М.: Недра, 1977.- 200 с.